

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВА-  
ТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»  
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой  
«ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Автор: Долженко В.Н., Кокин С.М., \_\_\_\_\_  
Силина Е.К., Фортыгин А.А.

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ  
УКАЗАНИЯМИ**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»**

---

**Уровень ВО:** *Бакалавриат*

**Форма обучения:** *Заочная*

**Курс:** *3*

**Специальность/Направление:** *20.03.01 Техносферная безопасность (ТБб)*

**Специализация/Профиль/Магистерская программа:** *(ББ) Безопасность жизнедеятельности в техносфере*

Москва

## 1 Краткие сведения по теории

**Радиоактивностью** (от лат. *radio* – излучаю и *activus* – действенный) называется самопроизвольное превращение нестабильных атомных ядер в ядра других элементов, сопровождающееся испусканием частиц, а также жесткого электромагнитного излучения (рентгеновского или  $\gamma$ -излучения). Испускаемые потоки частиц и квантов электромагнитного излучения, проходя через вещество окружающей среды, вызывают ионизацию и возбуждение её атомов и молекул. Поэтому радиоактивное излучение называют ионизирующим излучением.

Уменьшение числа радиоактивных ядер со временем происходит по экспоненциальному закону, который называют **законом радиоактивного распада**:

$$N=N_0e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где:  $N$  – число оставшихся нераспавшимися ядер к моменту времени  $t$ ,

$N_0$  – число ядер в начальный момент времени (при  $t=0$ ),

$e$  – экспонента (*exp*);  $e \approx 2,718...$  (иррациональное число), основание натурального логарифма,

$\lambda$  – *постоянная радиоактивного распада* (константа, зависящая только от свойств вещества).

В соответствии с формулой (1) число ядер, распавшихся за время  $t$ , можно рассчитать, как

$$N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}). \quad (2)$$

Радиоактивные вещества (*радионуклиды*) обладают разной степенью устойчивости. Они распадаются или превращаются в другие ядра за определенное время, свойственное каждому веществу. Для определения устойчивости радионуклида введено понятие *периода полураспада*  $T_{0,5}$  – времени, в течение которого распадается половина исходного числа ядер данного радионуклида. Это время разное у различных ядер и может составлять от долей секунды до нескольких миллиардов лет. Значения  $T_{0,5}$  для некоторых радиоактивных изотопов приведены в таблице 1.

Используя понятие периода полураспада, формулу закона радиоактивного распада можно переписать в виде

$$N=N_02^{-t/T_{0,5}}. \quad (3)$$

Таблица 1

## Период полураспада радиоактивных изотопов

<i>Изотоп</i>	<i>Символ изотопа</i>	<i>Некоторые продукты распада</i>	<i>Периодполураспада</i>
Магний	$^{27}_{12}\text{Mg}$	$^{27}_{11}\text{Na}$	10 минут
Радон	$^{222}_{86}\text{Rn}$	$^{218}_{84}\text{Po}$	3,82 суток
Иод	$^{131}_{53}\text{I}$	$^{131}_{54}\text{Xe}, \gamma$	8 суток
Актиний	$^{225}_{89}\text{Ac}$	$^{221}_{87}\text{Fr}$	10 суток
Кобальт	$^{60}_{27}\text{Co}$	$^{60}_{28}\text{Ni}, \gamma$	5,3 года
Тритий	$^3_1\text{H}$	$^3_2\text{He}$	12,4 года
Стронций	$^{90}_{38}\text{Sr}$	$^{90}_{39}\text{Y}$	28 лет
Цезий	$^{137}_{55}\text{Cs}$	$^{137}_{56}\text{Ba}$	30 лет
Радий	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{222}_{86}\text{Rn}, \gamma$	$1,62 \cdot 10^3$ лет
Углерод	$^{14}_6\text{C}$	$^{14}_7\text{N}$	$5,7 \cdot 10^3$ лет
Торий	$^{229}_{90}\text{Th}$	$^{226}_{88}\text{Ra}, \gamma$	$7 \cdot 10^3$ лет
Уран	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{234}_{90}\text{Th}, \gamma$	$4,5 \cdot 10^9$ лет

Сравнивая формулы (1) и (3), легко показать, что период полураспада  $T_{0,5}$  связан с постоянной распада соотношением:

$$T_{0,5} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda}. \quad (4)$$

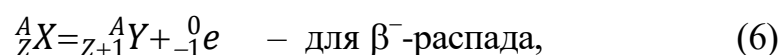
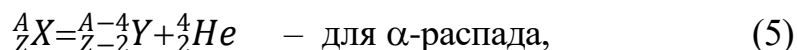
При исследовании процессов радиоактивности было установлено, что испускание различных частиц и  $\gamma$ -излучений, а также превращение одних ядер в другие происходит самопроизвольно и равновероятно: заранее нельзя указать, какое именно из ядер распадётся первым, какое – вторым и т. д.

Во всех видах радиоактивных превращений выполняются законы сохранения (импульса, момента импульса, электрического заряда, энергии - массы). Именно поэтому при распаде соблюдаются следующие *правила смещения*:

– при  $\alpha$ -распаде заряд ядра уменьшается на  $+2e$  (здесь  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – элементарный электрический заряд), а его масса снижается на четыре единицы, в результате чего рождается ядро элемента, «смещённого» (по сравнению с исходным) к началу периодической системы;

– при  $\beta^-$ -распаде ядро теряет отрицательный заряд  $-e$  и возникающее ядро соответствует элементу смещённому на одну клетку к концу периодической системы (без изменения массового числа); при  $\beta^+$ -распаде ядро теряет положительный заряд  $+e$  (испускается позитрон), а возникающее ядро соответствует элементу смещённому на одну клетку к началу периодической системы (без изменения массового числа).

Правила смещения можно записать в виде:



где  ${}^A_Z X$  – ядро исходного элемента,  ${}^{A-4}_{Z-2} Y$  – ядро-продукт распада,  $A$  – массовое число,  $Z$  – заряд ядра (или порядковый номер элемента в таблице Менделеева).

Для оценки стабильности радионуклидов вводят понятие *среднего времени жизни* радионуклида  $\tau$ :

$$\tau = 1/\lambda. \quad (7)$$

Из формул (4) и (7) следует, что период полураспада и среднее время жизни связаны соотношением

$$T_{0,5} = (\ln 2) \cdot \tau \approx 0,693 \tau. \quad (8)$$

Именно поэтому формулу закона радиоактивного распада можно записать и в таком виде:

$$N = N_0 e^{-t/\tau}. \quad (9)$$

Очевидно: величина  $\tau$  равна тому промежутку времени, в течение которого число радиоактивных ядер уменьшается в  $e$  раз.

*Активностью*  $A$  образца называется скорость распада его ядер, то есть она равна числу ядер, распадающихся в единицу времени (за 1 с):

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}. \quad (10)$$

Очевидно, что активность  $A_0$  образца в момент времени  $t = 0$  (исходная активность вещества) вычисляется, как:

$$A_0 = \lambda N_0. \quad (11)$$

Удельная активность  $\alpha_{уд}$  радиоактивного изотопа – это активность  $A$ , отнесённая к единице массы  $m$  изотопа:

$$\alpha_{уд} = A/m. \quad (12)$$

Число атомов  $N$  (и, следовательно, ядер), содержащихся в образце, связано с атомной массой  $\mu_A$  радионуклида соотношением

$$N = N_A \cdot \frac{m}{\mu_A}, \quad (13)$$

где  $m$  – масса образца,  $\mu_A$  – его атомная масса,  $N_A$  – число Авогадро (число атомов вещества в одном моле).

С учетом формулы (10) можно записать, что активность образца связана с его массой соотношением:

$$A = \lambda N_A \cdot \frac{m}{\mu_A}. \quad (14)$$

Единицей измерения активности в СИ является число распадов в секунду. Эту единицу называют беккерель (Бк). Широкое распространение получила внесистемная единица кюри (Ки). Последняя определяется активностью 1 г радия:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

**При прохождении рентгеновского и  $\gamma$ -излучения сквозь вещество часть его поглощается<sup>1</sup>.** В результате излучение ослабляется: это явление используется при защите от рентгеновского и  $\gamma$ -излучения с помощью экранирования.

Можно показать, что интенсивность  $\gamma$ -лучей экспоненциально убывает с расстоянием  $x$ , которое они проходят в веществе:

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (15)$$

где  $I$  – интенсивность излучения после прохождения сквозь пластину толщиной  $x$ ,  $I_0$  – интенсивность излучения, падающего на эту пластину;  $e$  – основание натурального логарифма;  $\mu$  – *линейный коэффициент ослабления*, зависящий как *от длины волны* (то есть от энергии) рентгеновского и  $\gamma$ -излучения, так и *от плотности* вещества.

---

<sup>1</sup> К поглощению приводят три фактора: фотоэффект, эффект Комптона и явление образования электрон-позитронных пар; относительная вероятность их осуществления зависит от энергии рентгеновских и  $\gamma$ -квантов.

Для расчета интенсивности излучения при прохождении его сквозь вещество на практике часто используют *массовый коэффициент ослабления*

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho}, \quad (16)$$

величина которого от плотности вещества уже не зависит, а *определяется лишь длиной волны* (то есть энергией) излучения.

Тогда закон ослабления пучка моноэнергетических рентгеновских и  $\gamma$ -лучей при прохождении сквозь поглощающее вещество принимает вид:

$$I = I_0 e^{-\mu' \rho x}, \quad (17)$$

где  $I$  – интенсивность излучения после прохождения сквозь слой вещества толщиной  $x$ ,  $I_0$  – интенсивность излучения, падающего на это вещество;  $e$  – основание натурального логарифма;  $\mu'$  – массовый коэффициент ослабления;  $\rho$  – плотность вещества.

Пример графиков зависимости массового коэффициента ослабления от энергии поглощаемого  $\gamma$ -излучения для двух веществ: свинца и алюминия (плотность  $11300 \text{ кг/м}^3$  и  $2600 \text{ кг/м}^3$  соответственно) представлен на рис. 1.



Рис. 1 Зависимость отношения массового коэффициента поглощения к плотности от энергии  $\gamma$ -квантов для свинца (сплошная линия) и алюминия (пунктирная линия)

Поглощение ионизирующего излучения можно характеризовать так называемым *слоем половинного ослабления*  $x_{0,5}$ , соответствующим толщине пластинки, которая уменьшает интенсивность проходящих сквозь неё лучей вдвое. Пользуясь формулой (15), легко показать, что величина  $x_{0,5}$  связана с линейным коэффициентом ослабления  $\mu$  соотношением

$$x_{0,5} = \frac{\ln 2}{\mu} \approx \frac{0,693}{\mu}. \quad (18)$$

*Для количественной оценки воздействия ионизирующего излучения на любые вещества, ткани и живые организмы вводят понятие доз излучения.*

*Экспозиционная доза  $X$*  – величина, характеризующая ионизирующие свойства излучения, равная абсолютному заряду  $dQ$  ионов одного знака, которые образуются в единице массы  $dm$  сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении:

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (19)$$

В СИ установлена единица экспозиционной дозы: Кл/кг. На практике используется и внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген. 1Р соответствует образованию  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов в  $1 \text{ см}^3$  воздуха или  $1,61 \cdot 10^{12}$  пар ионов в 1 г воздуха.

*Мощность экспозиционной дозы  $\dot{X}$*  – скорость изменения<sup>1</sup> экспозиционной дозы:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (20)$$

Единица измерения мощности экспозиционной дозы в СИ – Кл/кг·с, наиболее часто используемая внесистемная единица – мкР/ч.

*Поглощенная доза  $D$*  – средняя энергия  $dW$ , переданная ионизирующим излучением веществу, приходящаяся на единицу его массы  $dm$ :

$$D = \frac{dW}{dm}. \quad (21)$$

В СИ поглощенная доза измеряется в греях: 1Гр = 1Дж/кг. Внесистемная единица – рад, 1 рад =  $10^{-2}$  Гр.

*Мощность поглощенной дозы  $\dot{D}$*  – скорость изменения поглощенной дозы:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}. \quad (22)$$

Единица измерения мощности поглощенной дозы в СИ – Гр/с.

---

<sup>1</sup>Напоминаем – в математике производная по времени от какой-либо функции может обозначаться точкой над символом этой функции.

Поскольку разные типы ионизирующего излучения неодинаково воздействуют на биологические ткани, одной и той же поглощённой дозе соответствует разная биологическая эффективность излучения. Для описания воздействия излучения на живые организмы вводят понятие *коэффициента качества излучения*  $k$ . Для рентгеновского,  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучений коэффициент качества принят за 1.  $\alpha$ -излучению и осколкам ядер соответствует коэффициент качества от 10 до 20, нейтронному излучению – от 3 до 20 (в зависимости от энергии частиц), см. таблицу 2.

Таблица 2

Взвешивающие коэффициенты  $k$  для отдельных видов излучения

Тип ионизирующего излучения	$k$
Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
Нейтроны с энергией от 10 кэВ до 100 кэВ	10
Нейтроны с энергией от 100 кэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны с энергией от 2 МэВ до 20 МэВ	10
Нейтроны с энергией более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ	5
$\alpha$ -частицы, осколки деления, тяжёлые ядра	20

*Эквивалентная доза*  $H$  – средняя энергия  $dW$ , переданная ионизирующим излучением веществу, приходящаяся на единицу его массы  $dm$  с учетом коэффициента качества излучения  $k$ :

$$H = kD = k \frac{dW}{dm}. \quad (23)$$

При одновременном воздействии нескольких видов излучения с разными взвешивающими коэффициентами  $k_i$  эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для всех  $R$  видов излучения:

$$H = \sum_{i=1}^R k_i D_i. \quad (24)$$

В СИ эквивалентная доза измеряется в зивертах, внесистемная единица – бэр (биологический эквивалент рада):  $1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$ . *Полезно помнить, что экспозиционной дозе в 100 Р в случае  $\gamma$ -излучения соответствует эквивалентная доза в 1 Зв.*



При оценке воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты следует учитывать, что *разные ткани организма неодинаково реагируют на одну и ту же эквивалентную дозу*. Поэтому интегральный эффект воздействия облучения на организм оценивается *эффективной эквивалентной дозой*  $E$ ,

$$E = \sum_{i=1}^R k_{iT} H_i. \quad (25)$$

где  $k_{iT}$  – *взвешивающий коэффициент для конкретного органа или ткани T*, который характеризует относительный риск на единицу дозы при облучении данного органа по отношению ко всему телу. Значения взвешивающих коэффициентов различных органов и тканей представлены в таблице 3. Поскольку сумма взвешивающих коэффициентов всех органов и тканей равна 1, можно сказать, например, что при  $\gamma$ -облучении только щитовидной железы (для которой  $k_T = 0,05$ ) эффект по последствиям будет составлять всего 5% от того эффекта, если бы облучению подверглось все тело.

Взвешивающий коэффициент  $k_T$  для органов и тканей (как и взвешивающий коэффициент качества излучения  $k_i$ ) не имеет размерности, поэтому эффективная эквивалентная доза  $E$  также, как и сама эквивалентная доза  $H$ , в СИ измеряется в зивертах. Значения  $k_T$  при  $\gamma$ -облучении для некоторых органов и тканей человеческого организма приведены в таблице 3.

Таблица 3

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов

<i>Ткани и органы</i>	$k_T$
Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник	0,12
Лёгкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальное	0,05

На практике для количественной характеристики воздействия ионизирующего излучения используются также:

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt} \text{ — мощность эквивалентной дозы}$$

(измеряется в микрозивертах в час; с учётом того, что для биологических тканей  $1 \text{ мкЗв} \approx 100 \text{ мкР}$ , получаем, что  $1 \text{ мкЗв/ч} \approx 100 \text{ мкР/ч}$ );

$$\dot{E} = \frac{dE}{dt} \text{ — мощность эффективной дозы}$$

(измеряется в микрозивертах в час;  $1 \text{ мкЗв/ч} \approx 100 \text{ мкР/ч}$ ).

За единицу времени могут принимать также часы, сутки, год.

Доза излучения от радиоактивного источника может быть снижена, если использовать *защитные экраны*. На основе формулы (15), для экспозиционной дозы, например, можно записать:

$$X = X_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (26)$$

где  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления,  $x$  – толщина защитного экрана.

Ещё один способ снижения негативного воздействия радиации – «*защита расстоянием*». Так, по мере удаления от точечного источника радиации экспозиционная доза снижается (доза обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника). И если известна экспозиционная доза  $X_1$  на расстоянии  $r_1$  от точечного источника  $\gamma$ -излучения, можно, пренебрегая поглощение излучения в воздухе, вычислить экспозиционную дозу  $X_2$  на расстоянии  $r_2$ , поскольку

$$X_1 \cdot r_1^2 = X_2 \cdot r_2^2. \quad (27)$$

Если на распространение  $\gamma$ -излучения воздух влияет слабо, то другие виды излучения ( $\alpha$ - и  $\beta$ -) обладают малой проникающей способностью. Так, среднюю длину  $l$  пробега электронов, имеющих энергию  $E_\beta$  менее 0,8 МэВ в веществе с плотностью  $\rho$  можно вычислить по следующей эмпирической формуле:

$$l \approx 0,407 \cdot E_\beta^{1,38} / \rho.$$

Из формулы следует, что средняя длина пробега зависит от энергии электронов: чем она выше, тем длина пробега больше.

В заключение перечислим единицы, которые *наиболее часто* используются в радиационной дозиметрии

Таблица 4

Основные единицы измерения, применяемые в радиационной дозиметрии

Величина и символ	Наименование и обозначение единиц		Связь между единицами
	СИ	Внесистем- ные	
Активность, $A$	Беккерель (1 распад в секунду), $1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$	Кюри; 1 Ки	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Экспозиционная доза, $X$	1 Кл/кг (в 1 кг сухого атмосферного воздуха создаётся заряд 1 Кл)	Рентген; 1 Р	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Мощность экспозиционной дозы, $\dot{X}$	1 Кл/(кг·с)	1 Р/с	$1 \text{ Р/с} =$ $= 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/(кг·с)}$
Поглощённая доза, $D$	Грей (1 кг облучённого вещества передаётся энергия 1 Дж), $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$	Рад; 1 рад	$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$
Эквивалентная доза, $H$	Зиверт (доза, при которой 1 кг стандартной биологической ткани поглощает энергию 1 Дж); 1 Зв	бэр; 1 бэр	$1 \text{ бэр} \approx 10^{-2} \text{ Зв}$

**Примеры параметров некоторых приборов, используемых для радиационного контроля:**

- Универсальный дозиметр ДКС-101 БМК-06 /  $\gamma$ -кванты: 0,03 – 50 МэВ, электроны: 10 – 50 МэВ;
- Дозиметр ДКГ-03Д «Грач» /  $\gamma$ -излучение: 0,1 мкЗв/ч – 1,0 мЗв/ч;
- Дозиметр-радиометр МКС-05 «Терра» /  $\gamma$ -излучение: 1 мкЗв/ч – 10,0 мЗв/ч; электроны: плотность потока  $10 - 10^5 \text{ см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ .

### *Список рекомендуемой литературы*

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1.758-99 Изданием официальное. М: МинздравРоссии. – 1999.[Электронный ресурс:<http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=288156>].
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Издательство АСТ, Астрель. – 2008 и далее.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа и др., 2008 и далее. – 718 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа и др., 2008 и далее. – 542 с.
5. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд. физ.-мат. литературы, 2009 и далее. – 640 с.
6. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: ООО «Рада – Стайл», 2009 и далее. – 400 с.
7. Кокин С.М., Силина Е.К., Калачёв Н.В. Конспект лекций по дисциплине «Мониторинг среды обитания»: Радиационная экология: Уч. пос. – М.: МИИТ, 2010 – 63 с.
8. Кокин С.М., Долженко В.Н., Силина Е.К., Калачёв Н.В. Радиационная экология: Методические указания к выполнению лабораторной работы. – М.: МИИТ, 2010 – 26 с.

## 2 Примеры решения задач

### Пример 1

Сколько атомов изотопа радона  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$  из одного миллиона распадается за сутки? Запишите реакцию распада ядра этого изотопа. К какому виду распада относится соответствующий процесс?

### Решение:

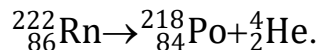
Если  $N_0$  – начальное количество атомов ( $10^6$  штук), а  $N$  – количество атомов, оставшихся нераспавшимися через время  $t = 1$  сутки (согласно закону радиоактивного распада  $N = N_0 2^{-t/T_{0,5}}$ ), то число распавшихся атомов  $\Delta N$  рассчитывается, как:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - 2^{-t/T_{0,5}}).$$

По таблице 1 находим: период полураспада радона составляет  $T_{0,5} = 3,82$  суток; поэтому, подставляя числовые данные, получаем:

$$\Delta N = 10^6(1 - 2^{-1/3,82}) \approx 10^6(1 - 2^{-0,262}) \approx 10^6(1 - 0,834) \approx 166000 \text{ (атомов)}.$$

Согласно таблице 1 продуктом распада ядра  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$  является ядро полония  ${}^{218}_{84}\text{Po}$ , отсюда следует, что данный процесс является  $\alpha$ -распадом:



### Ответ:

За сутки из одного миллиона атомов изотопа радона  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$  распадется примерно 166000 атомов. Происходит  $\alpha$ -распад: выделяются  $\alpha$ -частицы (ядра атома гелия  ${}^4_2\text{He}$ ).

### Пример 2

Определить начальную активность радиоактивного препарата магния  ${}^{27}_{12}\text{Mg}$  с начальной массой 0,2 мкг, а также – активность этого препарата спустя 6 часов. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду относится этот распад.

### Решение:

Активность  $A$  препарата – см. формулу (10) – определяется, как

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{-t/T_{0,5}},$$

где  $A_0 = \lambda N_0$  – его активность в начальный момент времени (при  $t=0$ ),

$N_0$  – начальное количество ядер,

$N$  – число оставшихся нераспавшимися ядер спустя время  $t$ ,

$\lambda$  – постоянная распада,

$T_{0,5}$  – период полураспада радиоактивных ядер ( $T_{0,5} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda}$ , или, наоборот,  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{0,5}} \approx \frac{0,693}{T_{0,5}}$ ) причём, – см. таблицу 1, – период полураспада изотопа  ${}^{27}_{12}\text{Mg}$  составляет 10 минут.

Число  $N_A$  атомов в препарате, равно произведению постоянной Авогадро  $N_A$  на количество вещества данного изотопа, а последнее определяется, как отношение массы вещества  $m$  к его атомной массе  $\mu_A$ :  $N = N_A \cdot \frac{m}{\mu_A}$ .

Пользуясь формулой (14), запишем выражения для активности  $A_0$  препарата в начальный момент времени:

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T_{0,5}} N_A \cdot \frac{m}{\mu_A}$$

и для его активности  $A$  спустя некоторое время  $t$ :

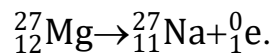
$$A = \frac{\ln 2}{T_{0,5}} N_A \cdot \frac{m}{\mu_A} 2^{-t/T_{0,5}}.$$

Пользуясь этими формулами, а также тем, что в нашем случае  $m = 0,2 \cdot 10^{-6}$  г,  $\mu_A = 27$  г/моль,  $T_{0,5} = 10$  мин = 600 с,  $t = 6$  часов = 21600 с, а также тем, что число Авогадро  $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23}$  моль $^{-1}$ , получаем:

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T_{0,5}} N_A \cdot \frac{m}{\mu_A} = A_0 = \frac{\ln 2}{600} 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{0,2 \cdot 10^{-6}}{27} \approx 5,15 \cdot 10^{12} \text{ Бк},$$

$$A = \frac{\ln 2}{T_{0,5}} N_A \cdot \frac{m}{\mu_A} 2^{-t/T_{0,5}} = A_0 = \frac{\ln 2}{600} 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{0,2 \cdot 10^{-6}}{27} 2^{-21600/600} \approx 74,9 \text{ Бк}.$$

Согласно таблице 1 ядро  ${}^{27}_{12}\text{Mg}$  испытывает  $\beta^+$ -распад (выделяются позитроны), поэтому уравнение реакции распада выглядит следующим образом:



**Ответ:**

Активность препарата магния составила

– в начальный момент времени:  $5,15 \cdot 10^{12}$  Бк;

– спустя 6 часов: 74,9 Бк.

### Пример 3

Человек, находясь на загрязненной территории, получил эквивалентную дозу облучения 0,03 Зв (общее внешнее облучение), добавочную (обусловленную действием радона и продуктов его распада) дозу 0,05 Зв на лёгкие и добавочную в 0,25 Зв – на щитовидную железу. Определите эффективную эквивалентную дозу, полученную человеком. Запишите реакцию распада ядер изотопа радона  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ . К какому виду реакций распада она относится?

#### **Решение:**

Оценить риск, обусловленный комбинированным облучением, позволяет *эффективная эквивалентная доза*, которая в данном случае равна – см. формулу (25):

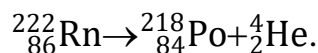
$$E = k_1 \cdot 0,03 + k_{2T} \cdot 0,05 + k_{3T} \cdot 0,25,$$

где  $k_1=1$  (общее внешнее облучение), а  $k_{2T}= 0,12$  и  $k_{3T}= 0,05$  – взвешивающие коэффициенты для лёгких и щитовидной железы, соответственно (таблица 3).

Поэтому для нашей задачи

$$E = 0,03 + 0,12 \cdot 0,05 + 0,05 \cdot 0,25 = 0,0485 \text{ Зв.}$$

Согласно таблице 1 продуктом распада ядра  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$  является ядро полония  ${}^{218}_{84}\text{Po}$ , отсюда следует, что данный процесс является  $\alpha$ -распадом:



#### **Ответ:**

Ожидаемый эффект соответствует эффективной эквивалентной дозе облучения 0,0485 Зв.

### Пример 4

Вычислите толщину слоя воды, после прохождения которого интенсивность параллельного пучка  $\gamma$ -лучей снижается вдвое. Линейный коэффициент ослабления воды для  $\gamma$ -лучей данной энергии принять равным  $0,047 \text{ см}^{-1}$ .

#### **Решение:**

Воспользуемся формулой (15):

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего пучка,

$I$  – интенсивность пучка, прошедшего путь  $x$  в среде,

$\mu$  – линейный коэффициент ослабления (зависит от энергии  $\gamma$ -квантов).

Пройдя поглощающий слой половинного ослабления толщиной  $x_{0,5}$ , интенсивность пучка  $\gamma$ -лучей снизится вдвое:  $I=I_0/2$ , таким образом, по условию задачи

$$I_0/2 = I_0 \cdot e^{-\mu x_{0,5}},$$

или

$$e^{-\mu x_{0,5}} = 0,5.$$

Прологарифмировав левую и правую части данного выражения, получим искомое значение толщины слоя половинного ослабления:

$$x_{0,5} = \frac{\ln 2}{\mu} \approx \frac{0,693}{0,047} \approx 14,75 \text{ (см)}.$$

**Ответ:**

В два раза интенсивность пучка  $\gamma$ -квантов, о которых идёт речь в настоящей задаче, ослабляется слоем воды толщиной 14,75 см.

**Примечание:**

Подобным образом можно решать задачи не только для воды, но и для других материалов. В частности, данные по линейному коэффициенту ослабления для алюминия и свинца можно получить, пользуясь рисунком 1, а также тем, что линейный и массовый коэффициенты ослабления связаны друг с другом соотношением (16).



### 3 Варианты заданий

#### ТЕМА 1. Закон радиоактивного распада

##### Теоретическая часть (одинаковая для варианта 1 и варианта 2):

Расскажите о законе радиоактивного распада.

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) дано определение радиоактивности;
- 2) описаны типы радиоактивных распадов (с примерами);
- 3) кратко изложена история обнаружения радиоактивности;
- 4) рассказано о естественной и искусственной радиоактивности, о радиоактивных рядах (семействах);
- 5) приведён вывод формулы закона радиоактивного распада (с пояснениями, какие величины входят в соответствующую формулу и в каких единицах они измеряются).

##### Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. Из каждого миллиона атомов радиоактивного изотопа каждую секунду в среднем распадается 1 атом. Определите период полураспада  $T_{1/2}$  этого изотопа и, пользуясь таблицей 1, определите, о каком изотопе идёт речь. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

Задача 2. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в 1,14 раз. За какое время оно уменьшится в 14 раз? Пользуясь таблицей 1, определите, какой это изотоп. Определите среднюю продолжительность жизни его атомов. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

##### Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. Во сколько раз число ядер изотопа актиния  ${}_{89}^{225}\text{Ac}$ , распадающихся за 10 суток, больше числа ядер, распадающихся за 5 суток? Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

Задача 2. За 28,8 года распадается 80% ядер некоторого изотопа. Определите период полураспада и среднюю продолжительность жизни ядер. Пользуясь таблицей 1, определите, какой это изотоп. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

## ТЕМА 2. Активность радиоактивных элементов

### Теоретическая часть (одинаковая для варианта 1 и варианта 2):

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) дано определение явления радиоактивности;
- 2) дано определение того, что называется активностью радионуклидов;
- 3) приведён вывод формулы зависимости активности вещества от времени;
- 4) продемонстрирована связь активности вещества с массой препарата;
- 5) указаны единицы измерения активности.

### Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. Для уничтожения вредителей зерна в зернохранилище используют кобальт  ${}^{60}_{27}\text{Co}$  в виде проволоки массой 1г. Содержание радиоактивного кобальта в проволоке составляет 0,01 % от массы проволоки. Определите первоначальную активность кобальта и его активность спустя 2 года. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

Задача 2. На сколько процентов уменьшается активность углерода  ${}^{14}_6\text{C}$  за 4200 лет? Определите среднее время жизни  $\tau$  ядер этого изотопа. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

### Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. Определите массу препарата – изотопа йода  ${}^{131}_{53}\text{I}$ , имеющего первоначальную активность  $37 \cdot 10^9$  Бк и вычислите активность этого препарата спустя 25 суток. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

Задача 2. На сколько процентов уменьшилась к маю 2010 года активность цезия  ${}^{137}_{55}\text{Cs}$ , выпавшего на землю в 1986 году в результате Чернобыльской аварии? Определите среднее время жизни  $\tau$  этого радионуклида. Запишите уравнение реакции распада и укажите, к какому виду распадов она относится.

### **ТЕМА3. Типы радиоактивных распадов**

#### **Теоретическая часть (одинаковая для варианта 1 и варианта 2):**

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) дано определение явления радиоактивности;
- 2) дана классификация видов радиоактивного распада, приведены примеры;
- 4) проведено сравнение проникающей способности  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения;
- 5) освещены особенности воздействия указанных излучений на организм человека, раскрыт физический смысл коэффициента качества излучения.

#### **Расчётная часть. Вариант 1:**

Задача 1. Определите порядковый номер и массовое число и заряд в кулонах ядра нуклида, который получится из тория  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  после трех  $\alpha$ - и двух  $\beta$ - распадов.

Задача 2. Вычислите удельную активность препарата кобальта  ${}^{60}_{27}\text{Co}$ .

#### **Расчётная часть. Вариант 2:**

Задача 1. Определите порядковый номер и массовое число и заряд в кулонах ядра нуклида, который образуется из ядра  ${}^{239}_{92}\text{U}$  после двух  $\beta$ - распадов и одного  $\alpha$ - распада.

Задача 2. Найдите отношение удельной активности стронция  ${}^{90}_{38}\text{Sr}$  к удельной активности радия  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ .

### **ТЕМА4. Элементы дозиметрии**

#### **Теоретическая часть (одинакова для варианта 1 и варианта 2):**

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) дано определение экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы излучения, указаны единицы измерения;
- 2) дано определение поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы излучения, указаны единицы измерения;
- 3) дано определение взвешивающего коэффициента качества излучения, проведено сравнение взвешивающих коэффициентов для разных органов и тканей;
- 4) дано определение эквивалентной дозы облучения, указаны единицы измерения;
- 5) рассказано, чем обусловлено наличие окружающего нас радиоактивного фона, описаны методы оценки его величины, указаны соответствующие нормы.

Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. На расстоянии 7 см от точечного источника  $\gamma$ -излучения мощность экспозиционной дозы равна 0,02 Р/мин. На каком наименьшем расстоянии от источника эквивалентная доза за шестичасовой рабочий день не превысит средний допустимый уровень 60 мкЗв? Поглощением  $\gamma$ -излучения в воздухе пренебречь.

Задача 2. Поглощенная доза для  $\gamma$ -излучения составляет 2 Гр. Чему равна соответствующая эквивалентная доза в зивертах а) для  $\beta$ -излучения; б) для  $\alpha$ -частиц?

Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. На расстоянии 40 см от точечного источника  $\gamma$ -излучения мощность экспозиционной дозы составляет 15 мР/мин. Сколько времени в течение рабочего дня можно находиться на расстоянии 6 м от источника, если средний допустимый уровень эквивалентной дозы за рабочий день составляет 60 мкЗв? Поглощением  $\gamma$ -лучей в воздухе пренебречь.

Задача 2. Поглощенная доза для  $\gamma$ -излучения составляет 1 Гр. Чему равна соответствующая эквивалентная доза в зивертах а) для  $\beta$ -излучения; б) для  $\alpha$ -частиц?

**ТЕМА 5. Нормы радиационной безопасности НРБ-99**

Теоретическая часть (одинакова для варианта 1 и варианта 2):

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) изложены понятия о дозах и о мощности доз радиации и о единицах их измерения в СИ.
- 2) разобрана структура документа;
- 3) кратко изложено содержание основных разделов документа;
- 4) приведены примеры установленных норм (см. приложения к отдельным разделам).

Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. На расстоянии 10 см от точечного источника  $\gamma$ -излучения мощность экспозиционной дозы равна 0,87 мкА/кг. На каком наименьшем расстоянии эквивалентная доза за рабочий день продолжительностью 6 часов

не превысит средний допустимый уровень 60 мкЗв? Поглощением  $\gamma$ -излучения в воздухе пренебречь.

Задача 2. Человек через внешнее облучение получил дозу 0,04 Зв, эквивалентная доза, полученная костной тканью, составила 0,25 Зв, а эквивалентная доза, полученная легкими, составила 0,04 Зв. Определите эффективную эквивалентную дозу, полученную человеком.

#### Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. Мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения на расстоянии 40 см от точечного источника равна 3,6 мкА/кг. Определите время, в течение которого можно находиться на расстоянии 6 м от источника, если средний допустимый уровень эквивалентной дозы составляет 60 мкЗв. Поглощением  $\gamma$ -излучения в воздухе пренебречь.

Задача 2. Человек через внешнее облучение получил дозу 0,06 Зв, эквивалентная доза, полученная щитовидной железой, составила 0,25 Зв, а эквивалентная доза, полученная пищеводом, составила 0,02 Зв. Определите эффективную эквивалентную дозу, полученную человеком.

### **ТЕМА 6. Окружающий радиационный фон**

#### Теоретическая часть (одинакова для варианта 1 и варианта 2):

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) дано определение явления радиоактивности;
- 3) описана природа радиационного фона, рассказано о единицах его измерения, об используемых для этого методах и приборах;
- 4) перечислены причины изменения радиационного фона с высотой над уровнем моря, приведены примеры;
- 5) приведены примеры, показывающие, каковы значения радиационного фона в разных точках земного шара.

#### Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. Если мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения в салоне пассажирского самолета на высоте 11000 м составляет 193 мкР/ч, то какую эквивалентную дозу получает каждый пассажир и член экипажа за один полет

продолжительностью 8 часов, и сколько таких полетов можно совершить летчику с тем, чтобы его доза за год не превысила 1,6 мЗв?

Задача 2. Мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения на высоте 4500 м над уровнем моря составляет 0,3 мкЗв/ч. Определите необходимую толщину стен деревянного дома, чтобы в этом месте обеспечить уровень мощности экспозиционной дозы внутри помещения не выше 0,1 мкЗв/ч. Толщину слоя половинного ослабления используемой древесины принять равной 15 см.

### Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. Мощность экспозиционной дозы рентгеновского и  $\gamma$ -излучения в салоне пассажирского самолета, летящего на высоте 11000 м, составляет 193 мкР/ч. Полагая, что обшивка самолёта изготовлена из алюминия и принимая её толщину равной 5 мм, оцените мощность экспозиционной дозы для радиационного фона за бортом во время полета. Принять, что фон создаётся квантами с энергией 0,2 МэВ.

Задача № 2. Мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения на отдельных участках бразильского морского курорта Гуарапари составляет 20 мкЗв/ч. Определите, какое количество времени в году человек, привыкший к экспозиционной дозе  $\gamma$ -излучения 0,1 мкЗв/ч, может провести на таком курорте, с тем, чтобы полученная им на курорте доза превысила его обычную годовую дозу не более, чем на 2000 мкЗв.

## **ТЕМА 7. Применение радиоактивных изотопов**

### Теоретическая часть (одинакова для варианта 1 и варианта 2):

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

1) указано, что называется естественной и искусственной радиоактивностью, приведены соответствующие примеры;

2) описаны принципы медицинской диагностики при рентгеновских исследованиях, указаны характерные значения эффективных доз, получаемых при флюорографии, рентгенографии, рентгеноскопии.

3) описан принцип использования радиоактивного изотопа  $^{14}_6\text{C}$  для датировки археологических находок;

4) описан принцип использования радиоактивных изотопов в геологии для датировки горных пород.

Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. В кровь человека ввели небольшое количество раствора, содержащего  $^{23}_{11}\text{Na}$  (период полураспада 15 часов) с активностью  $2,0 \cdot 10^3$  Бк. Спустя 5 часов активность  $1 \text{ см}^3$  крови оказалась равной  $0,267 \text{ Бк/см}^3$ . Полагая, что раствор распределился по крови равномерно, оцените, чему равен объём в теле человека.

Задача 2. Активность 1 г древесины старой постройки из дуба за счёт радиоактивного изотопа углерода  $^{14}_6\text{C}$  составляет 60% от активности вещества современного дуба. Оцените возраст постройки.

Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. Радиоактивный йод  $^{131}_{53}\text{I}$ , вводимый при биологическом эксперименте в организм ягненка, концентрируется почти полностью в его щитовидной железе. Допустимое количество этого изотопа должно иметь активность не выше  $10^{-3}$  мкКи на 1 г массы железы. Какую максимальную массу изотопа можно ввести ягненку, масса щитовидной железы которого составляет 5 г?

Задача 2. Так как свинец, содержащийся в урановой руде, является конечным продуктом распада уранового ряда, то из отношения количества урана в руде к количеству свинца в ней можно определить возраст руды. Оцените возраст урановой руды, если известно, что на 1 кг урана  $^{238}_{92}\text{U}$  в этой руде приходится 320 г свинца  $^{206}_{82}\text{Pb}$ .

## ТЕМА 8. Чрезвычайные ситуации (аварии на АЭС)

### Теоретическая часть (одинакова для варианта 1 и варианта 2):

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) рассмотрены возможные причины аварий (на примерах Чернобыльской АЭС, АЭС «Фукусима-1», Япония)
- 2) выделены основные загрязняющие окружающую территорию радионуклиды и периоды их полураспада;
- 3) даны характеристики выделенных зон загрязнения (уровень загрязнения, название зоны, мероприятия по защите населения в каждой зоне);
- 4) перечислены правила поведения в чрезвычайной ситуации при радиоактивном загрязнении;
- 5) изложены рекомендации населению и персоналу по защите от радиации.

### Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. Через какой промежуток времени территория, загрязненная радиоактивным иодом  $^{131}_{53}\text{I}$  до уровня активности  $13 \text{ Ки/км}^2$ , очистится до уровня активности  $4 \text{ Ки/км}^2$ ?

Задача 2. Какому количеству периодов полураспада будет соответствовать время, которое должно пройти с тем, чтобы территория, загрязненная радиоактивным цезием  $^{137}_{55}\text{Cs}$  до уровня активности  $20 \text{ Ки/км}^2$ , очистилась до фонового уровня, до аварии составлявшего на данной территории  $3 \cdot 10^6 \text{ Бк/км}^2$ ?

### Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. Через какой промежуток времени территория, загрязненная радиоактивным цезием  $^{137}_{55}\text{Cs}$  до уровня активности  $20 \text{ Ки/км}^2$  очистится до уровня активности  $1 \text{ Ки/км}^2$ ?

Задача 2. Какому количеству периодов полураспада будет соответствовать время, которое должно пройти с тем, чтобы территория, загрязненная радиоактивным иодом  $^{131}_{53}\text{I}$  до уровня активности  $37 \cdot 10^{10} \text{ Бк/км}^2$ , очистилась до фонового уровня, до аварии составлявшего на данной территории  $0,08 \text{ Ки/км}^2$ ?



## ТЕМА 9. Воздействие радиации на человека

### Теоретическая часть (одинакова для варианта 1 и варианта 2):

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) описана модель механизма биологического воздействия ионизирующего излучения;
- 2) представлен материал о соматическом и генетическом воздействии радиации на организм человека;
- 3) рассказано о внешнем и внутреннем облучении;
- 4) введено понятие доз и мощности дозоблучения, приведены единицы измерения;
- 5) описаны типы радиационного поражения организма в зависимости от поглощенной дозы.

### Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. В некотором источнике минеральной воды активность радона составляет 1050 Бк на 1 л воды. Какое количество атомов радона попадает в организм человека, выпившего стакан такой воды объемом 0,2 л?

Задача 2. Мощность экспозиционной дозы, создаваемой удаленным источником  $\gamma$ -излучения с энергией квантов 2 МэВ, составляет 0,2 Р/мин. Определите толщину свинцового экрана, снижающего мощность экспозиционной дозы до уровня 12 мР/ч.

### Расчётная часть. Вариант 2:

Задача № 1. В одном литре воды из минерального источника содержится  $2 \cdot 10^9$  атомов радона  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ . Какова активность радона, который попадает в организм человека, выпившего стакан такой воды объемом 0,25 л?

Задача № 2. Мощность экспозиционной дозы, создаваемой удаленным источником  $\gamma$ -излучения с энергией квантов 2 МэВ, равна 0,2 Р/мин. Определите толщину алюминиевого экрана, снижающего мощность экспозиционной дозы до фонового уровня 20 мкР/ч.

## ТЕМА 10. Защита от радиации

### Теоретическая часть (одинакова для варианта 1 и варианта 2):

В рассказе должны быть освещены следующие аспекты проблемы:

- 1) изложены принципы нормирования радиации, приведены примеры;
- 2) дано обоснование защиты расстоянием;
- 3) дано обоснование защиты временем;
- 4) дано обоснование защиты экранированием;
- 5) рассказано о химической защите.

6) рассказано о мероприятиях организационного и санитарно-медицинского характера, направленных на предупреждение и ликвидацию последствий возможного облучения.

### Расчётная часть. Вариант 1:

Задача 1. Энергия  $\beta^-$ -частиц, попадающих в алюминиевую плиту, составляет 0,2 МэВ. Во сколько раз следует увеличить энергию этих частиц с тем, чтобы средняя длина их свободного пробега оказалась бы такой же в свинцовой плите?

Задача 2. Во сколько раз уменьшается интенсивность потока гамма-излучения с длиной волны  $2 \cdot 10^{-12}$  м при прохождении двухслойного экрана: толщина слоя алюминия 10 мм, толщина слоя свинца 5 мм?

### Расчётная часть. Вариант 2:

Задача 1. Средняя длина свободного пробега  $\beta^-$ -частиц с энергией 0,5 МэВ в некотором металле составляет 0,593 мм. Какой будет средняя длина свободного пробега  $\beta^-$ -частиц с энергией 0,2 МэВ в металле, плотность которого в два раза выше?

Задача 2. В первом случае поток гамма-излучения с длиной волны  $2 \cdot 10^{-12}$  м проходит двухслойный экран, состоящий из слоя алюминия толщиной 5 мм, и слоя свинца толщиной 1 мм. Во втором случае такой же поток проходит двухслойный же экран, но в котором 1 мм – это толщина слоя алюминия, а 5 мм – толщина слоя свинца. Во сколько раз отличаются прошедшие потоки по интенсивности?

**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**Методические указания к выполнению курсовой работы**  
**по дисциплине**

**Учебно-методическое издание**

Долженко Вера Николаевна  
Кокин Сергей Михайлович  
Силина Елена Константиновна  
Фортыгин Андрей Андреевич

---

Подписано к печати	Заказ №	Формат 60 × 84 × 21/16
Усл.-печ. л.	Изд. №	Тираж 200 экз.

---