

Задачу

Задача № 1.

Бетонная защита (толщина $x=30$ см) рассчитана для работы с точечным изотропным источником ^{60}Co ($E_\gamma = 1,25$ МэВ) в течение $t_1 = 1,0$ ч с соблюдением предельно допустимой дозы. Какую толщину бетонной защиты следует добавить, чтобы обеспечить работу в течение $t_2 = 5$ ч?

Решение задачи №1.

Дополнительная кратность ослабления составляет $K = t_2/t_1 = 5/1 = 5$, что соответствует дополнительной толщине бетонной защиты $\Delta x_6 = 24,6$ см (см.таблицу П.3). Тогда полная толщина бетонной защиты будет равна $x_6 = 30 + 24,6 = 54,6$ см.

Таблица П.3. Толщина защиты из бетона, см
($\rho = 2,3$ г/см³)

Кратность ослабления K	Энергия фотонов, МэВ												
	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	8,3	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,2	9,4	10,0	11,7	11,7	11,7
2	12,7	12,9	13,3	13,6	13,8	14,1	14,3	15,0	15,3	16,4	18,8	18,8	18,8
5	23,0	23,5	24,6	35,8	27,0	28,2	29,4	31,8	32,9	35,2	38,7	39,3	39,9
8	27,9	28,8	30,5	32,2	33,8	35,2	36,4	38,8	39,9	43,4	48,1	48,7	49,3
10	29,1	29,9	31,9	34,0	35,9	37,6	39,0	42,0	43,4	47,5	51,6	52,8	54,0
20	36,2	37,0	39,9	42,5	44,8	47,0	48,6	52,3	54,0	58,7	64,6	65,7	69,3
30	39,2	40,5	43,7	46,5	49,3	51,6	53,5	57,9	59,9	65,7	71,6	72,8	78,1
40	41,3	42,8	45,3	49,8	52,8	55,2	57,3	61,9	64,0	69,8	77,5	79,2	84,5
50	42,8	44,6	48,5	52,1	55,2	58,1	60,1	64,8	66,9	72,8	81,6	83,9	89,8
60	44,1	45,8	50,1	54,0	57,5	60,5	62,7	67,6	69,8	74,0	85,1	88,0	93,9

Задача № 2 .

Оценить толщину защиты из железа, которая снижает мощность дозы от точечного изотропного источника ^{137}Cs в 100 раз при измерении дозы в бесконечной геометрии.

Толщину защитного экрана, снижающую уровни излучения в 2 раза, называют слоем половинного ослабления $\Delta_{1/2}$.

Допустим, что требуется рассчитать защиту для достижения кратности ослабления K в широком пучке, т.е. с учетом рассеянного излучения. Тогда можно записать

$$K = 2^n,$$

где n — требуемое число слоёв половинного ослабления.

Искомая толщина защиты определяется из соотношения

$$x = n \cdot \Delta_{1/2},$$

если известна толщина слоя половинного ослабления $\Delta_{1/2}$ материала защиты для условий поставленной задачи.

При $k \leq 10^3$ можно использовать величины слоев ослабления $\Delta_{1/10}$, $\Delta_{1/100}$, $\Delta_{1/1000}$. При $k > 10^3$ значение $\Delta_{1/10}$ ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ИЗМЕНЯЕТСЯ с толщиной защиты и МОЖЕТ БЫТЬ ПРИНЯТО ПОСТОЯННЫМ и РАВНЫМ $\Delta_{1/10}^{ac}$ – АСИМПТОТИЧЕСКОМУ ЗНАЧЕНИЮ.

Используя значения $\Delta_{1/10}$, $\Delta_{1/100}$, $\Delta_{1/1000}$, $\Delta_{1/10}^{ac}$ при

$$k = l \cdot 10^m, \quad (1)$$

где l – коэффициент, принимающий значения $1 \leq l \leq 10$,

m – целое положительное число, можно ОПРЕДЕЛИТЬ ТОЛЩИНУ ЗАЩИТЫ с высокой точностью по уравнениям:

$$\text{при } m = 0 \quad x = \Delta_{1/10} \cdot \xi; \quad (2)$$

$$\text{при } m = 1 \quad x = \Delta_{1/10} + \Delta_{1/10} \cdot \xi; \quad (3)$$

$$\text{при } m = 2 \quad x = \Delta_{1/100} + (\Delta_{1/100} - \Delta_{1/10}) \cdot \xi; \quad (4)$$

$$\text{при } m \geq 3 \quad x = \Delta_{1/1000} + \Delta_{1/10}^{ac} (m - 3) + \Delta_{1/10}^{ac} \cdot \xi; \quad (5)$$

где ξ – коэффициент, связывающий слой $\Delta_{1/10}$ со слоем $\Delta_{1/l}$, ослабляющим излучение в l раз;

$\Delta_{1/l} = \Delta_{1/10} \cdot \xi$, значения $\xi = \ln l / 2,3$ приведены в [табл.П1](#).

Таблица П1. Значения ξ

l	ξ	l	ξ	l	ξ	l	ξ
1,5	0,176	4,0	0,602	6,0	0,778	8,5	0,929
2,0	0,301	4,5	0,653	6,5	0,813	9,0	0,954
2,5	0,398	5,0	0,699	7,0	0,845	9,5	0,978
3,0	0,477	5,0	0,740	7,5	0,875	10,0	1,00
3,5	0,544			8,0	0,903		

Значения $\Delta_{1/10}$, $\Delta_{1/100}$, $\Delta_{1/1000}$, $\Delta_{1/10}^{ac}$ для различных материалов для проведения расчетов защиты приведены в [табл.П2](#) для **ПЛОСКИХ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИЗОТРОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ ФОТОНОВ** при измерении дозы в барьерной геометрии, в [табл. П4](#) для **ТОЧЕЧНЫХ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИЗОТРОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ** при измерении дозы в бесконечной геометрии.

Таблица П.2. Значения $\Delta_{1/10}$, $\Delta_{1/100}$, $\Delta_{1/1000}$, $\Delta_{1/10}^{ac}$ для различных материалов для плоского изотропного источника фотонов при измерении дозы в барьерной геометрии

E_{γ} , МэВ	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$
Вода $Z = 6,6$; $n_3 = 3,34 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$					Обычный бетон $Z = 12,0$; $n_3 = 3,02 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$			
0,625	29	60	91	30,0	29	63	96	33,0
1,0	33	70	107	37,1	34	75	116	41,1
1,5	37	81	124	42,8	40	87	135	47,3
2,5	45	99	153	53,8	49	107	165	58,8
4,0	54	120	187	67,7	59	127	198	72,2
6,0	63	142	222	81,7	63	143	226	83,7
8,075	69	157	248	92,3	67	153	244	91,3

Продолжение **табл. П.2.**

E_{γ} , МэВ	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{\text{ac}}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{\text{ac}}$
Железо $Z = 26$; $n_{\gamma} = 2,80 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$					Свинец $Z = 82$; $n_{\gamma} = 2,38 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$			
0,625	27	63	97	34,9	13	31	50	20,2
1,0	35	78	121	43,9	24	54	87	35,3
1,5	41	91	141	50,5	33	75	119	46,7
2,5	49	102	170	61,3	38	89	143	55,3
4,0	54	122	193	71,1	38	90	146	57,9
6,0	54	126	202	7,6	34	83	136	57,1
8,075	53	125	202	78,5	32	76	127	55,8

Таблица П.4. Значения $\Delta_{1/2}$, $\Delta_{1/10}$, $\Delta_{1/100}$, $\Delta_{1/1000}$, $\Delta_{1/10}^{ac}$, г/см² для различных материалов для точечного изотропного источника фотонов при измерении дозы в бесконечной среде

E_{γ} , МэВ	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	$\Delta_{1/10}^{ac}$
Вода $Z = 6,6; n_s = 3,34 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$						Обычный бетон $Z = 12,0; n_s = 3,02 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$				
0,1	21	30	46	58	17,8	11	19	26	36	27,9
0,145	24	36	55	71	18,5	14	25	36	48	29,9
0,2	27	45	67	89	19,5	17	34	48	65	32,5
0,279	28	50	77	102	21,2	22	43	63	85	32,5
0,3	28	51	80	105	22,0	23	45	66	90	32,5
0,4	28	54	86	113	24,8	26	54	81	111	32,5
0,412	28	54	86	114	25,0	26	55	82	112	32,5
0,5	28	57	89	119	27,5	28	59	92	127	32,7
0,6	27	57	93	125	29,2	28	62	99	136	33,5

Продолжение табл.П. 4.

$E_{\gamma},$ МэВ	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/100}$ 0	$\Delta_{1/10}^a$ с	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/100}$ 0	$\Delta_{1/10}^a$ с
Вода $Z = 6,6; n_{\gamma} = 3,34 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$						Обычный бетон $Z = 12,0; n_{\gamma} = 3,02 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$				
0,662	27	57	95	129	30,2	28	63	102	140	34,6
0,7	27	58	96	131	31,2	28	63	104	144	35,1
0,8	27	60	100	136	33,2	29	65	108	150	37,2
0,9	28	61	103	141	34,8	29	67	112	156	39,3
1,0	28	62	105	145	36,8	30	69	116	162	41,2
1,25	28	66	114	157	40,2	30	73	125	175	48,2
1,5	28	70	120	168	44,2	31	78	134	188	51,2
1,75	29	74	128	178	48,0	32	82	143	201	55,2
2,0	30	78	134	188	51,2	32	87	151	213	58,8
2,2	31	80	139	195	54,0	33	90	158	223	61,2
2,75	33	85	153	216	60,5	34	97	172	245	68,5
3,0	34	88	159	225	63,8	35	100	178	255	71,9
4,0	35	97	180	257	73,0	38	109	194	278	79,6

Продолжение табл.П. 4.

Значения $\Delta_{1/2}$, $\Delta_{1/10}$, $\Delta_{1/100}$, $\Delta_{1/1000}$, $\Delta_{1/10}^{ac}$, г/см², и поправки на барьерность δ_d для различных материалов для точечного изотропного источника фотонов при измерении дозы в бесконечной среде (Машкович, стр.279)
(для железа, $Z = 26$; $n_3 = 2,80 \cdot 10^{23} \text{ г}^{-1}$; $\rho = 7,83 \text{ г/см}^3$)

$E_0, \text{МэВ}$	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{1/10}$	$\Delta_{1/100}$	$\Delta_{1/1000}$	Δ_{10}^{ac}	δ_d
0,05	0,4	1,3	2,7	3,9	1,4	
0,1	3,2	8,7	16,6	23,7	7,1	
0,3	15,8	37,9	64,7	89,9	24,1	
0,5	20,5	50,5	86,8	119,9	31,6	0,869
0,662	22,9	56,8	97,8	135,7	35,5	0,883

Решение задачи №2.

Представим кратность ослабления в виде $k = l \times 10^m$, где в данном случае $l = 1$, $m = 2$.

Тогда толщина защиты равна (табл.4) $x = \Delta_{100}(\text{Fe}, E_\gamma = 0,662 \text{ МэВ}) = 97,8 \text{ г/см}^2 / 7,83 \text{ г/см}^3 = 12,4 \text{ см}$.

Задача № 3.

Определить необходимую толщину защиты из свинца, снижающую мощность воздушной кермы ^{137}Cs с 5 до 0,01 мкГр/с, если слой десятичного ослабления свинца для гамма - излучения ^{137}Cs в геометрии широкого пучка равен 2,1 см (табл.3).

Таблица3. Слои половинного и десятикратного ослабления для источников гамма-излучений

Источник	Энергия гамма- излучения (МэВ)	Слой половинного ослабления (HVL)(см)		Слой десятикратного ослабления (TVL) (см)	
		Бетон	Свинец	Бетон	Свинец
^{226}Ra	0.047 – 2.4	6.9	1.66	23.4	5.5
^{60}Co	1.17, 1.33	6.2	1.20	20.6	4.0
^{137}Cs	0.66	4.8	0.65	15.7	2.1
^{192}Ir	0.13 – 1.06	4.3	0.60	14.7	2.0

Слой половинного и десятикратного ослабления для источников гамма-излучений

Источник	Энергия гамма-излучения (МэВ)	Слой половинного ослабления (HVL)(см)		Слой десятикратного ослабления (TVL) (см)	
		Бетон	Свинец	Бетон	Свинец
^{226}Ra	0.047 – 2.4	6.9	1.66	23.4	5.5
^{60}Co	1.17, 1.33	6.2	1.20	20.6	4.0
^{137}Cs	0.66	4.8	0.65	15.7	2.1
^{192}Ir	0.13 – 1.06	4.3	0.60	14.7	2.0

Решение задачи №3.

Кратность ослабления равна $k = 5/0,01 = 500 = 5 \times 10^2$. Если известна величина $\Delta_{1/10}$ слоя десятичного ослабления, то кратность ослабления можно рассчитать из соотношения $k = 10^n$, где n – число слоев десятичного ослабления: $500 = 10^n$, откуда $n = \log 500 = 2,7$. Таким образом, толщина защиты равна $d = \Delta_{1/10} \times n = 2,7 \times 2,1 \text{ см} = 5,7 \text{ см}$.