

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4**

**«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С  
ВЕЩЕСТВОМ. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТЫ  
ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ»**

по дисциплине

**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
РАБОЧЕЙ СРЕДЫ**

**Задачи:** 1, 3 задача взять вещество кобальт, персонал А, расстояние до источника ионизирующего излучения – 10 см.

### Задание 1

Определите пробег  $\alpha$ -частиц с энергией 10 МэВ ( $1,6 \cdot 10^{-12}$  Дж) в воздухе.

#### Решение:

Между пробегом  $\alpha$ -частиц в воздухе (L) см и начальной энергией (E) существует эмпирическое соотношение:

$$L = K \sqrt{E^3} \text{ (см)},$$

где постоянная K равна 0,318, если энергия выражена в мега-электронвольтах [МэВ], и  $4,95 \cdot 10^{18}$ , если энергия выражена в джоулях [Дж].

Подставив численные данные, получим

$$L = 0,318 \cdot \sqrt{10^3} = 10,06 \text{ см.}$$

**Ответ:** пробег  $\alpha$ -частиц равен 10,06 см.

### Задание 3

Обнаружен источник ионизирующего излучения (ИИИ) – 1 г изотопа  $^{60}\text{Co}$ , который необходимо экранировать для обеспечения радиационной безопасности персонала группы А. Подберите материал для установления защиты и рассчитайте ее толщину, если расстояние до источника ИИ – 10 см.

#### Решение:

1. Определяем постоянную радиоактивного распада  $^{60}\text{Co}$ , принимая во внимание, что его период полураспада равен  $T_{1/2} = 5,3$  года.

$$\lambda = 0,693/T_{1/2} = 0,693/5,3 \text{ года} = 0,13 \text{ год}^{-1} = 4,1 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1}.$$

2. Определяем активность радиоактивного изотопа

$$a = \lambda \cdot \frac{m}{A} \cdot N_A = 4,1 \cdot 10^{-14} \text{ с}^{-1} \cdot \frac{1 \text{ г}}{60 \text{ г/моль}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ атомов/моль} = 4,11 \cdot 10^8 \text{ Бк},$$

где  $N_A$  – число Авогадро,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  атомов/моль;

m- масса радиоактивного элемента, г;

A – атомная масса элемента, которая для  $^{60}\text{Co}$  равна 60 г.

3. Мощность экспозиционной дозы X точечного источника без защиты определяем по формуле

$$X = \frac{A \cdot K_{\gamma}}{H^2},$$

где  $A$  – активность источника излучения, 1 Ки;

$K_{\gamma}$  – ионизационная гамма-постоянная,  $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$ . Для нуклида  $^{60}\text{Co}$  определяем по справочным таблицам  $K_{\gamma} = 12,91 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$ .

$H$  – расстояние до источника, см.

Поскольку в формуле активность источника представлена в мКи, то перед подстановкой необходимо выполнить перевод из Бк в Ки

$$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки} = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ мКи.}$$

$$a = 4,11 \cdot 10^8 \text{ Бк} = 4,11 \cdot 10^8 \cdot 2,7 \cdot 10^{-8} = 11,1 \text{ мКи.}$$

$$X = \frac{11,1 \text{ мКи} \cdot 12,91 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})}{10^2 \text{ см}^2} = 1,43 \text{ Р/ч.}$$

4. Необходимую кратность ослабления  $K_{\text{необх}}$  определяем отношением дозы излучения в рассматриваемой точке к пределу дозы:

$$K_{\text{необх}} = \frac{f \cdot X}{\text{ПД}},$$

где  $X$  – экспозиционная доза, Р;

ПД – предел дозы (НРБ-99/2009), мЗв. Для персонала категории А нормативное значение предела дозы облучения составляет 20 мЗв в год. При нормированном времени работы персонала за год  $t_{\text{перс}} = 1700$  ч это соответствует 0,012 мЗв/ч;

$$f = 9,3 \text{ мЗв/Р.}$$

$$K_{\text{необх}} = \frac{f \cdot X}{\text{ПД}} = \frac{9,3 \text{ мЗв/Р} \cdot 1,43 \text{ Р/ч}}{0,012 \text{ мЗв/ч}} = 1108 \text{ раз.}$$

5. Выбираем материал защиты от  $\gamma$  – излучения. Свинец эффективен, но имеет плохие механические свойства. Его используют для изготовления контейнеров (в оболочках из железа) для транспортировки изотопов. Вольфрам и обедненный уран используют в особо ответственных случаях для обеспечения минимального веса защиты. В данном случае используем защиту из баритобетона ( $\rho = 3,5 \text{ г/см}^3$  и  $\mu = 0,213 \text{ см}^{-1}$  при  $E = 1\text{МэВ}$ ).

Толщину защиты определяем по формуле:

$$d = \frac{\ln K_{\text{необх}}}{\mu},$$

где  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления,  $\text{см}^{-1}$ .

$$d = \frac{\ln 1108}{0,213 \text{ см}^{-1}} \approx 33 \text{ см.}$$

**Ответ:** для защиты от ионизирующего излучения ( $^{60}\text{Co}$ ) в заданных условиях персонала группы А используем баритобетон с толщиной слоя в 33 см.

## Вопросы для самоконтроля

**Вопрос 1.** Какие виды ионизирующих излучений вы знаете?

**Ответ:** Различают ионизирующее излучение двух видов: корпускулярное и электромагнитное.

- *Корпускулярное:* потоки частиц с ненулевой массой покоя (электроны, протоны, ядра гелия (альфа- частицы), нейтроны и многие другие). Частицы делят на две группы: «легкие» и «тяжелые». К первой относятся электроны и позитроны, их масса на три порядка меньше массы протона. Вторую образуют протоны, нейтроны, дейтроны и более тяжелые частицы.

- **Электромагнитное:** потоки частиц с нулевой массой покоя (фотоны). Электромагнитное ионизирующее излучение представлено гамма- и рентгеновским излучениями. Гамма-излучение состоит из фотонов с относительно большой энергией (обычно больше 500 кэВ). Оно испускается при ядерных превращениях и при аннигиляции частиц. Рентгеновское излучение состоит из фотонов с энергиями до 500 кэВ.

**Вопрос 2.** На какие процессы тратят энергию при взаимодействии с веществом заряженные частицы? гамма-кванты?

**Ответ:** В процессе прохождения *α-частиц* через вещество они теряют свою энергию главным образом при взаимодействии с электронами атомов. При этом наблюдаются следующие явления:

- ионизация атомов или молекул,
- возбуждение атомов или молекул,
- выбивание атомов.

Движение *электронов* в среде резко отличается по своему характеру от движения в ней тяжелых частиц. Особенности движения электронов обусловлены незначительной электронной массой и определяются тем, что электроны, сталкиваясь с атомными электронами и ядрами, сильно отклоняются от своего первоначального движения.

Проходящие через вещество *γ-кванты* теряют свою энергию в основном за счет следующих процессов:

- фотоэлектрического поглощения (фотоэффекта);
- рассеяния на свободных электронах (комптоновского рассеяния);
- образования электронно-позитронных пар.

**Вопрос 3.** Опишите закон ослабления интенсивности гамма-излучения в веществе.

**Ответ:** Ослабление интенсивности *γ-излучения* (узкого пучка) в веществе происходит по экспоненциальному закону

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\mu d},$$

где  $I_0$  – интенсивность *γ-излучения*, измеренная прибором при отсутствии защитного экрана, квант/с;

$I_d$  – интенсивность *γ-излучения* при наличии защитного экрана толщиной  $d$  см,

$\mu$  – линейный коэффициент ослабления *γ-лучей*,  $\text{см}^{-1}$ , который

характеризует относительное изменение интенсивности излучения на единицу толщины защитного экрана.

**Вопрос 4.** Что такое кратность ослабления интенсивности гамма-излучения в веществе?

**Ответ:** *Кратность ослабления (K)* – это величина, которая показывает, во сколько раз ослабляется интенсивность потока  $\gamma$ -излучения защитным материалом толщиной  $d$ .

$$K = \frac{I_0}{I_d}.$$

**Вопрос 5.** Как линейный коэффициент ослабления связан с массовым коэффициентом?

**Ответ:** Линейный коэффициент ослабления ( $\mu$ ) связан с массовым коэффициентом ослабления ( $\mu_T$ ) соотношением

$$\mu_T = \frac{\mu}{\rho},$$

где  $\rho$  – плотность вещества, г/см<sup>3</sup>.

**Вопрос 6.** Назовите категории облучаемых лиц в соответствии с НРБ-99/2009.

**Ответ:** Согласно НРБ-99/2009 установлены две категории облучаемых лиц:

- персонал, т.е. лица, работающие с техногенными источниками ионизирующих излучений (*группа А*) или находящиеся по условиям работы в зоне их воздействия (*группа Б*);

- все население (включая лиц из персонала, находящихся вне сферы и условий их производственной деятельности).

**Вопрос 7.** Регламентируют ли НРБ-99/2009 дозы, которые могут быть получены от облучения естественными источниками ионизирующих излучений?

**Ответ:** Регламентируемые значения основных дозовых пределов *не включают* в себя дозы, которые могут быть получены в результате радиационных аварий, а также от природных источников и медицинских процедур.

**Вопрос 8.** Что такое предел дозы (ПД)? предел годового поступления?

**Ответ:** *Предел дозы (ПД)* – величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы.

*Предел годового поступления (ПГП)* – допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

### Список использованной литературы

1. Гладской В.М., Самойленко В.М. Физика. Сборник задач с решениями, М.: Дрофа, 2004. - 288 с.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 6-е издание, 2009. - 720 с.
3. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В. Ф. Основы физики. М.: Высшая школа, 2002. - 527 с.
4. Радиоэкология: Курс лекций / Давыдов А.В., Игумнов С.А., Талалай А.Г., Уткин В.И., Фоминых В.И., Хайкович И.М./ Под.ред.Талалая А.Г./ - Екатеринбург: УГГГА, 2000. - 351 с.
5. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями М.: Высшая школа. 2008.- 591 с.
6. Физический энциклопедический словарь. /Под ред. Ю.В. Прохорова. — М.: Большая российская энциклопедия, 2003. — 944 с.