КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ

Зарипова Ю.А.

РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Сборник лекций для студентов по направлению подготовки
«Физические и химические науки»

Алматы

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Источники ионизирующих излучений.

Лекция 2. Основы ядерной физики.

Лекция 3. Радиоактивность.

Лекция 4. Ядерные реакции.

Лекция 5. Взаимодействие радиоактивного излучения с веществом.

Лекция 6. Физические основы дозиметрии.

Лекция 7. Методы измерения ионизирующих излучений.

Лекция 8. Стандарты и нормативные документы в области радиационного контроля.

Лекция 9. Принцип работы радиометрических приборов радиационного контроля.

Лекция 10. Принцип работы спектрометрических приборов радиационного контроля.

Лекция 11. Радиационный мониторинг.

Лекция 6. ***Физические основы дозиметрии*****.**

Цель лекции: сформировать у обучающихся понимание физических основ дозиметрии, изучить основные дозиметрические величины и их взаимосвязь, а также показать их значение для оценки радиационного воздействия и обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды.

Введение: Основой радиационной защиты и обеспечения безопасности является система физических величин, используемых для количественной оценки характеристик излучения и его воздействия на человека. Все эти величины условно подразделяются на две основные категории: 1) Радиометрические величины – применяются для описания свойств источников и полей ионизирующего излучения. С их помощью оцениваются параметры, характеризующие интенсивность, энергию и пространственное распределение излучения. 2) Дозиметрические величины – используются в целях радиационной защиты и контроля безопасности, поскольку отражают степень влияния излучения на организм человека.

Дозиметрия является основой для обеспечения радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения, а также в условиях аварийных ситуаций, связанных с их воздействием. Необходимость защиты человека и окружающей среды от радиации стала основным стимулом для возникновения и развития дозиметрии как самостоятельной научной дисциплины. Со временем дозиметрия приобрела широкое практическое и научное значение. Её методы и принципы активно применяются в физике, химии, радиобиологии, а также в медицине – при радиационной терапии и диагностике, в промышленных технологиях, ядерной энергетике и при контроле состояния окружающей среды. Обеспечение радиационной безопасности базируется на трёх фундаментальных принципах:

– принцип нормирования – непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

– принцип обоснования – запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением;

– принцип оптимизации – поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

Основная часть:

Количественное описание эффектов, вызываемых воздействием ионизирующего излучения, проводится с помощью дозиметрических величин. Эти величины позволяют выразить физические

параметры излучения и оценить степень его взаимодействия с веществом. К основным дозиметрическим характеристикам относятся:

- поглощённая доза (D) – количество энергии, переданное излучением единице массы вещества;
- экспозиционная доза (X) – мера ионизации воздуха под действием гамма- или рентгеновского излучения;
- керма (K) – сумма кинетических энергий всех заряженных частиц, возникающих в результате взаимодействия излучения с веществом;
- флюенс (Ф) – показатель, характеризующий количество частиц, проходящих через единицу площади.

Развитие медико-биологических исследований потребовало введения дополнительных, более специфических величин, отражающих биологический эффект облучения. К ним относятся:

- эквивалентная доза (H) – учитывает не только энергию излучения, но и его вид, так как различные типы излучений оказывают неодинаковое биологическое воздействие;
- эффективная доза (E) – характеризует суммарный эффект облучения с учётом радиочувствительности различных органов и тканей;
- относительная биологическая эффективность (ОБЭ) – величина, показывающая, насколько данный вид излучения эффективнее или слабее эталонного (обычно рентгеновского) при одинаковой поглощённой дозе.

Использование этих величин позволяет количественно оценивать ожидаемое радиационное воздействие не только на отдельные органы и ткани, но и на организм в целом, а также на биологические сообщества разных уровней.

Когда ионизирующее излучение проходит через вещество, его частицы и фотоны взаимодействуют с атомами и ядрами, передавая им часть своей энергии. В результате этого процесса происходит изменение энергетического состояния как излучения, так и самого вещества.

Передачу энергии можно рассматривать с двух взаимосвязанных позиций:

1. Со стороны излучения – часть его энергии поглощается веществом, что приводит к ослаблению потока излучения и уменьшению его энергии. В этом случае речь идёт об абсорбции энергии, характеризующей поле излучения по степени передачи энергии веществу.
2. Со стороны вещества – поглощённая энергия вызывает физические и химические изменения в веществе: ионизацию, возбуждение атомов, образование вторичных частиц. Этот аспект описывает изменение состояния вещества, обусловленное переданной ему энергией.

Таким образом, при взаимодействии излучения с веществом целесообразно различать два аспекта процесса:

- энергию, поглощённую веществом, – характеризует поведение излучения;
- энергию, переданную веществу, – отражает реакцию среды и её изменение под воздействием излучения.

Поглощенная доза [Гр], или доза излучения, является одной из основных физических величин дозиметрии, используемой для количественной оценки количества энергии, переданной ионизирующим излучением веществу. Эта величина отражает физическое воздействие излучения на облучаемый объект, поскольку все радиационно-индуцированные изменения – физические, химические или биологические – происходят в результате поглощения энергии излучения веществом. Поглощённая доза определяется как отношение средней энергии dE, переданной ионизирующим излучением элементарному объёму вещества, к массе dm этого объёма:

$$D = \frac{dE}{dm}.$$

Керма [Гр]: Величиной, характеризующей взаимодействие поля косвенно ионизирующего излучения с веществом, является керма (от англ. *Kinetic Energy Released per unit MAss* — кинетическая энергия, переданная единице массы). Керма определяется как отношение средней суммы кинетических энергий всех заряженных ионизирующих частиц, которые возникают в результате взаимодействия ионизирующего излучения (например, гамма-квантов или нейтронов) с веществом, к массе вещества в рассматриваемом элементарном объёме. Иными словами, керма показывает, какая энергия передаётся заряженным частицам в единице массы вещества при взаимодействии с косвенно ионизирующим излучением.

Математически это выражается формулой:

$$\text{К} = \frac{dE_k}{dm}.$$

Где dE_k – суммарная кинетическая энергия всех заряженных частиц, переданная излучением в элементарном объёме вещества; dm – масса вещества этом объеме.

Экспозиционная доза [Кл/кг] используется для характеристики поля фотонного излучения, падающего на объект, и описывает взаимодействие гамма- или рентгеновского излучения с воздухом. Эта величина отражает количество электрического заряда ионов, образующихся в воздухе под действием фотонного излучения, и, следовательно, пропорциональна энергии излучения, затраченной на ионизацию молекул воздуха. Экспозиционная доза определяется как отношение суммарного заряда всех ионов одного знака, созданных в элементарном объёме сухого атмосферного воздуха (при нормальных условиях), к массе воздуха в этом объёме:

$$\text{X} = \frac{d\bar{Q}}{dm}.$$

Внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р), 1 Р = $2.58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Радиобиологические исследования показали, что одинаковый биологический эффект может возникать при разных поглощённых дозах, если облучение осуществляется разными видами ионизирующего излучения. Это объясняется тем, что различные излучения – альфа-, бета-, гамма- или нейтронное – обладают разной способностью передавать энергию веществу и вызывать повреждения на клеточном и молекулярном уровнях. Для учёта этих различий было введено понятие относительной биологической эффективности (ОБЭ). Этот показатель используется для приведения эффектов облучения различными видами излучений к единой шкале биологического

воздействия. Иными словами, ОБЭ позволяет количественно сравнить биологические последствия действия излучений разного «качества» при одинаковых поглощённых дозах.

При анализе длительного (хронического) облучения человека малыми дозами, когда основными возможными последствиями являются стохастические эффекты (например, злокачественные новообразования или генетические мутации), качество излучения учитывается с помощью специальных весовых коэффициентов.

Для этого применяются два показателя, зависящие от физических свойств излучения, но одинаковые для всех стохастических эффектов:

- взвешивающий коэффициент излучения (W_R) – учитывает биологическую эффективность различных видов излучений при расчёте эквивалентной дозы;
- средний коэффициент качества излучения (W_T) – характеризует усреднённую биологическую эффективность излучения по распределению линейной передачи энергии в тканях.

Эквивалентная доза [Зв] определяется как произведение поглощённой дозы (D), полученной определённым органом или тканью, и взвешивающего коэффициента качества излучения (W_R):

$$H_T = \sum_R D_{T,R} \cdot W_R.$$

Эффективная доза E [Зв] определяется как сумма произведений эквивалентных доз облучения отдельных органов и тканей H_T на соответствующие взвешивающие коэффициенты тканей W_T:

$$\mathrm{E} = \sum_{\mathrm{T}} H_T \times W_T = \sum_{T,R} W_T \cdot W_R \cdot D_{T,R}$$

Сумма всех коэффициентов W_T по организму равна единице – 1, что обеспечивает эквивалентность полной дозы суммарному биологическому эффекту. В таблице приведены единицы измерения дозы.

Таблица. **Единицы измерения радиоактивности и ионизирующего ядерного излучения**

№ п/п	Единица измерения	Физический смысл	Количественная характеристика	Система единиц
1.	**Грей (Гр)**	Основная единица поглощенной дозы – это энергия излучения, поглощенная единицей массы облученного вещества	1 Гр = 100 рад = 1 Дж/кГ	СИ
2.	Гр/с	Мощность поглощенной дозы	1 Гр/с = 100 рад/с = 1 Дж/(кГ*с)	СИ
3.	Зиверт (Зв)	*Эквивалентгая доза* – доза любого вида излучения, по своему *биологическому* действию одинаковая (эквивалентная) действию гамма и рентгеновского излучения	1 Зв =1 Гр*К, где К – *коэффициент качества* – число, показывающее, во сколько р данное излучение опаснее гамма и рентгеновского излучения	СИ
4.	Бэр (Бэр)	Бэр – *биологический эквивалент рада* – это дольная единица эквивалентной дозы	1 Бэр= 1 рад*К = 1/100 Зв	СИ
5.	Зв/с; Бэр/с	Мощность эквивалентной дозы	1 Зв/с = 100 Бэр/с	СИ
6.	Кулон на кГ (Кл/кГ)	*Экспозиционная доза облучения* – это энергия γ- и Х-излучения, преобразованная в кинетическую энергию заряженных частиц в единице массы атмосферного воздуха	1 Кл/кГ = 3,88*10^3 Р 1 Кл/кГ равен корпускулярной эмиссии в сухом атмосферном воздухе массой 1 кГ такого количества ионов, которые дают заряд 1Кл для каждого знака зарядов	СИ
7.	Рентген (Р)	Внесистемная единица *экспозиционной дозы облучения*	1 Р = 2,58*10^{-4} Кл/кГ	--
8.	Кл/(кГ*с)	Мощность экспозиционной дозы	1 Кл/(кГ*с) = 3,88*10^3 Р/с	СИ

9.	Керма (Гр); (Рад)	Поглощенная доза излучения – это количество кинетической энергии, переданной заряженным частицам объекта (среды), образованное ионизирующим излучением в единице массы объекта (среды)	1 Гр = 100 рад = 1 Дж/кГ	СИ
10.	Гр/с; Рад/с	Мощность кермы	1 Гр/с = 100 рад/с = 1 Дж/(кГ*с)	СИ
11.	Человеко*Зиверт	*Коллективная эффективная эквивалентная доза* – это сумма индивидуальных эффективных эквивалентных доз ($ИД_i$), полученных группой N людей	1 чел*Зв = $\sum(ИД_i)/N$	--
12.	Человеко*Зиверт	*Доза поколений* – это ожидаемая полная коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получат n поколений людей от какого-либо радиоактивного источника за все время жизни этого источника	1 чел*Зв*n = $n\sum(ИД_i)/N$	--

Заключение:

Физические основы дозиметрии лежат в понимании процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом и количественной оценке передаваемой энергии. Дозиметрия позволяет определить, сколько энергии излучение передаёт единице массы вещества, и тем самым оценить возможное радиационное воздействие на организм. Основными дозиметрическими величинами являются поглощённая доза, экспозиционная доза, керма, флюенс, а также эквивалентная и эффективная дозы, которые учитывают не только физические, но и биологические аспекты воздействия излучения. Изучение физических основ дозиметрии обеспечивает понимание закономерностей передачи энергии и служит базой для разработки методов контроля, нормирования и обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды.

Контрольные вопросы:

1) Что называется поглощённой дозой излучения и в каких единицах она измеряется?
2) Как определяется экспозиционная доза и для чего она используется?
3) В чём состоит различие между эквивалентной и эффективной дозами?
4) Назовите и кратко охарактеризуйте три основных принципа радиационной безопасности.
5) Каковы основные области применения дозиметрии в науке, медицине и технике?

Список использованных источников:

1. Юшков А.В., Жусупов М.А. Физика атомных ядер. – Алматы: Парус, 2007. – 735 с.
2. Зарипова Л.Д. Физические основы дозиметрии. Радиационная безопасность. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та., 2008. – 42 с.
3. Гурачевский В.Л. Радиационный контроль: физические основы и приборная база: метод. пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Минск: Институт радиологии, 2014. – 160 с.
4. Дозы излучения и единицы измерения. – http://nuclphys.sinp.msu.ru/radiation/rad_5.htm
5. Дозиметрия ионизирующих излучений: учеб. пособие / М. Комочков. – Дубна, 2006. – 76 с.