

РАБОТА № 5

ДОЗИМЕТРИЯ β - ИЗЛУЧЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: освоение метода и средств измерения полей излучения, формируемых источником β -частиц; знакомство с методикой контроля радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты.

ВВЕДЕНИЕ

β -излучение образуется при распаде радионуклидов. При этом в отличие от моноэнергетических электронов оно обладает непрерывным спектром энергии с некой максимальной энергией, характерной для данного радионуклида. Взаимодействие электронов и β -излучения с веществом представляет особый интерес ещё и потому, что большая часть эффектов, вызываемых фотонным излучением при прохождении его через вещество, обусловлена вторичными электронами, т.е. электронами, созданными фотонным излучением.

При прохождении через среду электроны и β -излучение, как заряженные частицы, теряют энергию на возбуждение атомов и молекул, на ионизацию атомов, на торможение в кулоновском поле ядра и на упругое взаимодействие с атомами среды, которое в дозиметрии ввиду малого вклада не учитывается.

Возбуждение - взаимодействие, вызывающее переход электронов атома на возбужденный уровень, в дальнейшем приводит к процессу релаксации атома с испусканием вторичных фотонов, что важно учитывать.

Ионизация - процесс отрыва электрона от атома, характеризуется появлением вторичных электронов.

Торможение - процесс потери энергии частиц при ускорении в поле ядра за счет испускания тормозного излучения - фотонного излучения с непрерывным спектром. Его интенсивность

$$I \sim Z^2 / m, \quad (7.1)$$

где Z – атомный номер среды, m - масса заряженной частицы.

При прохождении через среду уменьшение энергии электронов характеризуется линейными потерями энергии на единицу длины $(-dE/dx)$. В дозиметрии принято, что полные потери энергии заряженной частицы равны сумме ионизационных и радиационных потерь:

$$\underline{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{полн} = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{ион} + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{рад}. \quad (7.2)}$$

Отношение ионизационных и радиационных потерь, полученное Бете и Гайтлером для электронов

$$\underline{\frac{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{рад}}{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{ион}} \approx \frac{E_0 \cdot Z}{800} \quad , \quad (7.3)}$$

где E_0 , МэВ – энергия моноэнергетических электронов или максимальная энергия β – частиц, определяет основные принципы построения защиты от электронов и β – частиц.

Из формулы (7.3) следует, что для построения эффективной оптимальной защиты следует использовать комбинированные среды, причем для снижения радиационных потерь первым должен стоять материал с низким атомным номером, вторым – материал с большим атомным номером, обеспечивающий защиту от образующегося вторичного излучения.

Перед дозиметрией электронного (бета) излучения стоят две самостоятельные задачи. Первая - измерение распределения поглощенной дозы в облучаемом объекте; вторая - измерение потока или плотности потока электронов (β - частиц). Первая задача возникает в радиобиологии, медицинской практике и при проведении различного рода исследований. Вторая - в обычной дозиметрической практике, когда требуется определить уровень внешнего облучения при работе с β - активными веществами или степень загрязнения этими веществами рабочих поверхностей. При этом необходимо учитывать, что β -частица – относительно короткопробежные частицы. Поэтому с ростом глубины проникновения их энергия и, соответственно, вклад в поглощенную дозу будут изменяться.

В связи с этим НРБ-99 установлены пределы доз в соответствии их с определенной глубиной. Так для хрусталика глаза предел эквивалентной дозы для персонала группы А принят равным 150 мЗв/год на глубине 300 мг/см², а при облучении кожи 500 мЗв/год. Эта доза является средним значением по площади 1 см² в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см² под покровным слоем кожи толщиной 5 мг/см².

В НРБ-99 приведены значения эквивалентной дозы и среднегодовые допустимые плотности потока моноэнергетических электронов для лиц из персонала при облучении кожи и хрусталика глаз. Так, например, при энергии электронов равной 2 МэВ при облучении параллельным (направленным) излучением, эквивалентная доза в коже на единичный флюенс равна $2,8 \cdot 10^{-10}$ Зв · см², а среднегодовая допустимая плотность потока ДПП для персонала равна 290 см² · с⁻¹ (НРБ-99, табл.8.2). Для хрусталика глаза соответствующие величины равны $4,8 \cdot 10^{-10}$ Зв · см² и 50 см⁻² · с⁻¹.

Таким образом определение дозы при внешнем облучении сводится к определению потока или плотности потока β-частиц.

Эквивалентную дозу H в ткани при облучении β-частицами можно определить:

$$H = H_{cp} \cdot \varphi, \quad (7.4)$$

где H_{cp} – средняя эквивалентная доза, создаваемая одной β-частицей, Зв · см²;

φ – поток β-частиц, см⁻².

При работе с радиоактивными веществами в открытом виде возможно загрязнение ими поверхности оборудования, одежды и различных частей тела человека. При этом наряду с внешним облучением появляется опасность попадания радиоактивных веществ во внутрь организма (загрязнение - потенциальный источник внутреннего облучения). Считается, что в организм может попадать до 5% радиоактивных веществ, находящихся на поверхности рук, и до 1%, находящихся на одежде.

НРБ–99 (табл.8.9) установлены допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты бета-активными нуклидами. Например, для поверхностей помещений постоянного пребывания персонала и находящегося там оборудования – 2000 β -частиц / ($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$).

При измерении плотности потока β -частиц необходимо также определять местонахождение источника излучения, а также его размеры и конфигурацию, что является обязательным для проведения дезактивационных работ в случае загрязнения поверхности.

Около точечного источника распределение плотности потока изотропно в пространстве и при удалении от источника изменяется обратно - пропорционально квадрату расстояния.

Если же источник β -излучения является поверхностным (наиболее распространенный на практике случай: загрязнение поверхностей, а также протяженные или объемные источники), то распределение плотности потока (ϕ) около такого источника подчиняется довольно сложному закону. Для поверхностного источника, имеющего форму диска, это распределение характеризуется кривыми, изображенными на рис.7.1. По оси ординат отложены в относительных единицах N/N_0 показания прибора в точках плоскости, параллельной поверхности источника и отстоящей от этой поверхности на расстоянии h . R - радиус диска, d - расстояние точек плоскости от перпендикуляра к поверхности диска, проходящего через центр диска. Подобные измерения необходимы для установления безопасных условий работы с источниками излучения (загрязнения).

Размеры источника и истинная величина плотности потока могут быть определены при условии, если площадь детектора МЕНЬШЕ площади источника. Если площадь детектора превышает площадь источника, то измерения величины плотности потока будут занижены, так как для получения числа частиц на единицу площади мы фактически “размазываем” локальную активность на всю площадь детектора.

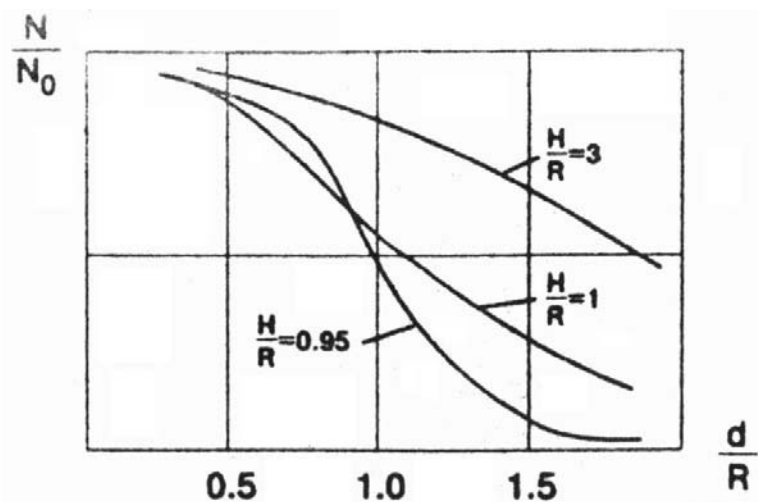


Рис.7.1. Распределение плотности потока β -излучения от поверхностного источника, имеющего форму диска

Необходимость измерения потока β -излучения в чистом виде для оценки степени радиационной опасности при внешнем облучении возникает довольно редко. Чаще всего измерения проводятся в поле γ - β -излучений. Поэтому возникает необходимость отделить β -излучение от сопутствующего γ -фона.

Для измерения плотности потока β -частиц обычно применяются газоразрядные (реже сцинтилляционные) детекторы. Одновременно с β -частицами они с определенной эффективностью регистрируют и γ -кванты. Эффективность регистрации β -излучения газоразрядными счетчиками определяется толщиной стенок (цилиндрические счетчики). Если толщина стенок газоразрядного счетчика меньше пробега β -частиц, то коэффициент эффективности (счетный коэффициент) целиком определяется геометрическими условиями измерения и составляет 10-100%. Эффективность регистрации γ -квантов этими счетчиками определяется вероятностями взаимодействия квантов со стенками счетчика и попадания образующихся электронов в газовый объем счетчика и составляет несколько десятых долей процента. На практике поток γ -квантов может во много раз превышать поток β -частиц, поэтому вклад γ -излучения в показания де-

тектора может быть сравним с вкладом в показания, обусловленные β -излучением.

Точность измерения плотности потока β -частиц зависит от величины гамма-фона. Принято считать, что гамма-фон не вносит существенных ошибок в измерение, если количество разрядов в счетчике, обусловленное им, не превышает 10 % от числа разрядов, создаваемых β -частицами.

Измерение β -излучений газоразрядным счетчиком в присутствии гамма-фона проводятся в два этапа. В начале измеряется скорость счета от бета и гамма-излучений $N_{\beta\gamma}$. Затем счетчик закрывается фильтром из Al или пластика, поглощающим все бета-частицы и практически не ослабевающим гамма-излучение и измеряется только гамма-излучение N_γ . Доля импульсов от β -частиц определяется по формуле

$$N_\beta = N_{\beta\gamma} - N_\gamma \quad (7.5)$$

Плотность потока бета-частиц определяется по формуле

$$\varphi_\beta = \frac{N_{\beta\gamma} - N_\gamma}{K_\beta \cdot S} \text{ част/см}^2 \cdot \text{с}, \quad (7.6)$$

где K_β - коэффициент эффективности β -частиц (коэффициент счетности);

$S_{дет}$ - площадь детектора, см^2 .

Для каждого счетчика K_β определяется по эталонному β -источнику с известной активностью.

Таким образом, в большинстве случаев дозиметрия β -излучения сводится к следующему:

1. Нахождение источников излучения.
2. Определение вида излучений.
3. Измерение плотности потока частиц, создаваемых этими источниками, и определение распределения плотности потока в пространстве.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Источники внешнего β - и γ -излучений заранее помещаются на поверхности стола и закрываются крышкой, на которой нанесена координатная сетка с

расстояниями между линиями 10 см. Источники β -излучения фактически имитируют также загрязнение поверхности.

Регистрация излучений осуществляется приборами RUST, РКР-01, УИМ-1, КРБ-1.

Все эти приборы предназначены для определения загрязнения поверхности β -активными нуклидами, а в качестве детекторов используются газоразрядные цилиндрические счетчики: СТС-5 (УИМ-1), СТС-6 (УИМ-1; РКР-01) и торцевые БТИ-10 (RUST); эти же счетчики с определенной эффективностью регистрируют и γ -излучение.

Для градуировки приборов по β - и γ -излучению используются β -источник $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и гамма-источник ^{137}Cs . Градуировка по γ -излучению необходима в дозиметрической практике для оценки ошибки, вносимой γ -фоном, при измерении β -излучения.

ЗАДАНИЕ

1. Провести поиск источников излучения на столе и определить вид излучения (β , γ , смешанное).
2. Провести градуировку 2-3 приборов (по указанию преподавателя) по β -излучению и по γ -излучению.
3. Оценить возможность использования этих приборов для регистрации β -излучения в присутствии γ -фона.
4. Составить картограмму распределения полей β -излучения около одного из источников.

ПРАКТИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Ознакомиться с техническими описаниями и порядком работы с приборами.

2. Определить местонахождение источников и вид их излучения с помощью одного из приборов. Для этого прибор (выносной датчик) устанавливается на поверхности стола окном вниз и медленно передвигается по всей поверхности стола в различных направлениях с шагом 5-10 см (в зависимости от рабочей поверхности детектора). Передвижение датчиков необходимо производить медленно в силу инерционности электронных схем приборов. Отметить мелом местонахождение источников и максимальные значения скорости счета $N_{\beta\gamma}$ от каждого источника. Провести измерения значений $N_{\beta\gamma}$ в местах максимального значения скорости счета вторым прибором (II). Используя пластину - поглотитель β - излучения (Al, пластик), в этих же точках стола провести измерения N_γ детекторами I и II. Вычитая из значений $N_{\beta\gamma}$ значения N_γ , сделать вывод о виде излучения. Данные замеров и вычислений заносятся в табл.7.1.

Таблица 7.1

Номер источника N	$N_{\beta\gamma} \frac{имп}{с}$		$N_\gamma \frac{имп}{с}$		$N_{\beta\gamma} - N_\gamma \frac{имп}{с}$		Вид излучения
	I	II	I	II	I	II	
1							
2							
3							

3. Для оценки возможности использования приборов для измерения β - излучения в присутствии γ - фона провести градуировку приборов по β - излучению и γ - излучению.

Градуировка по β -излучению сводится к определению коэффициента счетности κ_β . Поочередно I и II приборами измеряется $N_{\beta\gamma}$ и N_γ от эталонного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и по формуле определяется κ_β :

$$\kappa_\beta = \frac{N_{\beta\gamma} - N_\gamma}{\eta_\beta}, \quad (7.7)$$

где η_β - выход β -частиц в единицу времени в угле 2π , част/с.

Значение η_β необходимо рассчитать на момент измерения по формуле

$$\eta_\beta = \eta_0 \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{T_{1/2}} \cdot t\right), \quad (7.8)$$

где $T_{1/2} = 28,6$ лет, период полураспада $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$; t – время, прошедшее с момента изготовления источника, год; η_0 – выход β -частиц (част/с) в угле 2π на момент изготовления источника (паспортное значение).

Формула (7.7) справедлива, если площадь детектора $S_{\text{дет}}$ больше или равна площади эталонного источника $S_{\text{ист}}$; если $S_{\text{дет}} < S_{\text{ист}}$, то

$$\kappa_\beta = \frac{N_{\beta,\gamma} - N_\gamma}{\eta_\beta} * S_{\text{ист}}/S_{\text{дет}}, \quad (7.9)$$

т.е. учитывается та доля частиц, которая не считывается детектором.

При измерениях детектор необходимо устанавливать вплотную к эталонному источнику. κ_β для каждого детектора будет иметь свое значение.

4. На основании данных табл.7.1 определить плотность потока β -частиц от всех обнаруженных источников по формуле (7.6) и записать данные в табл. 7.2. Плотности потока β -частиц, полученные на основании измерений I и II детекторами от одних и тех же источников, должны быть одинаковыми в рамках определенной погрешности. В случае расхождения значений больше чем на 30% повторить измерения, обратив внимание на геометрию измерений.

Таблица 7.2

Номер источника	ϕ , част/с · см ²		Внешнее излучение	Загрязнение	Вывод о радиационной обстановке
	I	II			
1					
2					
3					

5. С использованием НРБ-99 оценить по данным табл.7.2 с точки зрения ВНЕШНЕГО облучения и с точки зрения ЗАГРЯЗНЕНИЯ радиационную обстановку и сделать вывод об условиях работы (вывод записать в табл.7.2).

Принять во внимание, что в геометрии проведения данной работы облучению и “загрязнению” подвергаются кисти рук.

6. Проградуировать по γ -излучению детекторы I и II. Градуировка по γ -излучению сводится к определению чувствительности S_γ по мощности эквивалентной дозы Н:

$$S_\gamma = \frac{N}{H} \cdot \frac{\text{имп}}{\text{мкЗв}}. \quad (7.10)$$

Детекторы I и II располагаются на 2-3 фиксированных расстояниях R_i от эталонного γ - источника (^{137}Cs). В геометрии точечного источника измеряется скорость счета N_i . Если известна активность источника A , то H_i можно определить по формуле

$$H_i = \frac{\Gamma_n \cdot A}{R^2}, \quad (7.11)$$

где Γ_n - гамма - постоянная по мощности эквивалентной дозы, $\text{аЗв} \cdot \text{м}^2 / (\text{с} \cdot \text{Бк})$;

A - активность, Бк (необходимо предварительно определить активность на момент проведения работы по формуле, аналогичной (7.8)); R_i – расстояние, м.

Данные записать в табл.7.3.

Примечание: если активность гамма-источника неизвестна, на этих же расстояниях измеряются мощности эквивалентных доз H_i двумя-тремя дозиметрами (ДРБП-03, ДРГ-05, ДРГ-107Ц и т.д.), берется среднее значение H_i и далее определяется чувствительность S_γ .

Таблица 7.3

Детектор	N, имп /с			H, мкЗв/ч			S_γ имп/с / мкЗв/ч			$\bar{S}_\gamma$ имп/с / мкЗв/ч
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
I										
II										

7. Рассчитать максимальную величину гамма - фона, при которой возможно проведение измерений допустимой плотности потока внешнего β -излучения для персонала (см. НРБ-99, табл.8.4, при этом считать, что источник β -

излучения состоит из радионуклидов $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$), допустимого уровня радиоактивного загрязнения кожи кистей рук ($40 \text{ част/см}^2\text{мин}$) и поверхности стола ($2000 \text{ част/см}^2\text{мин}$), табл.8.9. Для этого, зная κ_β , рассчитать скорость счета импульсов для каждого детектора при измерении указанных уровней. Взять 10% от этой величины и разделить на S_γ . Полученные значения соответствуют величине "предельного" гамма - фона. Сравнить полученные значения со значениями, указанными в техническом паспорте детекторов I и II.

8. Построить картограмму полей около одного из источников β - излучения. Для этого детектор (I или II) передвигать по поверхности стола таким образом, чтобы можно было найти линии постоянной скорости счета β - частиц (замкнутые кривые или изолинии). Строится до 3 линий. Используя значение κ_β детектора, оценить плотность потока β - частиц, соответствующую наиболее удаленной от центра линии, и сравнить значение плотности потока с допустимым уровнем радиоактивного загрязнения поверхности стола.