

15. ЭЛЕМЕНТЫ ДОЗИМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЙ

Закон поглощения гамма-излучения веществом имеет вид

$$I = I_0 \exp(-\mu x), \quad (15.1)$$

где I_0 – интенсивность гамма-излучения на входе в поглощающий слой; I – интенсивность гамма-излучения после прохождения поглощающего слоя вещества толщиной x ; μ – линейный коэффициент поглощения, зависящий от природы вещества и от энергии гамма-фотона (рис.22). Слой половинного ослабления называется слой, толщина $x_{1/2}$ которого такова, что интенсивность проходящих через него γ -лучей уменьшается в 2 раза: $x_{1/2} = (\ln 2)/\mu = 0,693/\mu$.

Дозой излучения (поглощенной дозой излучения) называют отношение энергии ионизирующего излучения, переданной облучаемому веществу, к массе этого вещества: $D = \Delta W/m$. Мощностью дозы излучения (поглощенной дозы) называется отношение дозы излучения ко времени Δt , в течение которого происходило поглощение: $\dot{D} = \Delta D/\Delta t$.

Экспозиционная доза фотонного излучения – это величина, равная отношению суммы электрических зарядов ΔQ всех ионов одного знака, созданных электронами, освобожденными в облученном воздухе при условии полного использования ионизирующей способности электронов, к массе m этого воздуха: $X = \Delta Q/\Delta m$. Мощностью экспозиционной дозы излучения называется физическая величина, равная отношению экспозиционной дозы фотонного излучения к интервалу времени Δt , за которое получена эта доза: $\dot{X} = X/\Delta t$.

Вероятность протекания того или иного типа взаимодействия между падающим на мишень излучением и мишенью оценивается с помощью так называемого сечения взаимодействия (измеряется в барнах, 1 барн = 10^{-28} м²):

$$\sigma = nd\Delta N/N, \quad (15.2)$$

где ΔN – количество вступивших во взаимодействие падающих частиц; N – количество частиц, попавших на мишень; n – плотность ядер мишени; d – толщина мишени.

Выход реакции определяется долей падающих частиц, вступивших во взаимодействие: $w = \Delta N/N = \sigma n/S$, где S – площадь мишени.

Пример 1. На поверхность воды падает гамма-излучение с длиной волны 0,414 пм. На какой глубине интенсивность излучения уменьшится в 2 раза?

Решение. Решим уравнение (15.1) относительно x и получим $x = (1/\mu) \ln(I_0/I)$. Вычислим энергию гамма-фотонов: $\varepsilon = hc/\lambda = 4,8 \cdot 10^{-13}$ Дж = 3 МэВ. По графику зависимости μ от ε (рис.22) найдем $\mu = 0,04$ см⁻¹. Тогда $x = 17,3$ см.

Пример 2. Для регистрации медленных нейтронов широко используют счетчики,

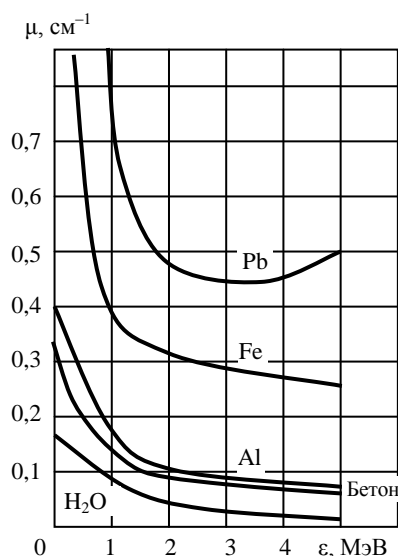


Рис.22

наполненные газообразным ³He. Счетчик представляет собой цилиндр диаметра $D = 25$ мм, наполненный газом при давлении 10 атм и температуре 300 К. В счетчике происходит реакция ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$, сечение которой для регистрируемых нейтронов $\sigma = 5400$ барн. Рассчитать долю регистрируемых нейтронов, предполагая, что нейтроны в счетчике движутся вдоль его диаметра.

Решение. Пусть на 1 см² поверхности счетчика падает N нейтронов, из которых при прохождении слоя dx вступают в реакцию (т.е. регистрируются) $N\sigma n dx$, где n – концентрация атомов ³He в счетчике. При прохождении расстояния dx изменение потока нейтронов $dN = -N\sigma n dx$. Интегрируя это соотношение, получим

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\sigma n \int_0^D dx \quad \text{или} \quad N = N_0 \exp(-\sigma n D).$$

Именно такое число нейтронов пойдет через счетчик, не зарегистрировавшись. Значит, зарегистрированная часть

нейтронов $\eta = (N_0 - N) / N_0 = 1 - \exp(-\sigma n D)$. Так как $n = 2,7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, то $\sigma n D = 3,63$ и $\eta = 0,974$. Эта оценка показывает, что эффективность рассматриваемого счетчика близка к 100 %.

Задачи.

1. Космическое излучение на уровне моря на экваторе в объеме воздуха $V = 1 \text{ см}^3$ образует в среднем 24 пары ионов за время $t_1 = 10 \text{ с}$. Определить экспозиционную дозу X , получаемую человеком за время $t_2 = 1 \text{ год}$.

2. Какая доля всех молекул воздуха при нормальных условиях ионизируется рентгеновским излучением при экспозиционной дозе $X = 1000 \text{ Р}$?

3. Определить мощность экспозиционной дозы космического излучения на уровне моря на экваторе, если в 1 см^3 воздуха образуется в среднем 24 пары ионов за время 10 с.

4. Воздух при нормальных условиях облучается γ -излучением. Определить энергию W , поглощаемую воздухом массой 5 г при экспозиционной дозе излучения $X = 258 \text{ мкКл/кг}$. Считать, что в одном акте поглощается энергия 6,8 эВ.

5. Под действием космических лучей в объеме воздуха $V = 1 \text{ см}^3$ на уровне моря образуется в среднем 120 пар ионов за промежуток времени $\Delta t = 1 \text{ мин}$. Определить экспозиционную дозу излучения, полученную человеком за одни сутки.

6. Эффективная вместимость ионизационной камеры карманного дозиметра $V = 1 \text{ см}^3$, емкость $C = 2 \text{ пФ}$. Камера содержит воздух при нормальных условиях. Дозиметр был заряжен до потенциала $\phi_1 = 150 \text{ В}$. Под действием излучения потенциал понизился до $\phi_2 = 110 \text{ В}$. Определить экспозиционную дозу X излучения.

7. Определить дозу облучения D , полученную за время $\Delta t = 30 \text{ мин}$ человеком массой 80 кг, если энергия падающего излучения $\epsilon_\gamma = 2 \text{ МэВ}$, а поток частиц 10^3 с^{-1} . Считать, что все падающее излучение поглощается человеком.

8. Сколько слоев половинного ослабления требуется, чтобы уменьшить интенсивность узкого пучка γ -излучения в 100 раз?

9. Интенсивность узкого пучка γ -лучей после прохождения через слой свинца толщиной 4 см уменьшилась в 8 раз. Вычислить энергию γ -квантов и толщину слоя половинного ослабления.

10. Узкий пучок γ -лучей ($\epsilon_\gamma = 2,4 \text{ МэВ}$) проходит через бетонную плиту толщиной $x = 1 \text{ м}$. Какой толщины плита чугуна дает такое же ослабление данного пучка γ -лучей?

11. Какова толщина слоя половинного поглощения свинца для гамма-лучей, длина волны которых равна 0,115 нм.

12. Чему равна энергия γ -фотонов, если при прохождении через слой железа толщиной 3 см интенсивность излучения ослабляется в 3 раза.

13. Во сколько раз изменится интенсивность γ -излучения ($\epsilon_\gamma = 2 \text{ МэВ}$) при прохождении экрана, состоящего из двух плит, свинцовой ($d_1 = 2 \text{ см}$) и алюминиевой ($d_2 = 5 \text{ см}$)?

14. Рассчитать толщину защитного слоя свинца, который ослабляет интенсивность излучения γ -фотонов с энергией 2 МэВ в 5 раз.

15. На какую глубину нужно погрузить в воду источник узкого пучка γ -излучения ($\epsilon_\gamma = 1,6 \text{ МэВ}$), чтобы интенсивность пучка, вышедшего из воды, была уменьшена в 1000 раз?

16. Через свинец проходит узкий пучок γ -излучения. При каком значении энергии γ -фотонов толщина слоя половинного ослабления $x_{1/2}$ будет максимальной? Определить максимальную толщину слоя половинного ослабления для свинца.

17. Чугунная плита уменьшает интенсивность пучка γ -излучения ($\epsilon_\gamma = 2,8 \text{ МэВ}$) в 10 раз. Во сколько раз уменьшит интенсивность этого пучка такая же свинцовая плита?

18. Определить для бетона толщину слоя половинного ослабления узкого пучка γ -излучения с энергией фотонов $\epsilon_\gamma = 0,6 \text{ МэВ}$.

19. Вычислить толщину слоя половинного ослабления $x_{1/2}$ параллельного пучка γ -излучения для воды, если линейный коэффициент ослабления $\mu = 0,047 \text{ см}^{-1}$.

20. Из реактора выходит поток нейтронов $j = 10^{14} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$ и попадает на пластину толщиной 1 см, вызывая реакцию в мишени. Поперечное сечение реакции $\sigma = 10^{-27} \text{ см}^2$, плотность ядер мишени $n = 10^{22} \text{ см}^{-3}$. Какова скорость протекания реакции, т.е. количество актов взаимодействия, происходящих на единице поверхности мишени в единицу времени?

21. Узкий пучок тепловых нейтронов проходит через железную пластинку толщиной 0,5 см. Сечение поглощения для Fe $\sigma = 2,5$ барн. Определить относительную долю нейтронов, выбывающих из пучка в результате поглощения.

22. Узкий пучок нейтронов проходит через пластинку из железа, для которого сечение рассеяния $\sigma = 11$ барн. Определить относительную долю нейтронов, выбывающих из пучка в результате рассеяния, если толщина пластины $d = 0,5$ см.

23. Узкий пучок нейтронов ослабляется в 360 раз при прохождении пластинки кадмия толщиной $d = 0,5$ мм. Каково сечение взаимодействия нейтронов с ядрами Cd?

24. Во сколько раз уменьшится интенсивность узкого пучка тепловых нейтронов после прохождения слоя тяжелой воды толщиной $d = 5,0$ см? Сечение взаимодействия ядер дейтерия и кислорода соответственно $\sigma_1 = 7,0$ барн и $\sigma_2 = 4,2$ барн.

25. Золотую фольгу массой $m = 0,2$ г облучали в течение 6 ч потоком тепловых нейтронов, падающих по нормали к поверхности. Через 12 ч после окончания облучения оказалось, что активность фольги $A = 1,9 \cdot 10^7$ Бк. Найти плотность потока нейтронов, если сечение образования ядра радиоизотопа $\sigma = 96$ барн, а период полураспада $T = 2,7$ сут.