

Лабораторная работа № 3 по радиационной экологии «Прохождение ионизирующих излучений через вещество»

Основные формулы:

1. $R_\alpha = 1,24E_0 - 2,62$ (см)

2. $R_\alpha = \frac{10^{-4} \sqrt{A_m E_0^3}}{\rho_x}$ (см)

3. $I_\gamma = I_0 e^{-\mu d}$

4. $d = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I_\gamma}\right)}{\mu}$

5. $d_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\mu} \approx \frac{0,693}{\mu}$

6. $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$ (см²/г)

7. $K = \frac{P_x}{P_{xПД}}$

8. $P_x = \frac{AK_\gamma}{R^2}$

Пример решения задачи

Задача 1.

Дано. Рассчитать пробег альфа-частиц в воздухе и алюминии в зависимости от энергии частиц $E_0 = 4,5$ МэВ. Плотность алюминия взять из таблицы.

Решение.

1. Определяем пробег альфа-частиц в воздухе:

$$R_\alpha = 1,24E_0 - 2,62 = 1,24 \cdot 4,5 - 2,62 = 2,96 \text{ (см)}$$

2. Определяем пробег альфа-частиц в алюминии:

$$R_\alpha = \frac{10^{-4} \sqrt{A_m E_0^3}}{\rho_x} = \frac{10^{-4} \sqrt{27 \cdot 91,125}}{2,7} = \frac{10^{-4} \cdot 49,6}{2,7} = 1,837 \cdot 10^{-3} \text{ (см)}$$

Задача 2.

Дано. На свинцовую пластину падает поток гамма-квантов с энергией 1 МэВ. После прохождения пластины интенсивность потока уменьшается на 10%. Определить толщину пластины, слой половинного ослабления и массовый коэффициент ослабления свинца для гамма-квантов этой энергии.

Решение.

1. Находим плотность свинца и значение линейного коэффициента ослабления для $E_\gamma = 1$ МэВ. Они равны 11,3 г/см³ и 0,789 см⁻¹, соответственно. Толщину пластины определим из закона поглощения:

$$d = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I_\gamma}\right)}{\mu} = \frac{\ln\left(\frac{1}{0,9}\right)}{0,789} \approx 0,14 \text{ (см)}$$

2. Толщину слоя половинного ослабления получим:

$$d_{1/2} = \frac{0,693}{0,789} \approx 0,87 \text{ (см)}$$

3. Определим массовый коэффициент ослабления:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \approx \frac{0,789}{11,3} \approx 0,07 \text{ (см}^2\text{/г)}$$

Линейный коэффициент ослабления узкого пучка гамма-излучения, см⁻¹

№ п/п	E_γ , МэВ	Алюминий, $\rho=2,7 \text{ г/см}^3$	Бетон, $\rho=2,35 \text{ г/см}^3$	Железо, $\rho=7,8 \text{ г/см}^3$	Медь, $\rho=8,92 \text{ г/см}^3$	Олово, $\rho=7,28 \text{ г/см}^3$	Свинец, $\rho=11,3 \text{ г/см}^3$
1	0,1	0,456	0,397	2,92	3,702	7,15	62,068
2	0,2	0,329	0,291	1,146	1,293	2,228	10,689
3	0,3	0,281	0,251	0,864	0,945	1,114	4,278
4	0,4	0,250	0,224	0,738	0,813	0,801	2,496
5	0,5	0,228	0,204	0,659	0,728	0,757	1,725
6	0,6	0,210	0,189	0,604	0,668	0,572	1,350
7	0,662	0,200	0,178	0,570	0,642	0,541	1ДВ
8	0,8	0,184	0,166	0,525	0,582	0,472	0,983
9	1,0	0,166	0,149	0,470	0,522	0,413	0,789
10	1,25	0,148	0,132	0,408	0,474	0,373	0,655
11	1,5	0,135	0,122	0,381	0,426	0,333	0,592
12	2,0	0,117	0,104	0,333	0,373	0,296	0,525
13	3,0	0,0953	0,0853	0,283	0,319	0,266	0,480
14	4,0	0,0837	0,0745	0,259	0,296	0,259	0,478
15	5,0	0,0761	0,0674	0,246	0,284	0,259	0,483
16	6,0	0,0712	0,0630	0,239	0,276	0,261	0,495
17	8,0	0,0650	0,0571	0,231	0,271	0,269	0,521
18	10,0	0,0618	0,0538	0,231	0,273	0,280	0,555

Задача 3.

Дано. Рассчитать толщину стен помещения из бетона, в котором размещается источник излучения кобальт-60 активностью 3 Ки; энергия излучения $E_\gamma = 0,1$ МэВ. Расстояние от источника излучения до лиц (не связанных с работой источника), находящихся в соседнем помещении, 5 метров.

Решение.

1. Определяем мощность экспозиционной дозы P_x по формуле:

$$P_x = \frac{AK_\gamma}{R^2}$$

где K_γ – гамма-постоянная равна мощности экспозиционной дозы, создаваемой гамма-излучением точечного радионуклидного источника активностью 1 мКи на расстоянии 1 см от него. Гамма-постоянная выражается в Р·см²/(мКи·ч).

$$P_x = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 12,93}{(5 \cdot 100)^2} = 0,155 \text{ (Р/ч)}$$

2. Рассчитываем кратность ослабления из выражения: $K = P_x/P_{x\text{ПД}}$, где $P_{x\text{ПД}}$ – предел дозы, который согласно нормам радиационной безопасности составляет 0,057 мбэр/ч.

$$K = \frac{P_x}{P_{x\text{ПД}}} = \frac{0,155 \cdot 10^3}{0,057} \approx 2,7 \cdot 10^3$$

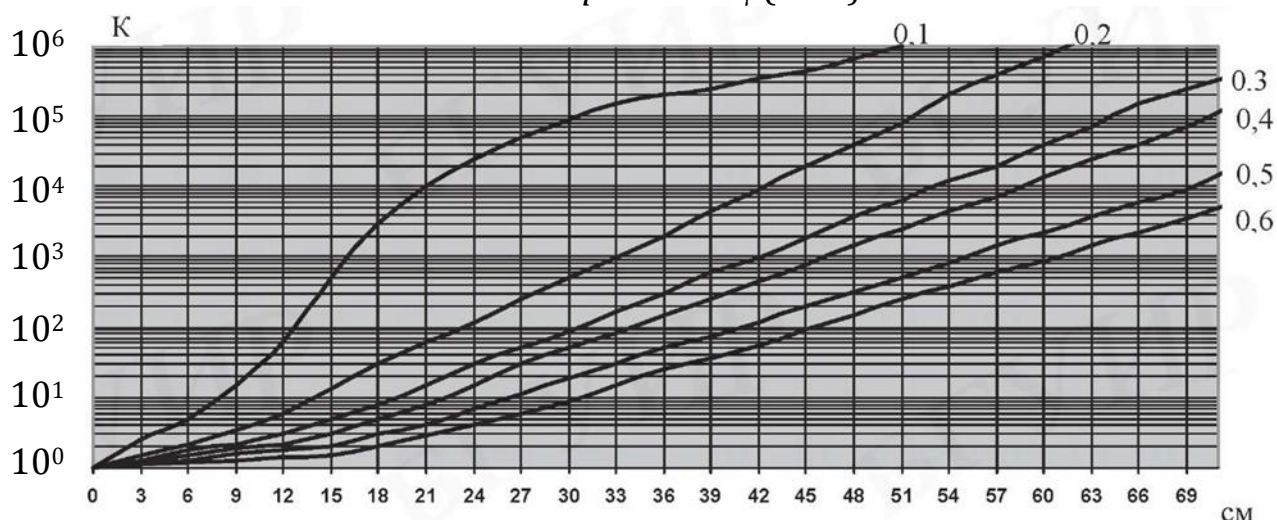
3. По палетке определяем толщину стен помещения, которая составит примерно 18 см.

Характеристики некоторых радиоактивных веществ

№	Вещество	$\frac{\Gamma_{\delta}}{\left[\frac{\text{Гр} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}} \right] 10^{-18}}$	$\frac{K_{\gamma}}{\left[\frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{мКи} \cdot \text{ч}} \right]}$	$\frac{B_{\text{сy}}}{\left[\frac{\text{Зв} \cdot \text{м}^2}{\text{Бк} \cdot \text{с}} \right]}$	$T_{1/2}$
1	Аргон-41 (^{41}Ar)	43,09	6,6		1,8 ч
2	Бром-82 (^{82}Br)	87,3	14,5		35,3 ч
3	Европий-154 (^{154}Eu)	43,04	5,02		16 лет
4	Йод-131 (^{131}I)	14,2	2,15	$1,93 \cdot 10^{-16}$	8,04 сут.
5	Калий-40 (^{40}K)				30 лет
6	Кобальт-60 (^{60}Co)	84,63	12,93	$1,15 \cdot 10^{-15}$	5,3 года
7	Лантан-140 (^{140}La)	75,6	11,14		40,2 ч
8	Марганец-52 (^{52}Mn)	118,3	18,03		271 сут.
9	Марганец-56 (^{56}Mn)	55,8	2,28		2,6 ч
10	Медь-64 (^{64}Cu)	7,42	1,12		12,7 ч
11	Мышьяк-74 (^{74}As)	16,74	4,43		26 ч
12	Натрий-22 (^{22}Na)	78,02	11,9		2,6 года
13	Натрий-24 (^{24}Na)	119,4	18,55		15,005 ч
14	Плутоний-239 (^{239}Pu)			$3,73 \cdot 10^{-20}$	24 300 лет
15	Полоний-210 (^{210}Po)				138,4 сут.
16	Прометий-145 (^{145}Pm)				2,6 года
17	Радий-226 (^{226}Ra)				1600 лет
18	Ртуть-203 (^{203}Hg)				46,8 сут.
19	Рутений-103 (^{103}Ru)			$2,68 \cdot 10^{-16}$	39,3 сут.
20	Рутений-106 (^{106}Ru)	7,58	1,54	$1,03 \cdot 10^{-16}$	1 год
21	Стронций-90 (^{90}Sr)				29,12 года
22	Таллий-204 (^{204}Tl)				3,6 года
23	Цезий-134 (^{134}Cs)	57,44	8,6	$7,83 \cdot 10^{-16}$	2,06 года
24	Цезий-137 (^{137}Cs)	21,33	3,24	$2,91 \cdot 10^{-16}$	30 лет
25	Цинк-65 (^{65}Zn)				244 сут.

Толщина защиты из бетона ($\rho = 2,3 \text{ г/см}^3$)

Индекс кривых – E_γ (МэВ)



Задача 4.

Дано. Мощность экспозиционной дозы без защиты на рабочем месте равна $P_x = 280 \text{ мР/ч}$. Рассчитать толщину защиты из железа, если источником излучения является цезий-137 ($E_\gamma = 0,662 \text{ МэВ}$), а время работы 25 часов в неделю.

Решение.

1. Рассчитаем предельно допустимую мощность экспозиционной дозы $P_{x\text{ПД}}$ из выражения:

$$P_{x\text{ПД}} = \frac{100}{t}$$

где t – время работы в неделю, ч:

$$P_{x\text{ПД}} = \frac{100}{25} = 4$$

2. Определяем кратность ослабления из выражения

$$K = \frac{P_x}{P_{x\text{ПД}}} = \frac{280}{4} = 70$$

3. Находим линейный коэффициент ослабления гамма-излучения при $E_\gamma = 0,662 \text{ МэВ}$. Он равен 0,57.

4. Рассчитаем толщину защиты d из железа, используя соотношение:

$$d = \frac{\ln(K)}{\mu} = \frac{\ln 70}{0,57} \approx 7,5 \text{ (см)}$$

Задача для самостоятельной работы

Задача 1.

Дано. Рассчитать пробег альфа-частиц в веществе (среде) N в зависимости от их энергии E_α и плотности вещества ρ_x . Исходные данные для расчёта приведены в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Вещество (среда), N	Алюминий	Воздух	Алюминий	Воздух	Алюминий	Воздух
Энергия E_γ , МэВ	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0
ρ_x , г/см ³	2,7	1,0	2,7	1,0	2,7	1,0
Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Вещество (среда), N	Алюминий	Воздух	Алюминий	Воздух	Алюминий	Воздух
Энергия E_γ , МэВ	7,0	7,0	8,0	8,0	8,5	8,5
ρ_x , г/см ³	2,7	1,0	2,7	1,0	2,7	1,0

Задача 2.

Дано. На пластину M падает поток гамма-квантов с энергией E_γ , МэВ. После прохождения пластины интенсивность потока уменьшается на $n\%$. Определить толщину пластины, слой половинного ослабления и массовый коэффициент ослабления пластины для гамма-квантов этой энергии. Исходные данные для расчёта приведены в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Пластина M	Алюминий	Бетон	Железо	Медь	Олово	Свинец
Энергия E_γ , МэВ	1,0	0,5	1,25	1,5	0,4	1,0
n , %	25	20	30	50	10	15
Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Пластина M	Алюминий	Бетон	Железо	Медь	Олово	Свинец
Энергия E_γ , МэВ	1,5	1,25	2,0	1,25	1,0	2,0
n , %	40	20	60	20	10	50

Задача 3.

Дано. Рассчитать толщину стен помещения из бетона, в котором размещается источник излучения N активностью A , энергия излучения которого E_γ , МэВ. Расстояние от источника излучения до лиц, находящихся в соседнем помещении (не связанных с работой источника), R метров. Исходные данные для расчёта приведены в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Источник излучения, N	Натрий ²² Na	Иод ¹³¹ I	Бром ⁸² Br	Мышьяк ⁷⁴ As	Цезий ¹³⁴ Cs	Ртуть ²⁰³ Hg
Активность источника A , Ки	2	1	3	4	5	6
Энергия излучения E_γ , МэВ	0,1	0,6	0,3	0,2	0,5	0,4
Расст. от ист. до РМ R , м	5	6	7	4	5	4

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Источник излучения, N	Аргон ^{41}Ar	Кобальт ^{60}Co	Цезий ^{137}Cs	Рутений ^{106}Ru	Европий ^{154}Eu	Медь ^{64}Cu
Активность источника A , Ки	1	4	5	3	6	2
Энергия излучения E_γ , МэВ	ОД	0,2	0,4	0,5	0,6	0,3
Расст. от ист. до РМ R , м	5	7	4	6	7	4

Задача 4.

Дано. Мощность экспозиционной дозы без защиты на рабочем месте равна P_x , мР/ч. Рассчитать толщину защиты из вещества M , если источником является цезий-137 (E_γ , МэВ), а время работы t часов в неделю. Исходные данные для расчёта приведены в таблице.

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Вещество M	Алюминий	Бетон	Железо	Медь	Олово	Свинец
Энергия E_γ , МэВ	0,662	0,6	0,8	1,0	0,5	1,25
Время работы, t	7	10	13	5	10	11
P_x , мР/ч	280	220	140	250	240	220

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Вещество M	Алюминий	Бетон	Железо	Медь	Олово	Свинец
Энергия E_γ , МэВ	1,0	0,8	1,0	0,662	1,5	0,662
Время работы, t	8	7	4	6	5	9
P_x , мР/ч	240	280	250	320	250	270