

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Защита от γ -излучения расстоянием

Учебное электронное издание

Минск \diamond БНТУ \diamond 2012

УДК 614.876(075.8)

ББК 51.26я7

М67

Авторы:

Н.Н.Митькина

И.К.Султанова

Рецензенты:

С.М.Арабей, зав. кафедрой химии БГАТУ, доцент

А.Г.Литвинко, доцент БНТУ, доцент

В методических указаниях рассмотрены методы защиты от γ -излучения. Исследуя ослабление потока γ -фотонов в воздухе, изучается метод защиты «расстоянием». Кратко обсуждается природа, свойства и источники γ -излучения. Приведены понятия доз облучения и особенности формирования поглощенной дозы в биологической ткани.

Белорусский национальный технический университет

Пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37

E-mail:...

<http://www...>

Регистрационный №ФИТР47-76.2012

© БНТУ, 2012

© Митькина Н.Н., Султанова И.К., 2012

Содержание

Введение.....	4
1. Краткие теоретические сведения.....	4
2. Экспериментальная установка.....	12
3. Порядок выполнения работы.....	12
Приложение. Контрольные вопросы.....	16
Список литературы.....	16

Введение

После аварии на Чернобыльской АЭС в обществе возник интерес к радиационной безопасности. Основной целью настоящей публикации является изучение способов защиты от γ -излучения в соответствии с программой по дисциплине «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях». В данных методических указаниях к лабораторной работе рассматривается метод защиты от γ -излучения расстоянием. В работе экспериментально исследуется ослабление потока γ -фотонов в воздухе.

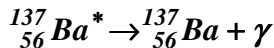
1. Краткие теоретические сведения

γ – излучение представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны менее 10^{-10} м. Источником γ – излучения являются возбужденные атомные ядра, которые образуются в различных ядерных реакциях, в том числе при α - или β -распаде. В последнем случае дочернее ядро переходит из возбужденного состояния в основное, испуская γ -фотон, который «выбрасывается» практически одновременно с α - или β -частицами. В качестве примера можно привести электронный β -распад Cs-137, сопровождаемый испусканием γ – излучения.



где «*» означает, что дочернее ядро образовалось в возбужденном состоянии, т.е. с избытком энергии, $\tilde{\nu}$ – электронное антинейтрино.

Возбужденное состояние ядра неустойчиво, и через маленький промежуток времени ядро переходит в состояние с меньшей энергией, испуская коротковолновое электромагнитное излучение - γ – излучение.



Этот процесс происходит без изменения массового и зарядового чисел (A и Z), поэтому испускание γ -излучения не рассматривают как отдельный тип радиоактивности.

Свойства γ -излучения:

1) γ -излучение имеет линейчатый спектр, причем каждый химический элемент дает свой строго определенный γ -спектр. Именно поэтому по спектру γ -излучения с помощью γ -спектрометров определяется какой именно радионуклид распадается.

2) γ -излучение обладает огромной проникающей способностью, пробег γ -фотонов в воздухе стремится к бесконечности.

Электрически нейтральные фотоны практически не взаимодействуют с электронами и ядрами. Поскольку фотоны могут двигаться только со скоростью света, то в среде они не замедляются, а либо поглощаются, либо отклоняются на большие углы от первоначального направления движения. При прохождении через вещество интенсивность пучка фотонов I постепенно ослабляется из-за столкновений с электронами и ядрами. Для однородной среды ослабление узкого моноэнергетического пучка фотонов происходит по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

где I_0 – начальная интенсивность пучка, I - интенсивность пучка после прохождения слоя вещества толщиной x , μ - линейный коэффициент ослабления, измеряемый в см^{-1} .

Эффективность вещества в качестве защиты от γ -излучения, как правило, характеризуется толщиной слоя половинного ослабления. Слоем половинного ослабления называется такая толщина слоя вещества, при прохождении которой интенсивность γ -излучения уменьшается в 2 раза.

Используя выражение (1) и полагая, что $I=I_0/2$ при $x = x_{1/2}$, находим связь между μ и толщиной слоя половинного ослабления:

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu} \quad (2)$$

Количественной мерой воздействия любого вида излучения на облучаемый объект является доза. Различают экспозиционную X , поглощенную D , эквивалентную H и другие дозы, отражающие особенности влияния излучения на вещество.

Экспозиционная доза X характеризует ионизирующее действие фотонного излучения (γ - и рентгеновского излучения) на сухой ат-

мосферный воздух. Экспозиционная доза равна отношению суммарного заряда dq ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, образованных фотонным излучением в элементарном объеме воздуха, к массе воздуха dm в этом объеме:

$$X = \frac{dq}{dm} \quad (3)$$

Единицы измерения экспозиционной дозы:

СИ

$$[X] = \text{Кл/кг}$$

(Кулон/килограмм)

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$$

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

Внесистемные единицы

$$[X] = \text{Р}$$

(Рентген)

Единица измерения экспозиционной дозы названа в честь Вильгельма Конрада Рентгена (1845-1923) – немецкого физика, который открыл излучение, названное его именем.

Мощность экспозиционной дозы \dot{X} - отношение приращения экспозиционной дозы dX за малый промежуток времени dt к его длительности

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (4)$$

Единицы измерения мощности экспозиционной дозы:

СИ

$$[\dot{X}] = \text{А/кг}$$

(Ампер/килограмм)

Внесистемные единицы

$$[\dot{X}] = \text{Р/час}$$

(Рентген/час)

Мощность экспозиционной дозы, создаваемой γ -излучением точечного изотропного радионуклидного источника активностью A в точке детектирования, находящегося на расстоянии r от источника, вычисляется по формуле:

$$\dot{X} = \Gamma \frac{A}{r^2} \quad (5)$$

где Γ – гамма-постоянная данного радионуклида, которая представляет собой мощность экспозиционной дозы (Р/ч), создаваемую гамма-излучением точечного изотропного источника активностью 1мКи на расстоянии 1см. Обычно гамма-постоянную выражают во

внесистемных единицах: $[Г] = P \cdot см^2 / (час \cdot мКи)$. Значения гамма-постоянных радионуклидов приводятся в специальных справочниках.

Из формулы (5) следует, что отношение мощностей экспозиционной дозы \dot{X}_1 и \dot{X}_2 , измеренных в любых двух точках, удалённых на расстояния r_1 и r_2 от источников, обратно пропорциональны квадрату расстояний:

$$\frac{\dot{X}_1}{\dot{X}_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (6)$$

Соотношение (6) называют иногда «законом обратных квадратов». Понятие точечного источника достаточно условно, поэтому «закон обратных квадратов» выполняется только в тех случаях, когда расстояние r от источника до детектора достаточно велико и размерами источника можно пренебречь.

Повреждения, вызванные ионизирующим излучением в живом организме, зависят от энергии, переданной биологическим тканям. Количественной характеристикой этого воздействия является поглощенная доза.

Поглощенная доза D – основная дозиметрическая величина, равная отношению средней энергии $d\bar{E}$, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} \quad (7)$$

Единицы измерения поглощенной дозы:

СИ	Внесистемные единицы
$[D] = \text{Гр}$ (Грей)	$[D] = \text{рад}$ (рад)

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$$

Единица измерения поглощенной дозы получила название в честь английского физика Луиса Гарольда Грея, внесшего большой вклад в развитие дозиметрии. Один Грей равен поглощенной дозе

излучения, при которой веществу массой 1кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж. При облучении вещества поглощенная доза нарастает. Скорость нарастания поглощенной дозы характеризуется мощностью поглощенной дозы.

Мощность поглощенной дозы \dot{D} - отношение приращения поглощенной дозы dD за малый промежуток времени dt к его длительности:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (8)$$

Единицы измерения мощности поглощенной дозы:

СИ	Внесистемные единицы
$[\dot{D}] = \text{Гр/с}$	$[\dot{D}] = \text{рад/час}$
(Грей/секунду)	(рад/час)

Предполагая, что мощность поглощенной дозы остается постоянной в течение некоторого времени, легко рассчитать поглощенную дозу за это время:

$$D = \dot{D} \cdot t. \quad (9)$$

При прохождении через вещество заряженные частицы теряют свою энергию, вызывая ионизацию и возбуждение встречающихся на их пути атомов. Процессы потери энергии заряженной частицей и поглощения энергии веществом происходят практически одновременно в одном и том же элементарном объеме вблизи трека частицы. В биологической ткани длина трека (пробег) α -частиц, испускаемых естественными радионуклидами, не превышает 0,1 мм. Поэтому максимум поглощенной дозы находится вблизи передней поверхности облучаемой α -частицами биологической ткани. Поглощенная доза быстро убывает по мере проникновения α -частицы вглубь объекта.

Поскольку максимальный пробег β -частиц в биологической ткани составляет несколько сантиметров, то максимум поглощенной дозы находится несколько глубже, но все равно близко к поверхности облучаемого объекта и убыль поглощенной дозы происходит медленнее, чем для α -частиц.

Фотонное излучение, проникая на значительные расстояния вглубь облучаемого объекта, вызывает ионизацию и возбуждение

атомов вещества косвенным путем за счет электронов, образованных в результате фотоэффекта, эффекта Комптона и эффекта образования электронно-позитронных пар. Именно эти электроны, ионизируя и возбуждая атомы среды, формируют поглощенную дозу при облучении фотонным излучением. По мере проникновения вглубь облучаемого объекта поглощенная доза сначала возрастает, достигая максимума, а затем начинает уменьшаться.

При облучении живого объекта фотонным излучением, испускаемым радионуклидами, максимум поглощенной дозы наблюдается в поверхностном слое (в пределах двух сантиметров), а последующий спад поглощенной дозы более медленный, чем при облучении α - и β -частицами. Возрастание поглощенной дозы по мере проникновения в глубину биологической ткани объясняется добавлением электронов, образовавшихся у поверхности облучаемого объекта, и ее спад вызван уменьшением интенсивности фотонного излучения.

Для целей радиационной безопасности обычно используют максимальные значения доз в теле человека.

Поглощенную дозу в биологической ткани экспериментально определить очень сложно, но оценить ее можно, используя связь между поглощенной и экспозиционной дозами:

$$D = f \cdot X, \quad (10)$$

где f - коэффициент перехода от экспозиционной к поглощенной дозе зависит от объекта и единиц измерения доз:

в воздухе	биологической ткани
$f = 0,873 \text{ рад/Р}$	$f = 0,96 \text{ рад/Р}$
$f = 33,85 \text{ Гр/Кл/кг}$	$f = 36,9 \text{ Гр/Кл/кг}$

Для сравнения биологических эффектов, вызываемых различными видами ионизирующих излучений, введено понятие эквивалентной дозы.

Эквивалентная доза H равна произведению поглощенной дозы D в органе или ткани на взвешивающий коэффициент W_R , зависящий от вида излучения:

$$H = W_R \cdot D \quad (11)$$

Единицы измерения эквивалентной дозы:

СИ

Внесистемные единицы

$$\begin{array}{ll}
 [H] = 3\text{в} & [H] = \text{бэр} \\
 (\text{Зиверт}) & (\text{биологический эквивалент рада}) \\
 & 13\text{в} = 100 \text{бэр}
 \end{array}$$

Единица измерения эквивалентной дозы названа по имени шведского ученого Рольфа Зиверта – одного из основателей МКРЗ (Международного комитета по радиологической защите).

Мощность эквивалентной дозы \dot{H} - отношение приращения эквивалентной дозы dH за малый промежуток времени dt к его длительности:

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt} \quad (12)$$

Единицы измерения мощности эквивалентной дозы:

$$\begin{array}{ll}
 \text{СИ} & \text{Внесистемные единицы} \\
 [\dot{H}] = 3\text{в/с} & [\dot{H}] = \text{бэр/час}
 \end{array}$$

Предполагая, что мощность эквивалентной дозы остается постоянной в течение некоторого времени, легко рассчитать эквивалентную дозу за это время:

$$H = \dot{H} \cdot t. \quad (13)$$

Таблица 1. Взвешивающие коэффициенты для разных видов излучения.

Вид излучения	$W_R, \frac{3\text{в}}{\text{Гр}}, \frac{\text{бэр}}{\text{рад}}$
Рентгеновское и γ -излучения	1
β -излучение	1
α -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20

Таким образом, при одной и той же поглощенной дозе неблагоприятные биологические последствия оказываются разными для различных видов излучения.

Используя формулы (5), (10), (11) и (13) получим формулу для определения эквивалентной дозы:

$$H = W_R f \frac{\Gamma A t}{r^2} \quad (14)$$

Защита от фотонного излучения (γ - и рентгеновского излучения). Различают следующие основные методы защиты от воздействия фотонного излучения:

- увеличение расстояния от персонала до источника,
- уменьшение продолжительности работы на территориях, где имеются источники фотонного излучения,
- уменьшение до минимально возможной активности используемого источника,
- сооружение защитных экранов из поглощающих материалов между источником и местом размещения персонала.

Для краткости эти возможные методы защиты называют защита расстоянием, временем, количеством и экранировкой.

В настоящей лабораторной работе будет обсуждаться метод защиты расстоянием и с этой целью проводится проверка «закона обратных квадратов». В экспериментальной установке используется сцинтилляционный детектор, работающий в режиме счетчика фотонов. γ – излучение источника, взаимодействуя с веществом сцинтиллятора, создаёт в нем вспышки света. Каждая вспышка вызывает один импульс тока в одной цепи фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Очевидно, что число импульсов N в единицу времени, регистрируемое на выходе ФЭУ, пропорционально мощности экспозиционной дозы \dot{X} . Поэтому если на расстоянии r_1 от источника детектор регистрирует N_1 импульсов в единицу времени, а на расстоянии $r_2 - N_2$, то согласно соотношению (6) будет иметь место равенство:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (15)$$

Следовательно, произведение числа импульсов на квадрат расстояния должно оставаться постоянным

$$N_1 \cdot r_1^2 = N_2 \cdot r_2^2 \quad (16)$$

2. Экспериментальная установка

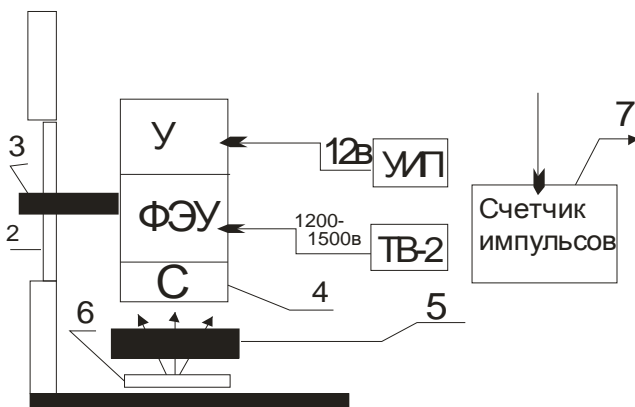


Рис. 1. Схема лабораторной установки

На столике 1 установлена стойка с линейкой 2. На стойке 2 с помощью кронштейна 3 закреплен детектор излучения 4. Источник γ -излучения 6 устанавливается на столике 1 напротив детектора излучения 4. Источник заключен в свинцовый контейнер, формирующий параллельный пучок γ -излучения. Детектор 4 включает в себя сцинтилляционный кристалл (С), фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) и усилитель (У). Импульсы с входа детектора регистрируются прибором в цифровом виде. Показания счетчика импульсов 7 пропорциональны числу γ -квантов, регистрируемых детектором.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Подготовка приборов к работе

1. Подготовьте универсальный источник питания УИП к работе. Для этого ручку «Плавно» поставьте в крайнее левое положение. Тумблер установки напряжения поставьте в положение 0 - 15 В. Тумблер «Ток нагрузки» и «Выход напряжения» - в положение «Вых. напряж.».

Включите источник УИП, ручкой «Плавно» установите напряжение 12 В.

2. Подготовьте к работе частотомер Ф5035.. Для этого тумблеры на управляющей панели счетчика поставьте в положение, отмеченные красными точками. Установите время счета 100 с, «Род работы» в положение «Авт.».

Включите частотомер.

3. Подготовьте источник высокого напряжения ТВ-2 к работе. Для этого рукоятку переключения диапазонов поставьте в положение 150-1500 В. Ручки «Фино» и «Грубо» поставьте в крайнее левое положение.

Включите источник высокого напряжения ТВ-2. Установите на источнике ручками «Грубо», а затем «Фино» напряжение 1500 В.

4. Прогрейте приборы в течение **15 минут**.

3.2. Проведение измерений

1. Получите радиоактивный источник у преподавателя (инженера). **Засеките время t работы с источником**, оно Вам понадобится для решения задачи.

2. Установите детектор излучения на расстоянии 12 см от столика. Определите уровень \mathcal{Y} -фона. Для этого радиоактивный источник удалите от детектора на расстояние 1 м. Отсчет N_ϕ занесите в табл. 2. **Не спешите!** Первый отсчет не записывайте (счет импульсов мог начаться до Ваших манипуляций с источником). Повторите измерения 5 раз, вычислите среднее значение \bar{N}_ϕ .

3. Установите источник так, чтобы он находился строго под детектором. Опустите детектор до соприкосновения с источником и проведите измерения числа импульсов N_I . Измерения повторите пять раз. Рассчитайте среднее значение \bar{N}_I , результаты занесите в табл. 2.

4. Удаляя детектор от источника, через каждые 2 см, проводите измерения числа частиц N_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$), регистрируемых детектором в каждом из положений. Рассчитайте их средние значения \bar{N}_i и занесите в табл. 2. Рассчитайте $\bar{N} = \bar{N}_I - \bar{N}_\phi$.

5. После окончания работы с источником отдайте его преподавателю (инженеру). **Засеките время t работы с источником**.

Таблица 2. Зависимость числа импульсов от расстояния между источником и детектором.

№	N_{ϕ}	$N_1,$ $r_1=3$ см	$N_2,$ $r_2=5$ см	$N_3,$ $r_3=7$ см	$N_4,$ $r_4=9$ см	$N_5,$ $r_5=11$ см	$N_6,$ $r_6=13$ см
1							
2							
3							
4							
5							
\bar{N}							
$\bar{N} =$ $\bar{N}_i - \bar{N}_{\phi}$							

3.3. Обработка результатов измерений

1. Рассчитайте произведение числа импульсов на квадрат расстояния $\bar{N}_i \cdot r_i^2$ и занесите в таблицу 3. Вычислите среднее значение этого произведения:

$$\langle N \cdot r^2 \rangle = \frac{\bar{N}_1 \cdot r_1^2 + \dots + \bar{N}_6 \cdot r_6^2}{6} \quad (17)$$

2. Рассчитайте абсолютную погрешность этого произведения

$$\Delta(N_i \cdot r_i^2) = |\langle N \cdot r^2 \rangle - \bar{N}_i \cdot r_i^2| \quad (18)$$

и его среднюю величину

$$\langle \Delta(N \cdot r^2) \rangle = \frac{\Delta(N_1 \cdot r_1^2) + \dots + \Delta(N_6 \cdot r_6^2)}{6} \quad (19)$$

и относительную погрешность:

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{\langle \Delta(N \cdot r^2) \rangle}{\langle N \cdot r^2 \rangle} \quad (20)$$

Результаты расчетов занесите в таблицу 3.

3. Убедитесь, что закон «обратных квадратов» выполняется с достаточной точностью.

Таблица 3.

$r_i, \text{ см}$	$\bar{N}_i \cdot r_i^2$	$\Delta(N_i \cdot r_i^2)$	ε
3			
5			
7			
9			
11			
13			
	$\langle N \cdot r^2 \rangle$	$\langle \Delta(N \cdot r^2) \rangle$	$\langle \varepsilon \rangle$

3.4. Решите задачу. Оцените эквивалентную дозу, полученную Вами при выполнении данной работы, используя формулу (14). Активность используемого источника $^{137}_{55}\text{Cs}$ $A =$ Бк, гамма-постоянная $^{137}_{55}\text{Cs}$ $\Gamma = 2,25 \cdot 10^{-15} \text{ Кл} \cdot \text{м}^2 / \text{кг} \cdot \text{час} \cdot \text{Бк}$. Принять, что источник находился от Вашего тела на расстоянии $r = 0,5$ м. Время работы с источником $t =$ час. Сравните рассчитанную эквивалентную дозу с пределом дозы (см. лаб. раб 406).

3.5. Решите задачу. Телевизор с кинескопом - электронно-лучевой трубкой испускает тормозное рентгеновское излучение. Мощность эквивалентной дозы на расстоянии 2,5 м от телевизора равна $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ мкЗв/час}$. Определить годовую эквивалентную дозу для зрителя при ежедневном трехчасовом просмотре телепередач на расстоянии от телевизора 2,5 м и 0,5 м.

Контрольные вопросы

1. Природа γ -излучения. Свойства γ -излучения.
2. Экспозиционная доза, единицы измерения.
3. Поглощенная доза, единицы измерения.
4. Связь между экспозиционной дозой и поглощенной дозой в воздухе и в биологической ткани.
5. Гамма-постоянная радионуклида.
6. Закон обратных квадратов.
7. Механизм потерь энергии α , β -частиц и фотонного излучения в биологической ткани.
8. Сцинтилляционный метод регистрации ионизирующего излучения.
9. Методы защиты от γ -излучения.

Список литературы

1. Кужир П.Г., Сатиков И.А., Трофименко Е.Е. Радиационная безопасность: Учебное пособие – Минск: НПООО «Пион», 1999. – 279 с.
2. Защита от ионизирующих излучений: в 2 т./ под ред. Н.Г. Гусева – М., Энергоатомиздат, 1989. – Т.1: Физические основы защиты от излучений – 1989. – 509 с.
3. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: Справочник – М.: Энергоатомиздат, 1995. -314 с.