

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

**ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Раздел «Радиационная безопасность»

Практикум для студентов всех специальностей

Витебск
2021

УДК 658.345:574

Составители:

В. Н. Потоцкий, В. Е. Савенок, Н. В. Скобова, А. В. Гречаников

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 10 от 22.06.2021.

Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность. Раздел «Радиационная безопасность» : практикум / сост. В. Н. Потоцкий [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – 85 с.

Практикум содержит методику статистической обработки результатов, необходимый теоретический материал по теме каждой лабораторной работы, задания для лабораторных работ и алгоритмы их выполнения.

УДК 658.345:574

© УО «ВГТУ», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5	46
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7	56
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8	64
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9	71
ЛИТЕРАТУРА	76
Приложение А	77
Приложение Б	80
Приложение В	81
Приложение Г	82
Приложение Д	83
Приложение Е	84

ВВЕДЕНИЕ

Современные радиационные технологии как результат расширения масштабов и сфер использования ядерной энергии, альтернативы которой нет, существенно изменили экологическую обстановку вследствие поступления в природные среды радиоактивных продуктов искусственного происхождения.

В Республике Беларусь более 1000 радиационно-опасных объектов, имеющих важное значение для экономики страны и социальной сферы. Явление радиоактивности используется в медицине, в промышленности и в научных лабораториях. Ежегодно образуется около 8 т радиоактивных отходов. Основной причиной радиоактивного загрязнения территории, изменения состояния биосферы и негативного влияния на здоровье людей является радиационное воздействие ядерно-топливного цикла как в условиях нормальной эксплуатации объектов из-за накопления радиоактивных отходов, так и в результате аварийных ситуаций.

Катастрофа на ЧАЭС явилась грозным, глобального уровня предупреждением человечеству. Ущерб, нанесенный Республике Беларусь, не имеющей своей АЭС, оказал деструктивное воздействие на все сферы жизнедеятельности в пострадавших регионах и государства в целом.

Учебно-методические указания подготовлены в соответствии с учебной программой «Защита населения и объектов от ЧС. Радиационная безопасность» раздел «Радиационная безопасность» и предназначены для выполнения лабораторных занятий с целью закрепления теоретического материала по физической природе радиоактивности, свойствам ионизирующих излучений, воздействию их на организм человека и способам защиты от внешнего и внутреннего облучения.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Статистическая обработка результатов имеет две основные задачи:

- представить результаты нескольких измерений в компактной форме;
- оценить надежность полученных результатов, т.е. степень их соответствия истинному значению определяемой величины.

Для решения этих задач необходимо предварительно оценить значимость и воспроизводимость полученных результатов.

1. Проверка наличия резко выделяющихся значений

Для исключения резко выделяющихся значений используют статистический метод исключения данных, сущность которого заключается в следующем:

- находят в совокупности максимальную и минимальную величины и определяют расчетные значения критерия Смирнова-Грabbса:

$$V_{R\max} = \frac{Y_{\max} - \bar{Y}}{S(Y)} \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (1)$$

$$V_{R\min} = \frac{\bar{Y} - Y_{\min}}{S(Y)} \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (2)$$

- сравнивают расчетные значения V_R с табличным V_T (табл. 1):

Если $V_{R\max} > V_T$ **или** $V_{R\min} > V_T$, то соответствующее резко выделяющееся значение Y необходимо исключить из ряда данных.

Если $V_{R\max} < V_T$ **или** $V_{R\min} < V_T$, то $Y_{\max}$ и $Y_{\min}$ не являются резко выделяющимися значениями.

Таблица 1 – Критические значения критерия Смирнова-Грabbса V_T

Число измерений	Уровень доверительной вероятности P_D		
m	0,99	0,95	0,90
3	1,414	1,412	1,406
4	1,723	1,689	1,645
5	1,955	1,869	1,791
6	2,130	1,996	1,894
7	2,265	2,093	1,974
8	2,374	2,172	2,041
9	2,464	2,237	2,097
10	2,540	2,294	2,146

2. Расчет оценок: среднего – $\bar{Y}$, дисперсии – $S^2(Y)$, среднего квадратического отклонения (СКО) – $S(Y)$, коэффициента вариации $C(Y)$ по следующим формулам:
– среднее $\bar{Y}$:

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i \quad (3)$$

где m – количество измерений (в нашем примере $m=8$).

– дисперсия $S^2(Y)$:

$$S^2 \{Y\} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (4)$$

– среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$S \{Y\} = \sqrt{S^2 \{Y\}} \quad (5)$$

– коэффициент вариации $C(Y)$:

$$C(Y) = \frac{S(Y)}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (6)$$

Результаты статистической оценки данных записать в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты статистической оценки

№ п/п прибора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее $\bar{Y}$	Дисперсия $S^2(Y)$	СКО $S(Y)$	Коэффициент вариации $C(Y)$

3. Расчет величины относительной погрешности измерений

– относительная доверительная ошибка:

$$\delta(Y) = \frac{2 \cdot C(Y)}{\sqrt{m}} \quad (7)$$

Проанализировать полученное значение, сравнив его с данными таблицы 3, и сделать вывод о точности полученных измерений.

Таблица 3 – Оценка точности результатов исследований

Относительная ошибка $\delta\{\bar{Y}\}$, %	Точность
≤ 2	высокая
$2 \div 5$	средняя
$5 \div 10$	низкая
> 10	очень низкая (недопустимая)

4. Определить требуемое количество измерений на приборе при заданной точности ($\delta(Y) = 5\%$), т.е. необходимое количество повторных измерений для получения результатов со средней точностью (в формулу подставляем желаемое значение $\delta(Y)$)

$$m(Y) \geq \left(\frac{u\{P_D\} \cdot C(Y)}{\delta(Y)} \right)^2 \quad (8)$$

где $u\{P_D\}$ – квантиль распределения случайной величины (для нормального распределения значения квантиля представлены в таблице 4).

По результатам расчёта сделать вывод о количестве необходимых дополнительных измерений

Таблица 4 – Квантиль нормального распределения случайной величины

Доверительная вероятность	Квантили $u_{\alpha/2}$
0.90	1.64
0.95	1.96
0.99	2.58
0.9973	3.00
0.999	3.37

5. Оценка однородности полученных данных (для измерений с двух приборов) проводят по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ при } S_1^2 > S_2^2$$

или

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} \text{ при } S_2^2 > S_1^2$$

Выбрать из таблицы 5 критическое значение критерия Фишера F_T и сравнить его с расчетным F , сделать вывод.

Если $F < F_T$, то приборы дают однородные показания.

Если $F > F_T$, то приборы дают отличные друг от друга показания.

Таблица 5 – Критические значения критерия Фишера F_T

Степень свободы для меньшей дисперсии $f_1 = m_1 - 1$	Степень свободы для большей дисперсии $f_2 = m_2 - 1$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: изучить характеристики дозиметрических приборов АН-РИ-01-02 «Сосна» и РАДЭКС РД1503, научиться с их помощью измерять мощность экспозиционной дозы гамма-излучения.

Основные теоретические положения

Ионизация – это явление (процесс) образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул. Ионизирующее излучение – потоки частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующие излучения делятся на фотонные (электромагнитные) и корпускулярные (поток частиц), а по механизму воздействия на вещество они могут быть непосредственно или косвенно ионизирующими.

Фотонное излучение представляет собой электромагнитное излучение – это гамма-излучение, рентгеновское и тормозное излучение. Фотонное излучение имеет такую же природу образования, как и видимый свет или радиоволны, но отличается от них меньшей длиной волны. С возрастанием частоты энергия квантов электромагнитного поля (фотонов), а, следовательно, и их разрушительное влияние на молекулы вещества возрастает.

Длина волны λ рентгеновского излучения лежит в диапазоне от 10–100 нм до 0,01–1 пм, а гамма-излучения – менее 0,1 пм. Энергия фотонов связана с их волновыми характеристиками соотношениями

$$\varepsilon = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad (1.1)$$

где h – постоянная Планка; c – скорость света; ν – частота.

Отсюда следует, что энергия рентгеновских квантов лежит в диапазоне от 10–100 эВ до 1–100 МэВ, а γ -квантов – более 10 кэВ.

Явление самопроизвольного (спонтанного) изменения структуры ядра атома одного элемента и превращение его в более устойчивое ядро атома другого элемента называется *радиоактивностью*, а само неустойчивое ядро – *радиоактивным*.

Радиоактивность характеризуется сортом и энергией вылетающих частиц, длительностью протекания процесса (постоянная распада λ , среднее время жизни τ , период полураспада $T_{1/2}$).

Существует два вида радиоактивного распада – *альфа* (α) и *бета* (β). Бета- и гамма-радиоактивность присуща и легким, и средним, и тяжелым ядрам, альфа-радиоактивность встречается только среди тяжелых ядер. Принято говорить о *естественной* и *искусственной радиоактивности* (возникновение искусственной радиоактивности произошло из-за человеческой деятельности – создание ускорителей и реакторов). В настоящее время большинство радиоактивных ядер произведено искусственным путем.

Каждый такой отдельный акт самопроизвольного превращения ядер с испусканием элементарных частиц или их групп называется *радиоактивным распадом*. Если радиоактивный распад сопровождается испусканием альфа-частиц, он называется *альфа-распадом*; бета-частиц – *бета-распадом*.

Альфа- и бета-распад обычно сопровождаются *гамма-излучением*. Возникающие при самостоятельных превращениях ядер атомов потоки элементарных частиц или их групп являются *ионизирующими излучениями*.

Источником гамма-излучения являются возбужденные ядра, образованные в результате альфа-, бета-распада или других радиоактивных превращений. Возбужденные ядра в течение 10^{-12} с переходят в основное состояние, испуская избыток энергии в виде фотонов. Если значком «*» обозначить возбужденное состояние ядра, то процесс излучения фотона может быть записан так:



где $h\nu$ – энергия гамма-фотона, испускаемая при переходе ядра из возбужденного энергетического состояния в стабильное.

Гамма-излучение – коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda \leq 10^{-10}$ м (0,1 нм). Это излучение имеет квантовый характер, т.е. испускается и распространяется в среде и поглощается веществом в виде отдельных дискретных квантов-фотонов. Фотон с энергией больше 100 кэВ обычно называется *гамма-квантом*.

Гамма-кванты не обладают ни зарядом, ни массой покоя. Их испускание не приводит к образованию ядер новых элементов. Возбужденное и стабильное ядро одного элемента отличается только энергией, т.е. при гамма-переходах изменение зарядового числа Z и массового числа A не происходит.

В качестве характеристики воздействия фотонного излучения с энергией от 5 кэВ до 3 МэВ на окружающую среду используют экспозиционную дозу X .

Экспозиционная доза – это отношение приращения суммарного заряда всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, которые первоначально были образованы фотонами гамма-излучения в элементарном объеме воздуха к массе воздуха в этом объеме:

$$X = \frac{dV}{dm}. \quad (1.3)$$

Системная единица (СИ) экспозиционной дозы – 1 Кл/кг (кулон на килограмм), внесистемная единица – 1 Р (рентген).

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}.$$

Мощность экспозиционной дозы – это отношение приращения экспозиционной дозы за интервал времени к этому интервалу времени:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}. \quad (1.4)$$

Мощность экспозиционной дозы обычно выражается во внесистемных единицах – Р/ч (рентген в час), мР/ч (миллирентген в час), мкР/ч (микрорентген в час).

Системными единицами мощности экспозиционной дозы является 1 А/кг (ампер на килограмм):

$$1 \text{ А/кг} = 1,08 \cdot 10^7 \text{ Р/ч} = 1,08 \cdot 10^{13} \text{ мкР/ч}.$$

Отличительная особенность экспозиционной дозы заключается в том, что она определяется только в воздухе и образуется под действием только гамма-излучения.

Экспозиционная доза, которая создается естественными источниками, образует естественный фон на всей поверхности земного шара.

Естественный фон излучения – это доза ионизирующего излучения, создаваемая космическим излучением и излучением естественно распределённых природных радиоактивных элементов.

Космическое излучение, которое постоянно воздействует на атмосферу Земли, называется первичным. В составе первичного космического излучения обнаружены около 200 различных видов элементарных частиц, альфа-частицы, осколки лёгких ядер и фотоны с энергиями до 10^{12} МэВ.

Космическое излучение, которое достигает поверхности Земли после взаимодействия с атмосферой, называется вторичным и состоит из гамма-фотонов с энергией до 3 МэВ. Остальная энергия первичного космического излучения затрачивается на ионизацию верхних слоёв атмосферы.

Естественными радиоактивными веществами считают те, которые образовались и постоянно вновь образуются без участия человека. В первую очередь это долгоживущие (с большим периодом полураспада) радиоактивные элементы, которые образовались одновременно с образованием Земли: калий-40 (период полураспада $1,3 \cdot 10^9$ лет), кальций-48 (период полураспада $2 \cdot 10^{16}$ лет), рубидий-87 (период полураспада $6,2 \cdot 10^{10}$ лет), олово-124 (период полураспада $2 \cdot 10^{17}$ лет), теллур-130 (период полураспада $1 \cdot 10^{21}$ лет), лантан-138 (период полураспада $2 \cdot 10^{11}$ лет), висмут-209 (период полураспада $3 \cdot 10^{17}$ лет), торий-232 (период полураспада $1,4 \cdot 10^{10}$ лет), уран-235 (период полураспада $1,13 \cdot 10^8$ лет), уран-238 (период полураспада $4,5 \cdot 10^9$ лет), всего 23 элемента.

К естественным радиоактивным элементам относятся также радионуклиды, образующиеся в верхних слоях атмосферы под действием первичного космического излучения: углерод-14, сера-35, хлор-36, тритий (водород-3), кислород-18.

В настоящее время известно более 100 естественных радионуклидов. Поскольку по химическим свойствам радиоизотопы не отличаются от стабильных, они обнаруживаются в растениях, а также организмах животных и человека.

В земной коре радионуклиды равномерно рассеяны, но могут быть сконцентрированы в виде месторождений.

Максимальное содержание в земной коре имеет калий-40 – около 2,5 %, содержание тория-232 – $1,3 \cdot 10^{-3}$ %, содержание всех изотопов урана – $2,6 \cdot 10^{-4}$ %. Естественные радионуклиды содержатся в земной коре в количестве от 0,0005 (рений-187) до 84 (рубидий-87) грамма на тонну. Поэтому в величину естественного фона основной вклад вносит космическое излучение. Наибольшее влияние из естественных изотопов на величину естественного фона оказывает калий-40, затем следуют рубидий-87, уран-238, торий-232, уран-235, лантан-138. Остальные радионуклиды играют гораздо меньшую роль вследствие либо большого периода полураспада (10^{16} - 10^{21} лет), либо из-за очень низкого содержания в земной коре.

Следует отметить, что в смеси изотопов данного элемента содержание радионуклидов постоянно. Так, например, содержание калия-40 в смеси изотопов калия составляет $1,19 \cdot 10^{-2}$ %, рубидия-87 – 27,85 %. У висмута, тория и урана все изотопы радиоактивны.

Начиная с 1934 года, помимо естественных изотопов, были получены искусственные радионуклиды, которые образуются при бомбардировке стабильных ядер альфа-частицами или нейтронами в ядерных реакторах, а также в результате ядерных взрывов. Искусственным путём созданы радиоизотопы всех известных элементов.

В связи с этим образуется радиационный фон, который отличается от естественного.

Фон – это доза ионизирующего излучения, которая создается естественным фоном и излучением посторонних источников.

В глобальном масштабе посторонними источниками являются искусственные радионуклиды, которые были выброшены в окружающую среду в результате испытаний ядерного оружия.

В любом помещении измеряется фон, так как там посторонними источниками являются продукты распада естественных изотопов, содержащихся в строительных материалах, т.е. в результате деятельности человека происходит накопление радиоизотопов в помещении или вблизи зданий и сооружений. Кроме того, строительные конструкции частично экранируют естественный фон. Фон в помещении, следовательно, может быть как больше, так и меньше естественного.

Естественный фон определяется не ближе 200 метров к любым зданиям и сооружениям.

Радиационный фон Земли складывается из естественного (природного) радиационного фона, технологически измененного естественного радиационного фона и искусственного радиационного фона. В настоящее время на территории СНГ мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы, или природный радиационный фон, в среднем составляет 0,05–0,50 мкЗв/ч (5–50 мкР/ч), а для Беларуси – 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч). Естественный радиационный фон в пределах: 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч) признано считать нормальным; фон 0,2–0,6 мкЗв/ч (20–60 мкР/ч) считается допустимым; фон свыше 0,6–1,2 мкЗв/ч (60–120 мкР/ч) – повышенным.

Используемые приборы

Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503 (рис. 1.1)

Технические характеристики:

- Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,05 до 9,99 мкЗв/ч.
- Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы от 5 до 999 мкР/ч.
- Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения от 0,1 до 1,25 МэВ.
- Время измерения – $40 \pm 0,5$ с.
- Время индикации показаний – непрерывно.

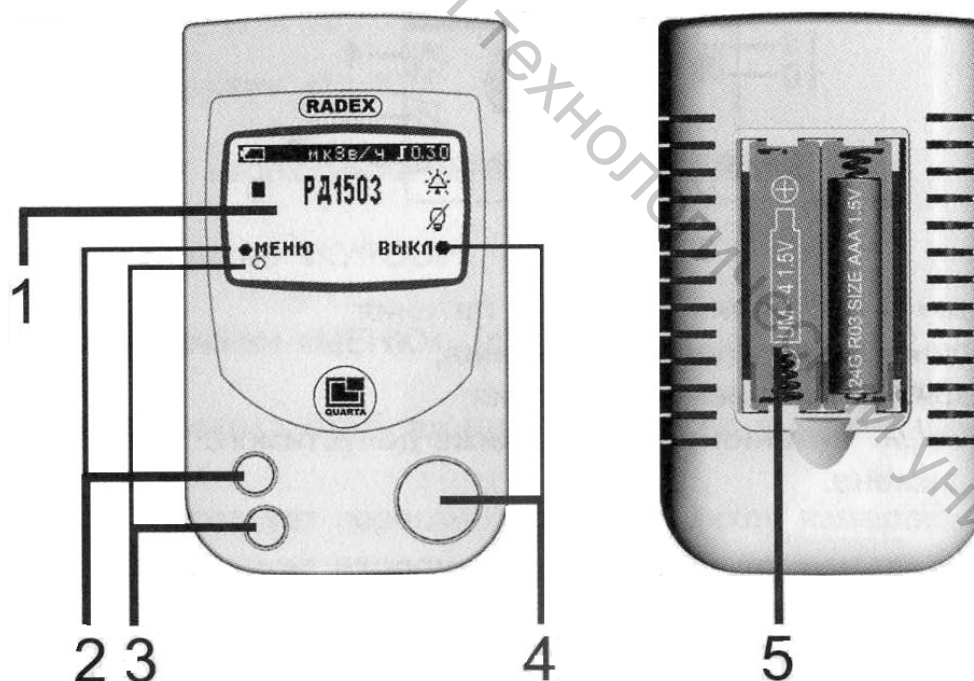


Рисунок 1.1 – Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503:

- 1 – ЖК-дисплей; 2 – кнопка «МЕНЮ» и её пиктограмма на дисплее;
 3 – кнопка «КУРСОР» и её пиктограмма на дисплее; 4 – кнопка «ВЫКЛ»
 и её пиктограмма на дисплее; 5 – батарейный отсек

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА»

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА» (рис. 1.2) предназначен для индивидуального использования для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, в том числе:

- измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД);
- измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей;
- оценки объемной активности радионуклидов в веществах.

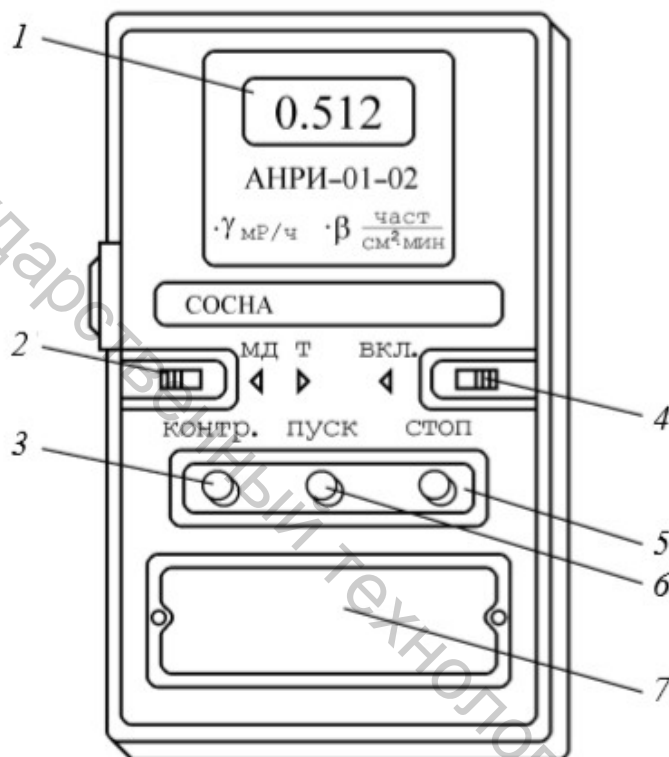


Рисунок 1.2 – Внешний вид дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «СОСНА»: 1 – цифровой индикатор; 2 – переключатель режимов работы; 3 – кнопка проверки прибора; 4 – кнопка включения и выключения прибора; 5 – кнопка остановки измерений; 6 – кнопка запуска измерений; 7 – отсеk питания с легкооткрываемой крышкой

Блок детектирования и измерительный блок смонтированы в едином пластмассовом корпусе размером 45×88×133 мм. Детектирование излучения осуществляется двумя газоразрядными цилиндрическими счетчиками Гейгера – Мюллера типа СБМ-20. Для индикации результатов измерений в приборе используется жидкокристаллический цифровой индикатор 1. Управление прибором осуществляется переключателем режимов работы 2, кнопками 3 – «КОНТР.», 6 – «ПУСК», 5 – «СТОП», выключателем 4. Источником питания служит батарея постоянного тока напряжением 9В типа «Корунд», размещенная в отсеке для питания, закрытом легкооткрываемой крышкой 7.

Технические данные и характеристики прибора:

- Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения – 0,010–9,999 мР/ч.
- Диапазон измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей – 10–5000 частиц / (см² · мин).
- Диапазон оценки объемной активности растворов (по изотопу цезий-137): $5 \cdot 10^{-8} - 10^{-6}$ Ки/л ($1,85 \cdot 10^3 - 3,7 \cdot 10^4$ Бк/л).
- Основная относительная погрешность измерения:
 - мощности экспозиционной дозы гамма-излучения по цезию-137 не более $\pm 30\%$;
 - плотности потока бета-частиц от твердого плоского источника стронция-90 и иттрий-90 не более $\pm 45\%$.

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503

Подготовить прибор к работе.

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку (поз. 4 рисунок 1.1). На дисплее разворачивается «экран РД1503» (поз. 1 рисунок 1.1) и начинается оценка радиационной обстановки. Результат наблюдения появляется на дисплее через 10 секунд.

2. Для входа в меню и изменения размерность измерений, а также других настроек, нажмите кнопку «МЕНЮ» (поз. 2 рисунок 1.1). Кнопка имеет три функции: «МЕНЮ», «ВЫБОР», «ИЗМЕН». Появляется содержание меню. По умолчанию установлено:

- размерность – мкЗв/ч;
- порог – 0,30 мкЗв/ч;
- звук – тихо;
- подсветка – выключена.

Для перемещения курсора по пунктам меню и выбираемым значениям используйте кнопку «КУРСОР», нажимая на края кнопки (поз. 3 рисунок 1.1).

ВЫБОР пункта меню и его изменение осуществляется кнопкой «МЕНЮ».

ВЫХОД из меню осуществляется кнопкой «ВЫКЛ» (поз. 4 рисунок 1.1).

3. Установите курсор на надпись «Размерность» и нажмите кнопку «МЕНЮ» для последующего изменения.

4. Выберите с помощью кнопки «КУРСОР» необходимые для проведения эксперимента единицы измерения (мкР/ч) и нажмите кнопку «МЕНЮ» для изменения.

5. Вернитесь в главное меню, нажав кнопку «ВЫКЛ» (поз. 4 рисунок 1.1).

6. Через 10 секунд на дисплее выводится первый результат короткого цикла и пиктограммы:

•	— соответствует первому короткому циклу измерения;
	— соответствует второму короткому циклу измерения;
	— соответствует третьему короткому.

Короткий цикл измерения равен 10 с и предназначен для быстрого получения предварительных результатов. Наиболее достоверный результат выводится на дисплей после первого (40 с) цикла измерения и отображается пиктограммой «|».

	— соответствует одному циклу измерения;
—	— соответствует двум циклам измерения;
—	— соответствует трём циклам измерения;
— —	— соответствует четырём и более циклам измерения.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

7. Проведите 10 циклов наблюдений, записывая показания каждого цикла измерений в таблицу 1.1.

8. После проведения измерений выключите прибор.

Таблица 1.1 – Результаты замеров

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч (РАДЭКС РД1503)										
Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч (АНРИ-01-02 «Сосна»)										

*Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью
дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «Сосна»*

Подготовить прибор к работе

1. Переведите переключатель режима работы (поз. 3) в положение «МД».
2. Включите прибор, для чего выключатель питания (поз. 2 рисунок 1.2) переведите в положение «ВКЛ». На цифровом табло должно индицироваться:

0.000

или

0000

включение прибора должно сопровождаться коротким звуковым сигналом. Если переключатель режима работы (поз. 3) находится в положении «МД», то после первого знака индицируется точка, если переключатель находится в положении «Т», то эта точка отсутствует.

3. Если прибор после включения издает постоянный звуковой сигнал, то необходимо установить новый элемент питания.

4. Убедитесь в исправности электронной пересчетной схемы и таймера прибора, для чего переключатель режима работы (поз. 3) должен быть в положении «МД». Нажмите кнопку «контр.» (поз. 4) и удерживайте ее в нажатом состоянии до конца проведения контрольной проверки, а затем кратковременно нажмите кнопку «пуск» (поз. 5). На цифровом табло должны появиться три точки между цифровыми знаками и начаться отсчет чисел. Через (20 ± 5) с отсчет чисел должен прекратиться, окончание отсчета должно сопровождаться коротким звуковым сигналом, а на табло должно индицироваться число

– для двух детекторов –

1.024

– для четырех детекторов –

0.512

После окончания отсчета отпустите кнопку «контр.».

5. Если при проведении контрольного теста индицируемое число отличается от указанного выше повторить еще раз контрольную проверку, как указано в пункте 4.

Работа в режиме измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения.

1. Подготовьте прибор к работе как описано выше.
2. Нажмите кратковременно кнопку «пуск». При этом на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда

0.0.0.0.

и начаться счет импульсов.

3. Через 20 ± 5 секунд измерение закончится, что будет сопровождаться звуковым сигналом, а на цифровом табло фиксируется число с одной точкой, например

0.012

Это показание прибора соответствует мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в миллирентгенах в час (мР/ч). Для математической обработки результатов удобнее использовать целые числа, поэтому показания прибора необходимо умножить на 1000, что будет соответствовать мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в микрорентгенах в час (мкР/ч).

4. Показание на цифровом табло сохранится до повторного нажатия на кнопку «пуск», пока не будет выключен прибор.

5. Повторите измерение 10 раз. Для выполнения повторного измерения необходимо кратковременно нажать кнопку «пуск», не выключая прибор. Полученные результаты занесите в таблицу 1.1 (см. выше).

6. После проведения измерений выключите прибор выключателем питания.

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов. Поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

Контрольные вопросы:

1. Что такое радиоактивность?
2. Виды ионизирующих излучений.
3. Что такое гамма-излучение?
4. Экспозиционная доза.
5. Естественный фон излучения.
6. Искусственный фон излучения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ГАММА-РАДИОМЕТРИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Цель работы: измерение удельной активности гамма-излучающих нуклидов калия-40, радия-226, тория-232, цезия-137 в пробах окружающей среды.

Основные теоретические положения

Активность – количество распадающихся за определенное время ядер.

Единицей измерения активности в радиоактивном источнике, в системе СИ является (Бк), соответствует одному распаду в секунду для любого радионуклида.

Внесистемная единица измерения – Кюри (Ки). Один Кюри равен активности одного грамма радия. Количество распадов в одном грамме радия равно $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду. Зная радиоактивность в Беккерелях, можно перейти к активности в Кюри, и наоборот.

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

Удельная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в пробе, к массе этой пробы: $A_m = \frac{A}{m}$. Единицы удельной активности: 1 Бк/кг или 1 Ки/кг.

Объемная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к объему образца: $A_v = \frac{A}{V}$. Единицы удельной активности: 1 Бк/л или 1 Ки /л.

Для регистрации излучений применяют особые устройства – детекторы, в которых под воздействием излучения происходит ионизация вещества детектора, и образуются заряженные частицы, которые создают электрическое поле, по напряжению электрического поля определяют энергию излучения, а по числу импульсов, прошедших через детектор, число распадов (импульсов). Таким образом, подсчитав количество электрических сигналов соответствующей амплитуды, можно узнать активность того или иного радионуклида, содержащегося в образце. Приборы, в которых используется такой принцип измерения радиоактивности, называются РАДИОМЕТРАМИ. Для того чтобы ослабить влияние радиационного фона, детекторы в радиометрах помещают в специальные свинцовые экраны.

Активность радионуклидов цезия определяется по гамма-излучению, а стронция – бета-излучению. Для измерения используются различные типы приборов – гамма-радиометры и бета-радиометры.

Радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи; в этом случае говорят о *внешнем* облучении. Или же они могут оказаться в воздухе, которым дышит человек, в пище или в воде и попасть внутрь организма; такой способ облучения называют *внутренним*.

В настоящее время и в перспективе на загрязненных территориях Республики Беларусь основную радиационную опасность для населения представляют *цезий-137*, *стронций-90* и *плутониевые* радионуклиды, входящие в состав «горячих» частиц ядерного топлива, выброшенных взрывом на Чернобыльской АЭС, и в меньшей степени *радий-226*, *торий-232*. В основном «горячие» частицы выпали недалеко от АЭС. Большое количество *стронция-90* сосредоточено в 30-километровой зоне и вокруг нее. Летучий *цезий-137* отнесен на большие расстояния.

Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» устанавливаются следующие основные гигиенические нормативы (допустимые пределы доз) облучения на территории республики в результате воздействия источников ионизирующего излучения:

- для населения **годовая эффективная доза равна 1 мЗв** или эффективная доза за период жизни (70 лет) – 70 мЗв (7 бэр);
- для персонала годовая эффективная доза равна 20 мЗв или эффективная доза за период трудовой деятельности (50 лет) – 1 Зв.

Гигиенический норматив (ГН № 213 от 28.12.2012 г.) «Критерии оценки радиационного воздействия» устанавливает пределы облучения, поступление и содержание радионуклидов в организме лиц, работа которых связана с источниками ионизирующих излучений, а также населения в целом, допустимые концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе и воде, продуктах питания.

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде разработаны с целью снижения дозы внутреннего облучения населения Республики Беларусь, что достигается ограничением поступления радионуклидов с продуктами питания (приложение А).

Задача радиационного контроля – снижение дозовых нагрузок на население и доведение их постепенно до уровня 1 мЗв/год и ниже.

Преобладающая для большинства районов внутреннего компонента доз облучения снижается за счет проведения защитных и реабилитационных мер в сельском хозяйстве.

В глинистых минералах значительная часть калия присутствует не в виде свободного иона, а заключена в решетку минералов. Остальная часть калия захвачена в ионной форме поглощающим комплексом глины и прочно связана в них адсорбционными силами.

Наиболее сильно фиксация калия выражена у гидрослюд. Большое количество калия содержится в осадочных породах, в которых могут находиться и другие радиоактивные элементы. Среди осадочных пород имеются неактивные хемогенные отложения (ангидрит, гипс, галит) и слабоактивные неглинистые пески, песчаники, известняки, доломиты, но есть и высокоактивные глины, глинистые сланцы, битуминозные сланцы и фосфориты, по концентрации радиоактивных элементов близкие к гранитам. Однако в среднем осадочные породы менее радиоактивны, чем кислые и средние магматические породы. В суммарной радиоактивности песчаников, глин и хемогенных пород большую роль играют торий и калий. Для известняков и доломитов характерно резкое повышение содержания урана по сравнению с содержанием тория и калия.

Радиоактивность почв определяется радиоактивностью горных пород и условиями почвообразования. Максимальной радиоактивностью характеризуются почвы, развитые на кислых магматических породах и глинах, но в среднем она ниже радиоактивности осадочных горных пород.

Особенностью распределения урана, радия, тория и других радиоактивных элементов является неравномерность их содержания в однотипных породах, особенно в магматогенных. Среди генетически различных типов пород наибольшей радиоактивностью характеризуются кислые магматические изверженные породы (*граниты*), представляющие собой продукт кристаллизации магмы. С уменьшением содержания оксида кремния в изверженных породах, т.е. с увеличением их основности, содержание радиоактивных элементов сокращается. Чаще всего изверженные породы розовых и красных тонов оказываются более радиоактивными, чем серые и темно-серые. При разрушении продуктов магматической кристаллизации (граниты, сиениты и др.), в которых уран связан с химически стойкими минералами (монацит, самарскит, циркон и др.), начинает протекать процесс растворения первичных урановых минералов, но значительная часть урана остается здесь нерастворенной и рассеивается в остаточных минералах коры выветривания, в россыпях. В процессах последующего переотложения этих пород содержание первичных минералов урана непрерывно уменьшается. Среди других веществ с повышенным содержанием урана обычно отмечают также фосфатные минералы, в которые он входит, изоморфно замещая кальций. Основными концентраторами тория являются остаточные минералы, сосредоточенные в зоне коры выветривания или в обломочных породах. Для урана и радия такими концентраторами являются глинистые минералы, некоторые органические соединения и фосфатные минералы.

К породообразующим минералам с низкой радиоактивностью относятся такие минералы, как кварц, доломит, кальцит, ангидрит, каменная соль и др. Средней радиоактивностью обладают некоторые полевые шпаты, а также железосодержащие минералы – лимонит, магнетит. В группу минералов с повышенной радиоактивностью входят глинистые минералы, слюды, большая часть полевошпатовых минералов, калийные соли, апатит и сфен.

Используемые приборы

Гамма-радиометр РУГ-91М1 «АДАНИ»

Гамма-радиометр РУГ-91М1 «АДАНИ» (рис. 2.1) предназначен для измерения удельной и объемной активности гамма-излучающих радионуклидов *цезия-134,-137*, природного изотопа *калия-40*, а также *радия-226* и *тория-232* в пробах в продуктах питания и объектах окружающей среды.

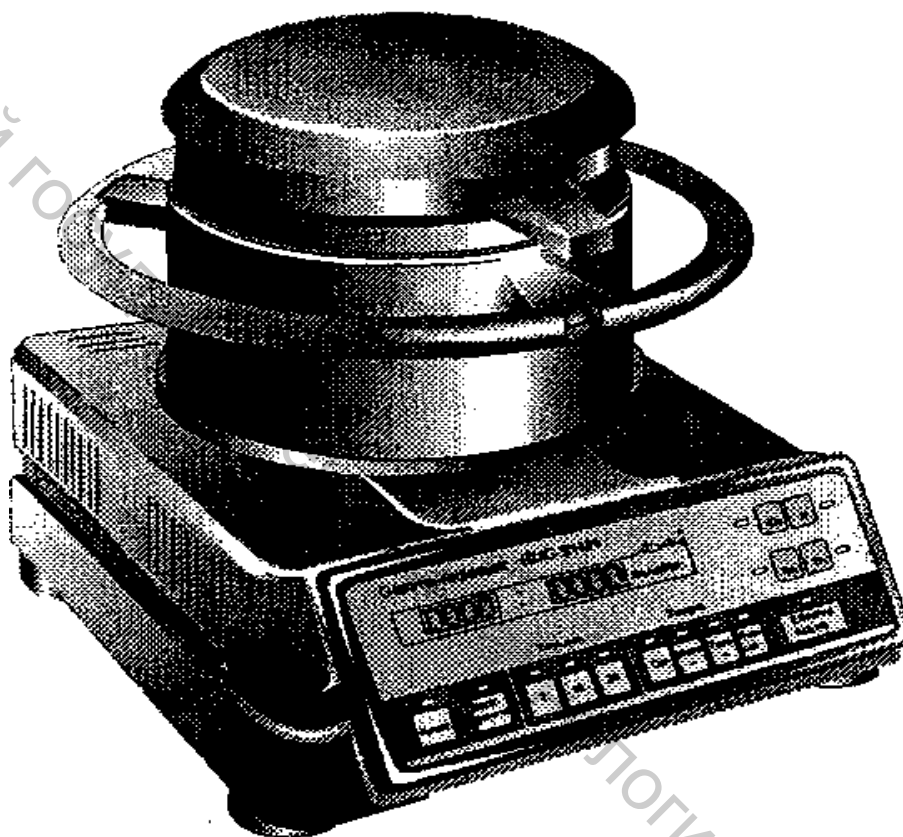


Рисунок 2.1 – Общий вид гамма-радиометра РУГ-91М1

Технические данные гамма-радиометра:

- Сцинтиллятор-кристалл $CsI(Tl)$ размером 40×40 мм.
 - Пределы допустимой основной погрешности измерения объемной активности радионуклида калий-40 при времени измерения 20 мин ($0,2-50,0$ кБк/л) – 50 %; 2 мин ($0,5-50,0$ кБк/л) – 50 %.
 - Пределы допускаемой дополнительной погрешности при измерении температуры $1\%/1^\circ C$, при измерении внешнего фона гамма-излучения до 50 мкР/ч – 25 %.
 - Время установления рабочего режима, не более 30 мин.
 - Время непрерывной работы не менее часа.
- Объем пробы – 0,5 л.

Принцип действия гамма-радиометра основан на подсчете числа световых импульсов, возникающих под действием гамма-квантов в сцинтилляционном детекторе. Число зарегистрированных в единицу времени световых импульсов связано с активностью исследуемого образца. Функциональная схема, поясняющая принцип действия гамма-радиометра, приведена на рисунке 2.2.

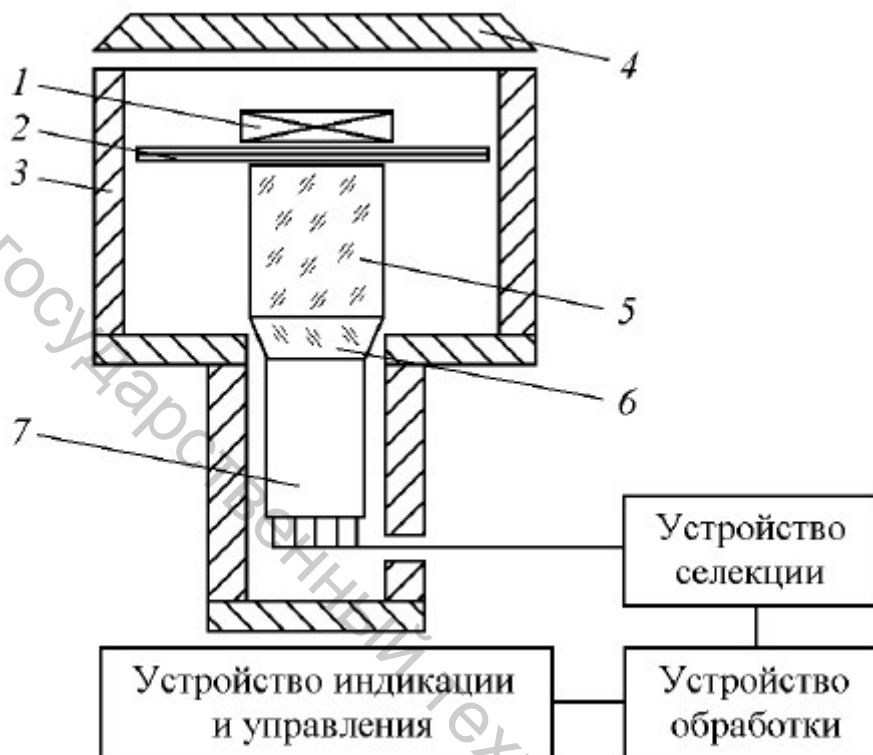


Рисунок 2.2 – Функциональная схема гамма-радиометра РУГ-91:

1 – источник ионизирующего излучения; 2 – поглотитель (исследуемая проба); 3 – защитный свинцовый экран; 4 – защитная крышка; 5 – сцинтиллятор – CsI(Tl); 6 – световод; 7 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)

Исследуемый образец 1 (проба) размещен в кювете 2, в качестве которой используется сосуд Маринелли объемом 0,5 л. Кювета с пробой устанавливается внутри свинцового защитного экрана 3, уменьшающего влияние внешнего фонового излучения. Сверху экран закрывается свинцовой защитной крышкой 4. Световые вспышки, возникающие в сцинтилляторе 5, через световод 6 попадают на фотокатод фотоэлектронного умножителя 7 и преобразуются в электрические импульсы, которые после усиления поступают в устройство селекции. Устройство селекции производит сортировку импульсов по их амплитудам (пропорционально энергии гамма-квантов). Устройство обработки управляет работой устройства селекции и вычисляет характеристики ионизирующего излучения. Устройство индикации и управления задает режим работы гамма-радиометра и индицирует на табло результат измерения.

Режим работы задаётся с помощью *14 кнопок* на лицевой панели прибора.
ВНИМАНИЕ! В гамма-радиометре в качестве детектора используется кристалл *CsI(Tl)*, который требует бережного обращения. Избегайте механических ударов по прибору!

КНОПКИ УПРАВЛЕНИЯ:

СЕТЬ – служит для включения и выключения гамма-радиометра.

Background (ФОН) и **On (ПРОБА)** производят включение режима *ИЗМЕРЕНИЕ* для измерения активности соответственно **фона** и **образца**.

2 мин, 10 мин, 20 мин устанавливают время измерения. **20 мин** – для точных измерений и рекомендуется для измерения малоактивных проб (менее 200 Бк/л).

K-40, CS-137, Ra-226, Th-232 для измерения активности пробы соответствующих элементов.

Reset (СБРОС) для отмены ошибочной команды и приведения гамма-радиометра в исходное состояние.

Нажатие кнопки сопровождается звуковым сигналом, при этом загорается светодиод над этой кнопкой.

Порядок проведения работы

Следует отметить, что свинцовый экран не исключает полностью влияния фонового излучения: даже при отсутствии исследуемого образца внутри экрана на выходе детектора будут регистрироваться импульсы, которые и нужно учитывать как фоновые. Таким образом, вся процедура измерения состоит из двух этапов: измерения фона и измерения активности образца.

Подготовка прибора к работе.

Подсоединить сетевой шнур к сети 220 В и нажать кнопку **СЕТЬ**. Звуковой сигнал и индикация **"0"** во всех разрядах табло означает готовность к работе.

Измерение ФОНА

Внешне гамма-излучение создается космическим излучением, естественными радионуклидами, содержащимися в объектах окружающей среды, предметах быта, поэтому его величина меняется во времени и различна для разной местности. Величина фона зависит от погодных условий, месторасположения прибора, вентиляции помещения. Поэтому желательно определять значение фона перед каждой серией измерений, особенно при изменении условий измерений (например, месторасположение прибора).

Измерение фона производится с пустым сосудом Маринелли, либо без него. Фон изменяется по четырем каналам одновременно (*K-40, Cs-137, Ra-226, Th-232*), его значения заносятся в память микропроцессора. *Окончание измерения подтверждается звуковым сигналом!*

1. Для измерения фона внутри свинцового защитного экрана нажать кнопки **Background (Фон)** и **10 мин** (при выборе времени измерения фона учесть, что оно должно быть больше максимально предполагаемого времени измерения проб) и снова **Background**. По окончании измерения на табло индуцируется значение фона соответствующего радионуклида или суммарной эффективной активности пробы. Значения фона автоматически заносятся в память и в дальнейшем *автоматически вычитаются из результатов измерения активности пробы*.

2. Если фон уже измерялся и сетевой шнур гамма-радиометра не отключался от питающей сети, то после включения кнопки СЕТЬ на табло индуцируется его значение. При этом над кнопкой **Reset** загорается светодиод.

3. При повторном измерении величины фона, нажать кнопки **Background (Фон)**, «**10 мин**» и **Background (Фон)** еще раз (происходит измерение фона по принципу накопления $10 + 10 = 20$ мин – на табло в итоге будет значение фона за 20 мин).

Измерение активности пробы

1. Для корректных измерений объем пробы должен составлять 0,5 л. Особой подготовки проб для проведения измерений не требуется. Показания прибора снимают в Бк/кг.

ВНИМАНИЕ!

- При измерении жидкостей следует избегать выпадения осадка.
- При измерении твердых образцов желательно их предварительно измельчить, чтобы заполнить требуемый объем.
- Время измерения активности пробы – 2 мин или 20 мин. 20-минутный режим используется для измерения малых активностей (0,018–0,2 кБк/кг) и рекомендуется только для питьевой воды и детского питания в готовом для употребления виде. Измерение всех остальных продуктов можно проводить в режиме 2 минут.

2. Установить кювету с исследуемой пробой внутрь свинцового экрана. Закрыть крышку, нажать кнопку «**Reset**» («Сброс»).

3. Ввести массу тары: для чего нажать кнопку **On**, затем серией нажатий кнопок «+» или «-» (**Tare+** или **Mass-**) ввести массу пустой кюветы (**90 г**) и снова нажать кнопку **On**.

4. Ввести массу пробы: последовательно нажимать кнопку «+» («**Tare+**») до заданного значения массы пробы в кг. По умолчанию на приборе введена масса **0,500 кг**, поэтому если масса пробы меньше, то для снижения величины нажимать кнопку «-» («**Mass-**»). Нажать кнопку **On**.

5. Нажать кнопки времени **10 МИН** (**2 мин**, **20 мин** или *другого*) и **On** – **начался отсчет**. Измерение активности идет одновременно по четырём каналам: по *Cs-137, K-40, Ra-226, Th-232*.

6. По окончании измерения звучит характерная мелодия (через несколько секунд) и прибор переходит в режим индикации суммарной эффективности удельной активности пробы $\sum A_{m\text{ЭФФ}}$ и погрешности ее измерения – записать значение. Затем последовательно нажать кнопки **Cs-137**, **K-40**, **Ra-226**, **Th-232** (на табло высвечивается объемная активность того радионуклида, кнопка которого нажата) и записать все значения. Для повтора нажать кнопку «**Effective Activity**». Результат на табло сохраняется до начала следующего измерения.

7. Нажать кнопки «**Reset**» и трижды «**On**» и повторить пункты 5–6 2–3 раза. Определить среднее значение удельной активности (A_m).

Если исследуемых проб несколько (количество проб задается преподавателем), то п.п. 2–7 повторить для каждой пробы.

8. По окончании измерений вынуть кювету из свинцового домика и выключить прибор тумблером «Сеть» на задней панели и вынуть вилку прибора из розетки.

9. Результаты измерения активности проб занести в таблицу 2.1, выполнить расчеты, оформить отчет и сдать преподавателю.

10. Результаты измерений A_{Ra} и A_{Th} сравнить с таблицей 2.2. Полученные значения удельной эффективной активности ($A_{m\text{ЭФФ}}$) для исследуемых материалов сравнить со значениями приведенные в таблице 2.3 и сделать вывод об их применимости.

Таблица 2.1 – Результаты измерений

Объект исследования	Показание прибора A_m , Бк/кг $\pm$ погрешность						Удельная активность A_v , Бк/л $\pm$ погрешность				
	Время изм.	$\sum A_{m\text{ЭФФ}}$	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232	$\sum A_{v\text{ЭФФ}}$	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
Фон			-	-	-	-		-	-	-	-
Проба 1											
изм.1											
изм.2											
изм.3											
Среднее											
Проба 2											
изм.1											
изм.2											
изм.3											
Среднее											

Обработка результатов измерений

Расчёт удельной активности (для продуктовых проб)

1. При расчетах нужно знать плотность пробы ρ или вычислить ее: для чего взвесить пробу (кг) и полученный результат разделить на объем тары (сосуда Маринелли) – 0,5 л = 500 мл – полная тара; если насыпана не полностью, то $V = 0,4; 0,3$:

$$\rho = M / V. \quad (2.1)$$

2. Удельная массовая активность A_m связана с удельной объемной активностью A_v соотношением:

$$A_m = A_v / \rho. \quad (2.2)$$

тогда удельная объемная активность определяется:

$$A_v = A_m \cdot \rho. \quad (2.3)$$

где m , ρ , V – соответственно масса, плотность исследуемого образца, удельный объем.

3. По формуле (2.3) определить удельную объемную активность и записать полученный результат в столбцы 8–12 таблицы 2.1.

Для продуктовых проб результаты измерений и расчетов сравнить с приложением А.

Определение удельной эффективной активности (только для строительных материалов)

1. Удельная эффективная активность $A_{mЭФФ}$ природных радионуклидов в строительных материалах (песок, щебень, цементное и кирпичное сырье и др.) и отходах промышленного производства, используемых для изготовления строительных материалов (зола, шлаки и др.), может быть рассчитана по формуле:

$$A_{mЭФФ} = A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K + 0,22 \cdot A_{Cs} \quad (2.4)$$

где A_{Ra} – удельная активность радия-226, A_{Th} – удельная активность тория-232, A_K – удельная активность калия-40 и A_{Cs} – удельная активность цезия-137 берутся из таблицы результатов (пересчетные значения) либо из таблицы 2.2.

2. Для проб стройматериалов, полученные расчетным путем по формуле (2.4) значения $A_{mЭФФ}$ сравнить с полученными по прибору $\Sigma A_{mЭФФ}$ (табл. 2.1).

Таблица 2.2 – Удельная активность естественных радионуклидов в горных породах и строительных материалах (Бк/кг)

Вид материала	Радий-266	Торий-232
Земля	33	39
Глина	20,4	33,7
Бетон	21,8	15,2
Цемент	23,7	16,7
Песок	7,8	12,3
Щебень из доломитов и известняков	12,6	4,8
Щебень из гранита	27,4	35,9
Гранитный отсев	43,0	118,2
Стройматериалы	27,8	32,6

Таблица 2.3 – Классификация строительных материалов по удельной эффективной активности

Класс	$\sum A_{эфф}, \text{Бк/кг}$	Область применения
1	<370	Жилые здания
2	<740	Дорожное строительство и производственные сооружения в пределах населенных пунктов
3	<1350	Дорожное строительство вне населённых пунктах
4	$1350 < \sum A_{эфф} < 4000$	Вопрос об использовании материалов согласуется с Республиканским центром гигиены и эпидемиологии

Контрольные вопросы:

1. Что такое удельная, объемная и поверхностная активность? Единицы их измерения.
2. Из каких видов радиационного излучения складывается естественный радиационный фон в помещении (аудитории)?
3. Какие радионуклиды чернобыльской аварии в настоящее время являются определяющими?
4. В каких домах, построенных из различных строительных материалов, радиационный фон будет наибольшим: деревянных, кирпичных, бетонных?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Цель работы: изучить характеристики дозиметрических приборов РА-ДЭКС РД1503 и РКСБ-104, научиться измерять мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.

Основные теоретические положения

При прохождении ионизирующих излучений через различные вещества их энергия поглощается этими веществами. Главным образом она затрачивается на ионизацию, то есть превращение атомов и молекул в ионы.

Энергия ионизирующего излучения, поглощённая единицей массы вещества, называется *поглощённой дозой* D

$$D = \frac{dE}{dm}, \quad (3.1)$$

где dE – приращение средней энергии, переданной излучением веществу в элементарном объёме, Дж, dm – масса вещества в элементарном объёме, кг.

Эта величина позволяет количественно оценить воздействие различных видов излучений в любой среде. В СИ поглощенную дозу излучения измеряют в *Греях* (Гр). Один грей соответствует поглощенной дозе излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж (1 Гр = 1 Дж/кг).

Внесистемная единица поглощенной дозы 1 рад. Один рад соответствует поглощённой дозе излучения, при которой веществу массой 1 г передается энергия ионизирующего излучения, равная 100 эрг (1 эрг = 10^{-7} Дж). Таким образом: 1 Гр = 100 рад.

Поглощённая доза может быть определена в любом веществе и создаётся всеми видами ионизирующих излучений (альфа-, бета-, гамма-излучениями, потоками нейтронов и других элементарных частиц).

Поглощённая доза, отнесённая ко времени поглощения, носит название *мощности поглощённой дозы* и измеряется в Гр/ч, Гр/с, мГр/ч, рад/с, рад/год и т.д.

Следует отметить, что 1 рентген экспозиционной дозы (по всему спектру γ -излучения до энергии 3 МэВ) соответствует поглощённой дозе в биологической ткани в 0,93 рад, т.е. $1\text{Р} \approx 0,93\text{ рад}$.

Для оценки воздействия ионизирующих излучений на биологическую ткань стандартного состава используют *эквивалентную дозу*.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения H определяется как поглощённая доза излучения D , умноженная на взвешивающий коэффициент излучения W_R и на модифицирующий фактор N (произведение эмпирических коэффициентов, которое в настоящее время принимается равным единице):

$$H = D \cdot W_R \cdot N = \sum_{j=1}^n D_j \cdot W_{Rj} \cdot N_j, \quad (3.2)$$

где j – индекс вида излучения.

Эквивалентная доза используется в радиационной безопасности для учёта вредных эффектов биологического воздействия различных видов ионизирующих излучений при хроническом облучении человека малыми дозами, не превышающими 250 мЗв/год. Её нельзя использовать для оценки последствий аварийного облучения человека, тогда используется только поглощённая доза. Стандартный состав биологической ткани принимается следующим (по массе): 10,1 % водорода, 11,1 % углерода, 2,6 % азота, 76,2 % кислорода.

Взвешивающий коэффициент (коэффициент качества излучения) W_R излучения характеризует степень разрушительного воздействия на биологический объект и показывает, во сколько раз данный вид излучения более опасен, чем фотонное излучение при одинаковой поглощенной дозе D (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Взвешивающие коэффициенты W_R для отдельных видов ионизирующего излучения

<i>Вид излучения и диапазон энергии</i>	<i>Взвешивающий коэффициент W_R</i>
Фотоны всех энергий	1
Электроны всех энергий	1
Альфа-частицы	20
Нейтроны с энергией	
<10 кэВ	5
от 10 кэВ до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
> 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20
<i>Примечание.</i> Все значения относятся к излучению, падающему на тело, а в случае внутреннего облучения – испускаемому при ядерном превращении	

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является *Зиверт* (Зв). Внесистемная единица – БЭР (*биологический эквивалент рада*).

1 Зв = 100 БЭР.

Так как средний коэффициент качества для γ -излучения равен 1, то величина поглощённой дозы, создаваемой этим излучением в воздухе, будет соответствовать эквивалентной дозе, образующейся в биологической ткани.

Измеряемая в воздухе величина получила название полевой эквивалентной дозы γ -излучения.

Для приближённых расчётов можно считать, что $1 \text{ БЭР} = 1 \text{ Р} = 1 \text{ рад}$.

Отношение полевой эквивалентной дозы γ -излучения за определённый интервал времени к этому интервалу времени называется мощностью полевой эквивалентной дозы γ -излучения:

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}, \quad (3.3)$$

где dH – приращение полевой эквивалентной дозы γ -излучения; dt – интервал времени.

Мощность полевой эквивалентной дозы измеряется в Зв/ч, мЗв/ч, мкЗв/ч, БЭР/ч.

Зная мощность полевой эквивалентной дозы и время облучения, можно рассчитать величину эквивалентной дозы (дозовую нагрузку), получаемую человеком, по формуле:

$$H = \int_0^t \dot{H} \cdot dt. \quad (3.4)$$

Соотношение между единицами мощности экспозиционной дозы и полевой эквивалентной дозы γ -излучения: $1 \text{ мкР/ч} = 0,01 \text{ мкЗв/ч}$ или $100 \text{ мкР/ч} = 1 \text{ мкЗв/ч}$.

Связь между системными и внесистемными единицами доз приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Связь между системными и внесистемными единицами доз

Доза	Единица измерения		Соотношение единиц
	международная	внесистемная	
Экспозиционная	Кулон на кг воздуха, (Кл/кг)	Рентген, (Р)	1 Кл/кг=3876 Р
Поглощённая	Грей (Гр)	рад	1 Гр=100 рад
Индивидуальные:			
эквивалентная	Зиверт (Зв)	бэр	1 Зв=100 бэр
эффективная	Зиверт (Зв)	бэр	
ожидаемая эффективная	Зиверт (Зв)	бэр	
Коллективные:			
эффективная	человеко-зиверт (чел.·Зв)	человеко-бэр (чел.·бэр)	1 чел.·Зв = = 100 чел.·бэр
ожидаемая эффективная	(чел.·Зв)	(чел.·бэр)	

Биологический эффект воздействия ионизирующего вида излучения зависит от вида излучения, энергии частиц и гамма-квантов.

Средняя эквивалентная доза – среднее значение эквивалентной дозы H_T в ткани или органе T с массой m_T .

Эффективная эквивалентная доза H_E – сумма средних эквивалентных доз H_T в различных органах, умноженных на соответствующие взвешивающие коэффициенты W_T :

$$H_E = \sum_T H_T \cdot W_T. \quad (3.5)$$

Взвешивающие коэффициенты W_T характеризуют отношение риска облучения данного органа или ткани к суммарному риску при равномерном облучении всего тела. Они позволяют выровнять риск облучения вне зависимости от равномерности облучения тела человека.

Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) рекомендованы следующие значения взвешивающих коэффициентов для различных органов и тканей человека (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Значения взвешивающего коэффициента W_T (коэффициента радиационного риска) при равномерном облучении всего тела

Орган или ткань	W_T
1. Красный костный мозг	0,12
2. Толстый кишечник	0,12
3. Легкие	0,12
4. Желудок	0,12
5. Молочная железа	0,12
6. Остальные ткани*	0,12
7. Половые железы (гонады)	0,08
8. Мочевой пузырь	0,04
9. Пищевод	0,04
10. Печень	0,04
11. Щитовидная железа	0,04
12. Костная поверхность	0,01
13. Кожа	0,01
14. Головной мозг	0,01
15. Слюнные железы	0,05
Всего	1,00

*Остальные ткани: надпочечники, ткани экстрагепатического отдела, желчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышечная ткань, слизистая полости рта, поджелудочная железа, тонкий кишечник, селезенка, тимус, предстательная железа (мужчины), матка/шейка матки (женщины).

Коллективная эквивалентная доза $H_{\text{кол}}$ – это сумма индивидуальных эквивалентных доз у данной группы людей, умноженных на число людей в этой группе:

$$H_{\text{кол}} = \sum_i H_i \cdot P_i, \quad (3.6)$$

где P_i – число лиц в данной группе, получивших эквивалентную дозу H_i .

Коллективная эквивалентная доза выражается в человеко-зивертах или человеко-бэрах: 1 чел.-Зв = 100 чел.-бэр.

Все отдалённые последствия воздействия ионизирующих излучений на людей (онкологические, мутагенные) носят случайный характер и их вероятность рассчитывается исходя из величины коллективной эквивалентной дозы.

Используемые приборы

Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503

Технические характеристики:

- Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,05 до 9,99 мкЗв/ч.
 - Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы от 5 до 999 мкР/ч.
 - Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения от 0,1 до 1,25 МэВ.
 - Время измерения – $40 \pm 0,5$ с.
- Время индикации показаний – непрерывно.
Схема прибора представлена в лабораторной работе 1.

Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений «РКСБ-104»

Прибор «РКСБ-104» (рис. 3.1) предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- Мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.
- Плотности потока бета-излучения с поверхности.
- Удельной активности бета-излучающих радионуклидов в веществах.

Технические характеристики:

- Диапазон измерений мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 0,1–99,99 мкЗв/ч.
- Диапазон измерений плотности потока бета-излучения с поверхности – 0,1–99,99 1/(с · см²) или 6–6000 1/(мин · см²).
- Диапазон измерений удельной активности бета-излучающих радионуклидов – $2 \cdot 10^3$ – $2 \cdot 10^6$ Бк/кг или $5,4 \cdot 10^{-8}$ – $5,4 \cdot 10^{-5}$ Ки/кг.
- Диапазон энергии регистрируемых излучений: бета-излучения – 5–3,0 МэВ; гамма-излучения – 0,06–1,25 МэВ.
- Пределы допускаемых значений основной погрешности измерений: мощности полевой эквивалентной дозы – до 40 %; плотности потока бета-излучения – до 60 %; удельной активности – до 60 %.

При минимальном значении измеряемой величины требуется максимальное время проведения замеров.

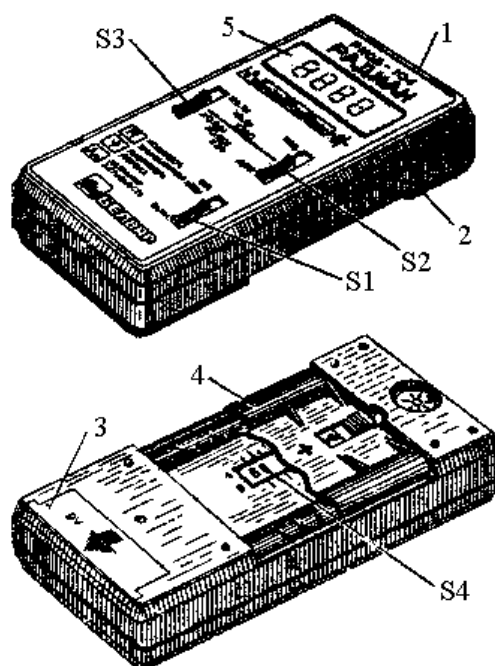


Рисунок 3.1 – Общий вид прибора «РКСБ-104»: 1 – корпус; 2 – задняя крышка; 3 – съёмная крышка отсека питания; 4 – крышка-фильтр; 5 – жидкокристаллический индикатор; S1 – выключатель питания; S2 – переключатель режима работы прибора; S3 – тумблер переключения поддиапазонов; S4 – кодовый переключатель рода работ

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы с помощью индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503

Подготовить прибор к работе.

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку (поз. 4 рисунок 1.1). На дисплее разворачивается «экран РД1503» (поз. 1 рисунок 1.1) и начинается оценка радиационной обстановки. Результат наблюдения появляется на дисплее через 10 секунд.

2. Для входа в меню и изменения размерности измерений, а также других настроек, нажмите кнопку «МЕНЮ» (поз. 2 рисунок 1.1). Появляется содержание меню. По умолчанию установлено:

- размерность – мкЗв/ч;
- порог – 0,30 мкЗв/ч;
- звук – тихо;
- подсветка – выключена.

Для перемещения курсора по пунктам меню и выбираемым значениям используйте кнопку «КУРСОР», нажимая на края кнопки (поз. 3 рисунок 1.1).

ВЫБОР пункта меню и его изменение осуществляется кнопкой «МЕНЮ».

ВЫХОД из меню осуществляется кнопкой «ВЫКЛ» (поз. 4 рисунок 1.1).

3. Установите курсор на надпись «Размерность» и нажмите кнопку «МЕНЮ» для последующего изменения.

4. Выберите с помощью кнопки «КУРСОР» необходимые для проведения эксперимента единицы измерения (мЗР/ч) и нажмите кнопку «МЕНЮ» для изменения.

5. Вернитесь в главное меню, нажав кнопку «ВЫКЛ» (поз. 4 рисунок 1.1).

6. Через 10 секунд на дисплее выводится первый результат короткого цикла и пиктограммы:

••	– соответствует первому короткому циклу измерения;
	– соответствует второму короткому циклу измерения;
	– соответствует третьему короткому.

Короткий цикл измерения равен 10 с и предназначен для быстрого получения предварительных результатов. Наиболее достоверный результат выводится на дисплей после первого (40 с) цикла измерения и отображается пиктограммой «|».

	– соответствует одному циклу измерения;
—	– соответствует двум циклам измерения;
— —	– соответствует трём циклам измерения;
— — —	– соответствует четырём и более циклам измерения.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

7. Проведите 10 циклов наблюдений, записывая показания каждого цикла измерений в таблицу 3.4.

8. После проведения измерений выключите прибор.

Таблица 3.4 – Результаты замеров

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность полевой эквивалентной дозы, мкЗв/ч (РАДЭКС РД1503)										
Мощность полевой эквивалентной дозы, мкЗв/ч (РКСБ-104)										

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы с помощью радиометра РКСБ-104

1. Снять заднюю крышку-фильтр (4) прибора. Для этого необходимо сдвинуть вниз запирающую защелку (5) и, подав на себя верхнюю часть крышки-фильтра, извлечь её *осторожным* движением вверх.

2. Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом (рис. 3.2):

S4.1, S4.3, S4.7, S4.8 в положение «0»;

S4.2, S4.4, S4.5, S4.6 в положение «1».

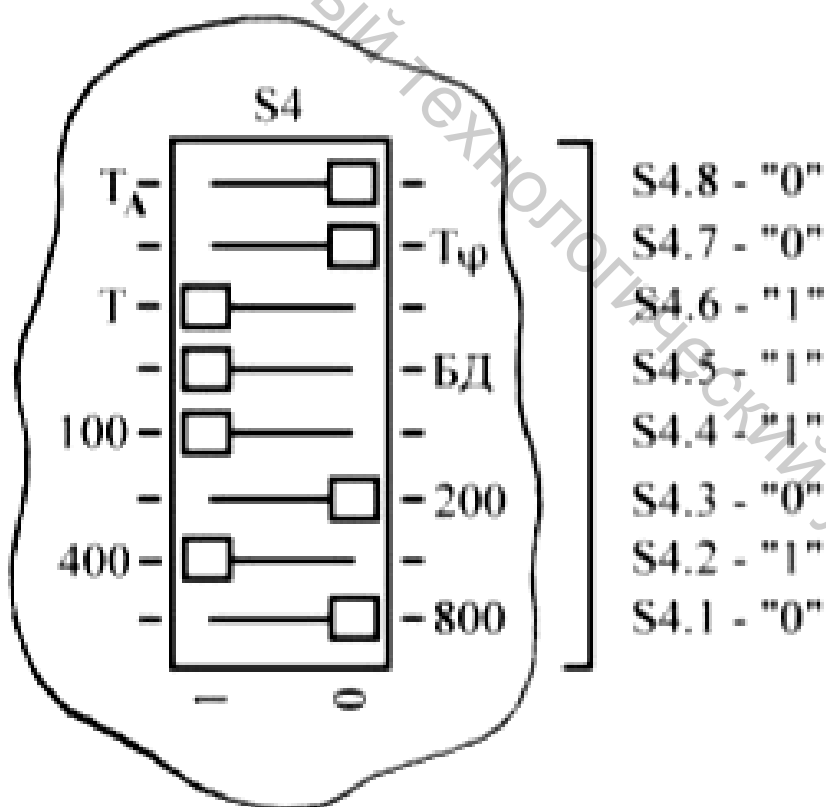


Рисунок 3.2 – Положение движков кодового переключателя

3. Установить на место крышку-фильтр.
4. Перевести органы управления прибора тумблера S2 и S3 в верхнее положение («MESS» для S2 и «x0.01

x0.01

x200» для S3).

5. Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»).

6. Через 28 секунд прибор выдаст прерывистый звуковой сигнал, в правом нижнем углу табло индикатора появится символ «F».

7. Появившееся на табло индикатора 4-разрядное число необходимо умножить на пересчётный коэффициент (который указывается тумблером S3 и составляет 0,01 при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы), что даст величину в микрозивертах в час (мкЗв/ч).

8. Время индикации установившегося значения около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 3.4.

9. После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 10 результатов и занести их в таблицу 3.4.

10. Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности полевой эквивалентной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов. Поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

Контрольные вопросы:

1. Что такое поглощенная доза?
2. Что такое эквивалентная доза?
3. Взвешивающий коэффициент (коэффициент качества излучения).
4. Что такое эффективная эквивалентная доза?
5. Что такое коллективная эквивалентная доза?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ МЕТОДОМ РАДИОМЕТРИИ

Цель работы: изучить характеристики стационарного радиометра КРВП-3Б и научиться с его помощью измерять объёмную активность в твёрдых пробах.

Основные теоретические положения

Радиоактивность – это самопроизвольное превращение неустойчивых ядер в более устойчивые, которое сопровождается испусканием ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение – это излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов.

К ионизирующим относятся альфа-, бета- и гамма-излучения.

Активность A – это физическая величина, характеризующая число распадов ($-dN$) в данном количестве ядер (N_0) в единицу времени (dt):

$$A = \frac{-dN}{dt}. \quad (4.1)$$

Если N – число нераспавшихся радиоактивных ядер в момент времени t , то активность можно выразить так:

$$A = \lambda \cdot N, \quad (4.2)$$

где λ – постоянная радиоактивного распада, которая характеризует вероятность распада одного ядра за одну секунду и выражается в с^{-1} .

Единица активности в системе СИ – 1 Беккерель (1 Бк), что соответствует 1 распаду в секунду. Внесистемная единица активности – 1 Кюри (1 Ки).

1 Кюри – это величина активности, которая соответствует количеству распадов в 1 г радия ($^{226}_{88}\text{Ra}$) за 1 секунду. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Удельная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в пробе, к массе этой пробы:

$$A_m = \frac{A}{m}. \quad (4.3)$$

Единицы удельной активности – 1 Бк/кг или 1 Ки/кг.

Объёмная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к объёму образца:

$$A_V = \frac{A}{V}. \quad (4.4)$$

Объёмная активность обычно измеряется в Ки/л.

Поверхностная активность – это отношение активности радионуклида, содержащегося в образце, к площади поверхности образца:

$$A_S = \frac{A}{S}. \quad (4.5)$$

Поверхностная активность обычно измеряется в Ки/кг.

В настоящее время имеется три основных радиоактивных элемента, обуславливающих фон и загрязнение среды: ^{137}Cs – источник гамма-излучения (энергия фотонов 662 кэВ) и бета-излучения (граничная энергия 520 кэВ), ^{90}Sr – источник бета-излучения (граничные энергии двух бета-переходов 546 кэВ и 2274 кэВ), ^{239}Pu – источник альфа-излучения (энергия альфа частиц 5,1 МэВ).

Поскольку разные виды излучений обладают различной поражающей способностью, при исследовании загрязнения различают γ -, β - и α -активные радионуклиды. Универсальных приборов, позволяющих в полной мере решать эту задачу, нет. Радиометрический контроль реализуется по гамма-излучению цезия-137; радиометрия бета- и альфа-излучения требует, как правило, радиохимического выделения элементов. Связь между радиометрическими и дозиметрическими величинами представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Связь между радиометрическими и дозиметрическими величинами

Уровень загрязненности территории		Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч	Мощность эквивалентной дозы, мЗв/год
Ки/км ²	МБк/м ²		
5	0,185	75	4
15	0,555	225	12
30	1,11	450	24
40	1,48	600	32
60	2,12	900	48
146,5	5,42	2200	117

Поверхностная активность используется как характеристика загрязнённости территорий, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС.

Загрязнённость территорий измеряется в Ки/км² по отдельным радионуклидам: цезию-137, стронцию-90 или плутонию-239.

Загрязнёнными считаются территории с поверхностной активностью по цезию-137 более 1 Ки на км². Люди, проживающие в зоне с загрязнённостью по цезию-137 от 5 до 15 Ки/км², имеют право на отселение, а свыше 15 Ки/км² – должны быть обязательно отселены. При загрязнённости по цезию-137 свыше 40 Ки/км² территории относятся к зоне отчуждения и там запрещена всякая деятельность, кроме научной.

Товарная сельхозпродукция может производиться на территориях с загрязнением по цезию-137 до 5 Ки/км².

Чтобы избежать значительного внутреннего облучения в результате употребления в пищу загрязнённых радионуклидами продуктов, в республике налажен радиационный контроль за продуктами питания и разработаны «РЕСПУБЛИКАНСКИЕ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ-137 И СТРОНЦИЯ-90 В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ И ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ (РДУ-99)» (приложение А).

Используемые приборы

Радиометр КРВП-3Б

Радиометр КРВП-3Б является стационарным прибором, предназначен для измерения объёмной бета-активности воды и пищевых продуктов.

Радиометр обеспечивает измерение объёмной бета-активности воды и пищевых продуктов, загрязнённых бета-активными веществами в пределах:

- прямым методом от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-6}$ Ки/л при измерении воды и пищевых продуктов;
- методом с предварительным обогащением от $1 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ Ки/л при измерении бета-активности воды, загрязнённой радионуклидами стронций-90+иттрий-90;
- пределы допускаемых значений основной погрешности радиометра не должны превышать ± 20 % относительно измеряемого значения источника бета-излучения с радионуклидами стронций-90+иттрий-90.

Общий вид основных блоков представлен на рисунках 4.1–4.3.

Пересчётный блок: пересчётный блок состоит из литого металлического корпуса и шасси, на котором смонтированы все узлы. На лицевой панели расположены все органы управления пересчётного блока: выключатель питающей сети, тумблер рода работ (работа с блоком детектирования или проверка), ось резистора регулировки уровня дискриминации (под шлиц). Кроме того, на лицевой панели установлены часы 59ЧП с кнопкой ПУСК и ручкой ЗАВОД, под колпачком установлена вставка плавкая.

Для подсчёта количества зарегистрированных импульсов на лицевую панель выведены декастроны. Номерная шкала декастронов даёт возможность отсчитывать количество импульсов при остановке счёта.

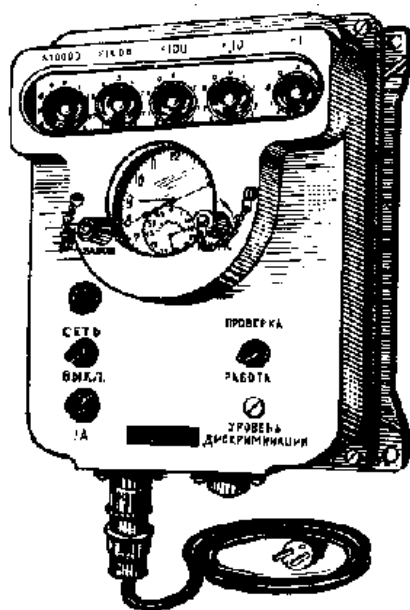


Рисунок 4.1 – Пересчётный блок

Блок детектирования бета-излучения: блок детектирования бета-излучения смонтирован в плоском пластмассовом корпусе. Блок детектирования помещается на специальном держателе в свинцовый домик, чтобы уменьшить влияние гамма-фона на результаты измерения низких уровней бета-активности воды и пищевых продуктов. Домик является разборным. Передняя стенка откидывается, открывая доступ внутрь домика. К верхней стенке домика с внутренней стороны прикреплён блок детектирования бета-излучения. К боковым стенкам домика прикреплены рамки с направляющими для установки кюветы с водой или продуктами питания, или кассеты с фильтром. Внутренние стенки домика изготовлены из трехмиллиметрового оргстекла. Толщина свинцовых стенок 30 мм.

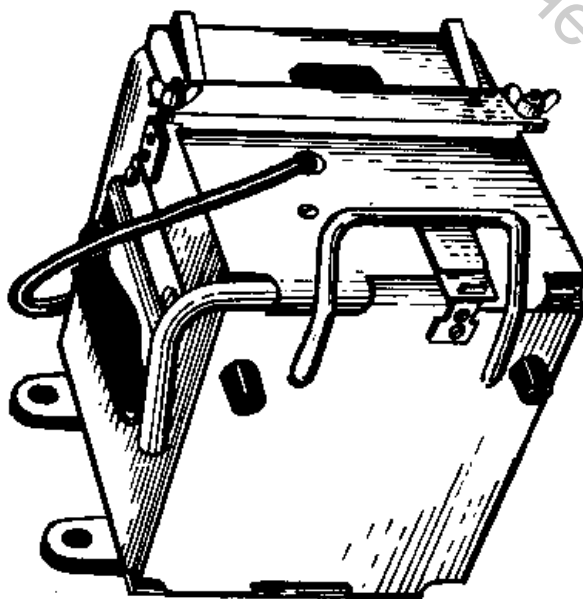


Рисунок 4.2 – Блок детектирования бета-излучения

Блок обработки: блок обработки служит для получения обогащённых проб из воды при измерении малых бета-активностей. Блок обработки состоит из отлитых из сплава АЛ9 основания и корпуса с крышками, в которых размещён резервуар для контролируемого продукта и привод электродвигателя. Для удобства работы с блоком обработки, извлечения держателей и резервуара для слива проб крышка резервуара с закреплённым на ней электродвигателем поднимается вверх. Фиксация крышки в горизонтальном положении обеспечивается упорами. На передней части блока расположен тумблер «СЕТЬ-ВЫКЛ» (электродвигатель). Тумблер служит для включения электродвигателя.

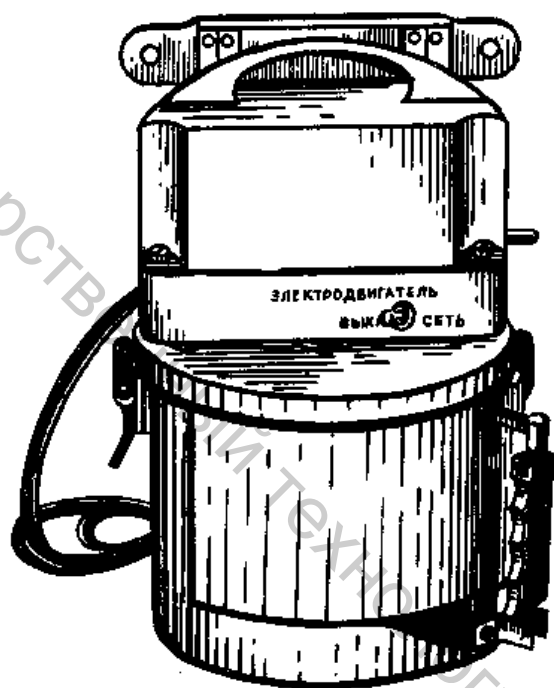


Рисунок 4.3 – Блок обработки

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.

4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Измерение объёмной активности бета-излучающих радионуклидов в твёрдой пробе прямым методом

1. Установить в блок детектирования на верхнюю полочку (вплотную к детектору) пустую кювету.
2. Закрыть блок детектирования и установить стопорный штырь.
3. Перевести переключатель РАБОТА-ПРОВЕРКА в положение РАБОТА.
4. Кратковременно нажать кнопку ПУСК. Провести измерение фона в течение 3 минут и повторным нажатием кнопки ПУСК остановить подсчет импульсов.
5. Полученный результат занести в строку N_{ϕ} таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты измерения объёмной активности

№	1	2	3	4	5	6	7
N_{ϕ}							
N_{Π}							

6. Повторить измерение фона 7 раз и полученные результаты занести в строку N_{ϕ} таблицы 4.2.
7. В кювету после измерения фона насыпать пробу твёрдого вещества и тщательно разровнять её по внутренней кромке кюветы.
8. Кювету с пробой поместить в свинцовый домик на верхнюю полку держателя, под рабочее окно детектора.
9. Нажатием кнопки секундомера ПУСК включить пересчётную схему. Произвести измерение в течение 3 минут и повторно нажать кнопку ПУСК.
10. Занести полученный результат в строку N_{Π} таблицы 4.2.
11. Повторить измерение пробы 7 раз, и полученные результаты занести в строку N_{Π} таблицы 4.2.

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

12. По результатам измерений произвести расчёт объёмной активности пробы по формуле:

$$A_V = \frac{N_{\Pi CP} - N_{\phi CP}}{P \cdot t}, \quad (4.6)$$

где A_V – объёмная активность пробы, Ки/л; $N_{\Pi CP}$ – среднее число импульсов при измерении пробы; $N_{\phi CP}$ – среднее число импульсов при измерении фона;

t – время измерения, с; P – значение чувствительности радиометра к смеси радионуклидов в пробе, л/(Ки·с) (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Чувствительность радиометра КРВП-3Б при измерении объёмной активности стандартных образцов имитантов проб

Радионуклидный состав	Чувствительность радиометра, л/(Ки·с)
$^{137}\text{Cs}, ^{134}\text{Cs}$ (изотопы цезия)	$1,2 \cdot 10^7$
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ (изотопы стронция и иттрия)	$4,1 \cdot 10^7$
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ (изотопы церия и празеодима)	$5,2 \cdot 10^7$
$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$ (изотопы рутения и родия)	$5,6 \cdot 10^7$
^{40}K (изотоп калия-40)	$4,1 \cdot 10^7$

ПРИМЕР. Определение чувствительности радиометра при известном радионуклидном составе загрязнения пробы и следующим относительном содержании радионуклидов в смеси: ^{137}Cs и ^{134}Cs – 30 %; $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$ – 20 %; $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ – 10 %; $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ – 40 %.

Используя приведённую выше формулу, рассчитать чувствительность:

$$P = 1,2 \cdot 10^7 \cdot 0,3 + 5,6 \cdot 10^7 \cdot 0,2 + 4,1 \cdot 10^7 \cdot 0,1 + 5,2 \cdot 10^7 \cdot 0,4 = 3,97 \cdot 10^7.$$

При измерении проб, содержащих различные соли калия чувствительность прибора $P = 4,1 \cdot 10^7$ л/(Ки·с).

По результатам проведенных измерений рассчитать долю распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 кг исследуемого вещества.

1. Определить количество распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 литре исследуемого вещества:

$$A_V \left[\frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right] = A_V \left[\frac{\text{Ки}}{\text{л}} \right] \cdot 3,7 \cdot 10^{10}. \quad (4.7)$$

2. Определить количество распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 в 1 кг исследуемого вещества, используя значение плотности этого вещества:

$$A_m \left[\frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right] = \frac{A_V \left[\frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right]}{\rho}, \quad (4.8)$$

где ρ – плотность вещества, г/см³ (плотности различных соединений калия приведены в таблице 4.4).

3. Определить молярную массу исследуемого вещества по таблице Менделеева (приложение Б).

4. Найти общее количество всех изотопов калия в 1 кг исследуемого вещества, используя число Авогадро:

$$N_K = n \cdot N_A \cdot \left(\frac{m}{M} \right), \quad (4.9)$$

где n – количество ядер калия в одной молекуле исследуемого вещества, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро; m – масса навески исследуемого вещества, 1000 г; M – молярная масса исследуемого вещества, г/моль.

5. Найти долю распадающихся за 1 секунду ядер калия, разделив число распадающихся за 1 секунду ядер калия Δm на общее число ядер калия N_K .

Таблица 4.4 – Плотности соединений калия в г/см³

Вещество	KCl	K ₂ SO ₄	KNO ₃	K ₂ C ₂ O ₄	K ₃ PO ₄	KMnO ₄	KOH
Плотность ρ	1,98	2,66	2,109	2,127	2,564	2,703	2,044

Контрольные вопросы:

1. Что такое активность?
2. 1 г какого химического элемента имеет активность 1 Ки?
3. Каким нормативным документом устанавливаются нормы содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в продуктах питания?
4. Состав радиометра КРВП-3Б.
5. Как по известной удельной объемной активности образца определить его удельную массовую активность?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: изучить характеристики прибора комбинированного «РКС-107» и научиться измерять плотность потока бета-излучения с поверхности.

Основные теоретические положения

Бета-распадом называется процесс превращения нестабильного ядра в ядро с тем же массовым числом, заряд которого отличается от исходного на $\Delta Z = \pm 1$, сопровождаемый испусканием электрона, позитрона или захватом электрона с оболочки атома. Одновременно ядро испускает нейтрино или антинейтрино.

Нейтрино – легкая стабильная элементарная электрически нейтральная частица. **Антинейтрино** – античастица для нейтрино.

Известны три вида бета-распада: β^- (электронный), β^+ (позитронный) и электронный (или K^-) захват (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Виды бета-распада

Вид распада	Схема распада	Энергетическое условие распада
β^-	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}$	${}^A_ZM \rightarrow {}^A_{Z+1}M + m_e$
β^+	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + e^+ + \nu$	${}^A_ZM \rightarrow {}^A_{Z-1}M + m_e$
K^- -захват	$e^- + {}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + \nu$	$(m_e + {}^A_ZM) \rightarrow {}^A_{Z+1}M$

Примечание. A – массовое число; Z – зарядовое число (порядковый номер в периодической таблице элементов); X и Y – символы химических элементов; M – масса ядра; m_e – масса электрона; ν и $\bar{\nu}$ – символы нейтрино и антинейтрино.

Бета-частицы рождаются при радиоактивном распаде, причем бета-распад – процесс внутринуклонный, при котором в ядре распадается один нуклон.

В результате электронного бета-распада активным является свободный нейтрон, распадающийся на протон, электрон и антинейтрино. Масса ядра прежняя, а заряд увеличивается на единицу: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$.

Позитронный бета-распад – образуется ядро с прежней массой и зарядом, уменьшенным на единицу. При этом распаде в ядре распадается одиночный протон с образованием нейтрона, позитрона и нейтрино: $p \rightarrow n + e^+ + \nu$.

Позитрон стабилен, но в веществе существует лишь короткое время (доли секунды) из-за аннигиляции с электронами. При электронном захвате ядро поглощает один из электронов, расположенных на внутренних орбитах атома (чаще К-слоя): $e^{-} + p \rightarrow n + \nu$.

Место захваченного электрона сразу же занимает электрон с более высокого уровня, при этом испускается рентгеновское излучение.

У естественных радиоизотопов наблюдается только β^{-} – распад.

Типичные представители бета-активных ядер: калий-40, стронций-90, цезий-137 (первый из них – естественного происхождения, два других – результаты аварии на Чернобыльской АЭС). Основные загрязнители территории Республики Беларусь после аварии на ЧАЭС – цезий-137 и стронций-90 – являются β^{-} -активными и распадаются согласно уравнениям (рис. 5.1 и 5.2):

Ядра цезия-137, наряду с бета-частицами, испускают гамма-кванты с энергией 661 кэВ (рис. 5.1). Стронций-иттриевый источник является чистым бета-излучателем; он содержит два компонента с граничными максимальными энергиями 546 кэВ и 2274 кэВ соответственно (рис. 5.2).

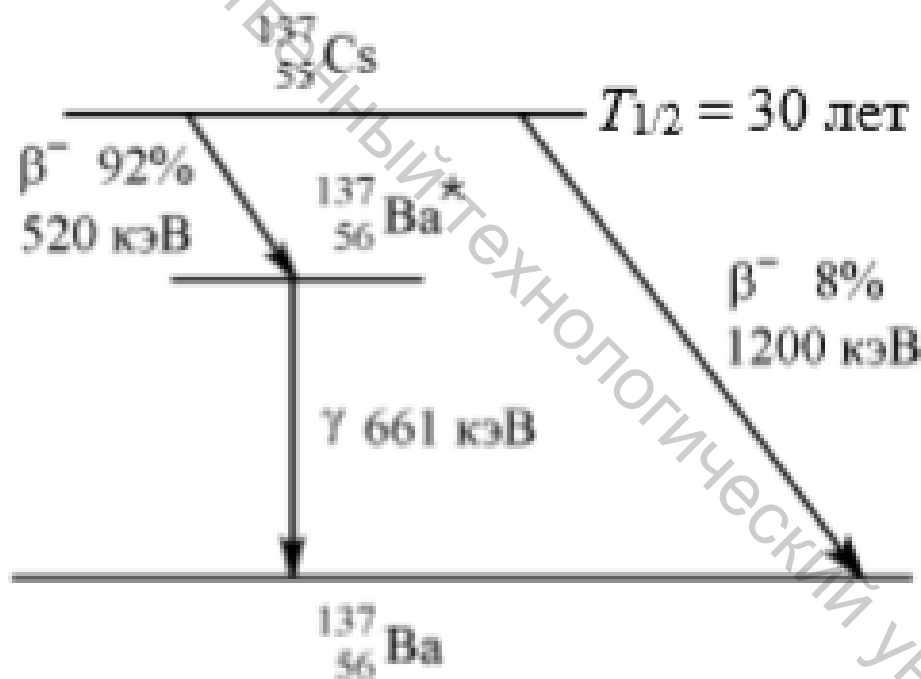


Рисунок 5.1 – Схема распада ядра цезия-137

Период полураспада, т.е. время, в течение которого количество имеющихся радиоактивных ядер уменьшается в два раза, для стронция-90 составляет 28,6 года, для цезия-137 – 30,174 года соответственно. Период полураспада калия-40 составляет $1,28 \cdot 10^9$ лет.

Естественный радиоизотоп калий-40 также является β^{-} -активным и распадается согласно уравнению (рис. 5.3).

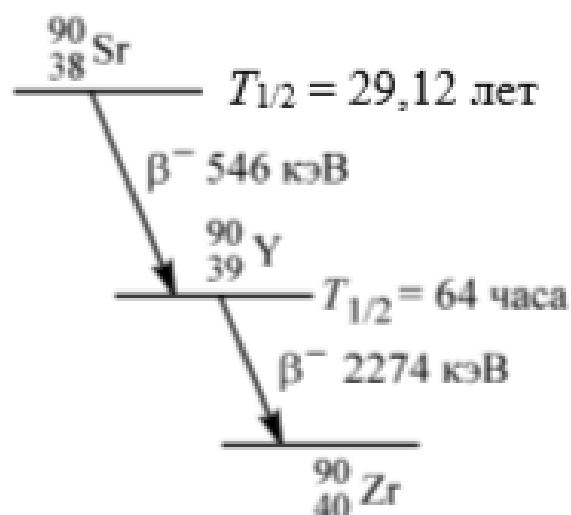


Рисунок 5.2 – Схема распада ядра стронция-90

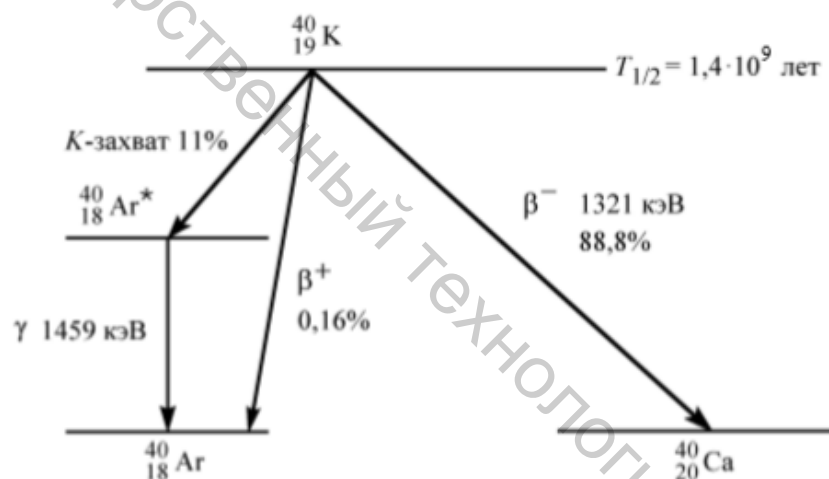


Рисунок 5.3 – Схема распада изотопа калия-40

Бета-радиометрия имеет свои особенности, которые обусловлены непрерывным энергетическим спектром бета-частиц и небольшой длиной пробега в жидких и твердых веществах.

На поверхностях различных строительных материалов с наибольшей вероятностью могут находиться изотопы стронций-90, цезий-137 или калий-40, в результате распада которых образуется поток бета-частиц.

Поток ионизирующих частиц – это отношение числа ионизирующих частиц dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу:

$$F = dN / dt. \quad (5.1)$$

Плотность потока ионизирующих частиц – это отношение потока ионизирующих частиц dF , проникающих в объем элементарной сферы к площади центрального поперечного сечения dS этой сферы:

$$\varphi = dF / dS = d^2N / dt \cdot dS. \quad (5.2)$$

Плотность потока измеряется в частицах на см^2 за минуту ($1/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ или $\text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$), а также в частицах на см^2 за секунду ($1/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ или $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$).

Используемые приборы

Прибор комбинированный «РКС-107»

Прибор комбинированный «РКС-107». Прибор предназначен для индивидуального контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- мощности эквивалентной дозы в точке поля гамма-излучения (далее именуется мощностью полевой эквивалентной дозы);
- плотности потока бета-излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 + иттрия-90;
- удельной активности радионуклида цезий-137 в водных растворах;
- индикации о превышении величиной мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения пороговых значений, равных 0,6 и 1,2 мкЗв/ч.

Технические характеристики:

➤ Диапазон измерений: мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 0,1–999 мкЗв/ч; плотности потока бета-излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 + иттрия-90 – 0,1–999 $1/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$; удельной активности радионуклида цезий-137 – 2–9990 Бк/г.

➤ Диапазон энергии регистрируемого гамма-излучения – 0,0595–1,25 МэВ.

➤ Пределы допускаемых значений основных относительных погрешностей измерений: мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – $\pm 30\%$; плотности потока бета-излучения с поверхности – до 45 %; удельной активности радионуклида цезий-137 – до 35 %.

➤ Время установления рабочего режима прибора не превышает (в начале каждого диапазона измерений): при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – $53 \pm 1,2$ с; при измерениях плотности потока бета-излучения с поверхности – $37 \pm 1,0$ с; при измерениях удельной активности радионуклида цезий-137 – $240 \pm 6,0$ с.

Время установления рабочего режима автоматически уменьшается с увеличением каждой из измеряемых величин. Общий вид прибора «РКС-107» приведен на рисунке 5.4.

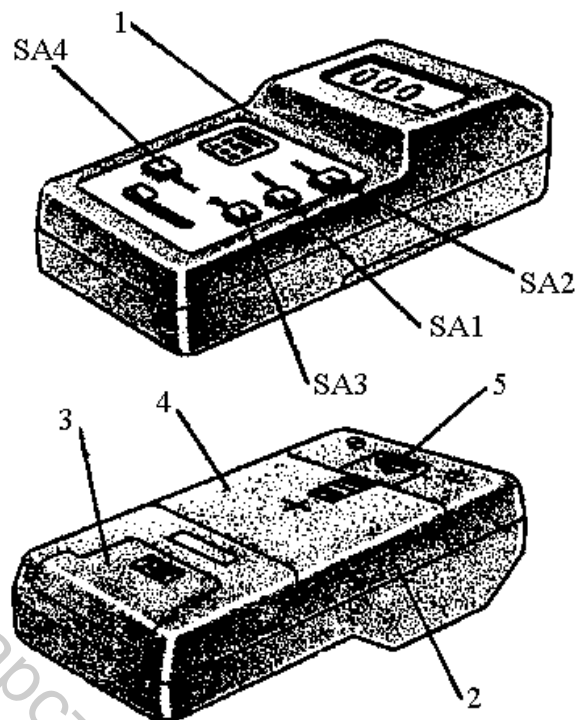


Рисунок 5.4 – Общий вид прибора комбинированного «РКС-107»:

1 – корпус прибора; 2 – крышка прибора; 3 – крышка отсека питания;
4 – съемная крышка-фильтр; SA1 – кнопка переключения режима работы;
SA2 – кнопка запуска измерений; SA3 – кнопка включения питания;
SA4 – кнопка выключения питания

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Подготовка прибора «РКС-107» к работе.

1. Проверьте работоспособность прибора, для чего:
 - нажмите кнопку включения «ВКЛ»; при этом на табло жидкокристаллического индикатора должны появиться символы «000», а указатель режима работы – показать на режим измерения мощности полевой эквивалентной дозы «мкЗв/ч»;

➤ нажмите кнопку «ПУСК»; при этом на табло появится точка между 1-м и 2-м цифровыми символами и начнет пульсировать указатель режима работы.

Примерно через 53 с прибор должен зарегистрировать значение мощности полевой эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения в микрозивертах в час. В момент регистрации измеренной величины раздается кратковременный звуковой сигнал. Указатель режима работы перестает пульсировать, показания устанавливаются до повторного нажатия кнопки пуска или автоматического выключения прибора кнопкой «ВЫКЛ».

Прибор работоспособен, если он регистрирует на табло внешний фон гамма-излучения, символ разряда батареи отсутствует, а прибор автоматически отключается через 20–40 с после окончания измерений;

➤ выключите прибор кнопкой «ВЫКЛ».

2. Аналогично можно проверить работоспособность прибора при других положениях указателя режима его работы – « $1/(с \cdot см^2)$ » и «Бк/г·10». Режим работы выбирается нажатием кнопки «РЕЖИМ». Прибор регистрирует фоновые значения плотности потока бета-излучения и удельной активности. Время измерений будет равным, соответственно, $(37 \pm 1,0)$ с и (240 ± 6) с.

На этом подготовка прибора к работе и проверка его работоспособности заканчивается.

Измерение плотности потока бета-излучения с поверхности с помощью прибора «РКС-107»

1. Включите прибор, нажав кнопку «ВКЛ».

2. Нажмите кнопку «РЕЖИМ» и установите указатель режима работы прибора в положение « $1/(с \cdot см^2)$ » – среднее положение на индикаторе.

3. Не поднося прибор к исследуемой поверхности источника ионизирующего излучения ближе, чем на расстояние 150 см, нажмите кнопку «ПУСК», что сопровождается коротким звуковым сигналом. Указатель режима работы начнет пульсировать, через $(37 \pm 1,0)$ с отсчет прекратится, вновь раздается кратковременный звуковой сигнал. Запишите полученный результат в таблицу 5.2 в строку (φ).

4. Повторите измерения 10 раз и запишите полученные результаты в таблицу 5.2 в строку (φ).

Таблица 5.2 – Результаты измерений

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varphi_{\Phi}, 1/(с \cdot см^2)$										
$\varphi_{\Pi}, 1/(с \cdot см^2)$										

5. Выключите прибор, нажав кнопку «ВЫКЛ».

6. Снимите заднюю крышку-фильтр (поз. 4 на рисунке 5.3). Поднесите прибор к исследуемой поверхности источника ионизирующего излучения на расстояние не далее 1 см от нее. Включите прибор кнопкой «ВКЛ», установите режим «1/(с·см²)», а затем нажмите кнопку «ПУСК». Через (37±1,0) с отсчет прекратится. Запишите полученный результат в таблицу 5.2 в строку (φ).

7. Повторите измерения 10 раз и запишите полученные результаты в таблице 5.2 в строку (φ).

8. Выключите прибор. Установите крышку-фильтр на место.

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

9. Определите загрязненность поверхности источника ионизирующего излучения бета-излучающими радионуклидами, характеризующуюся величиной плотности потока бета-частиц с поверхности, по формуле

$$\varphi = \varphi_{ПСР} - \varphi_{ФСР}, \quad (5.3)$$

где $\varphi_{ПСР}$ – среднее значение плотности потока излучения с поверхности в бета-частицах, 1/(с·см²); $\varphi_{ФСР}$ – среднее фоновое значение плотности потока бета-излучения в бета-частицах, 1/(с·см²).

Чтобы перейти к другим единицам измерения – частицам в минуту с квадратного сантиметра, необходимо полученное значение φ умножить на 60.

По полученным данным сделать вывод: *если величина плотности потока получается отрицательная, следовательно, поверхность не имеет бета-загрязнения.*

Контрольные вопросы:

1. Какую качественную и количественную информацию содержат схемы радиоактивного распада?
2. Какие ядра в процессе бета-распада испускают гамма-кванты?
3. Какое явление называется бета-распадом? Назовите виды бета-распада.
4. Как изменяются массовое число A и заряд Z ядра в процессах электронного (позитронного) распада и K -захвата?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-АКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: *изучить характеристики прибора АНРИ-01-02 «Сосна» и научиться измерять плотность потока бета-излучения с поверхности различных строительных материалов.*

Основные теоретические положения

Загрязнение строительных материалов является следствием использования минерального сырья, содержащего естественные радионуклиды. Каждая тонна гранита содержит в среднем 10 г тория, 5 г урана и 1,3 г радия. Наиболее высокая удельная активность характерна для гранита, туфа, пемзы, меньше активность мрамора, известняка.

Вклад в годовую эквивалентную дозу за счет строительных материалов в среднем для населения Земли составляет 0,1–1,5 мЗв на человека. Наименьшие дозы получает население, проживающее в деревянных домах, – 0,5 мЗв/год, в кирпичных домах – 1,0 мЗв/год и в бетонных – 1,7 мЗв/год.

Используемые приборы

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА»

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА» предназначен для индивидуального использования для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, в том числе:

- измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД);
- измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей;
- оценки объемной активности радионуклидов в веществах.

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Измерение плотности потока бета-излучения с поверхности строительных материалов помощью прибора АНРИ-01-02 «Сосна»

1. Подготовьте прибор к работе, как описано в лабораторной работе 1.
2. Измерение прибором АНРИ-01-02 «Сосна».
3. Переведите переключатель режима работы в положение «МД» и включите прибор.
4. Поднесите прибор плоскостью задней крышки к исследуемой поверхности строительного материала на расстояние 0,5–1 см и кратковременно нажмите кнопку «пуск».
5. Выполните измерение и запишите показание прибора, умноженное на 1000, в таблицу 6.1 в строку N_γ .
6. Повторите измерения 10 раз и запишите показания прибора, умноженные на 1000, в таблицу 3.2 в строку N_γ .
7. Откройте заднюю крышку прибора, повернув фиксатор.
8. Выполните измерение с открытой задней крышкой аналогично п. 4. Запишите показания прибора, умноженное на 1000, в таблицу 6.1 в строку $N_\gamma + \beta$.
9. Повторите измерения 10 раз и запишите показания прибора в таблицу 3.2 в строку $N_\gamma + \beta$.
10. Закройте заднюю крышку прибора, выключите прибор.

Таблица 6.1 – Результаты измерений

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Материал № 1									
N_γ , имп.										
$N_\gamma + \beta$, имп.										
	Материал № 2									
N_γ , имп.										
$N_\gamma + \beta$, имп.										
	Материал № 3									
N_γ , имп.										
$N_\gamma + \beta$, имп.										

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

11. Величину плотности потока бета-излучения с поверхности вычислите по формуле:

$$\varphi = K_S(N_{\gamma+\beta} - N_{\gamma}), \text{ част/см}^2 \cdot \text{мин}, \quad (6.1)$$

где N_{γ} – показание прибора с закрытой задней крышкой без учета запятой на табло; импульсов; $N_{\gamma+\beta}$ – показание прибора с открытой задней крышкой без учета запятой на табло; импульсов; K_S – коэффициент счета прибора; част/(см²мин·импульс). Коэффициент K_S для прибора составляет 0.5 част/(см²мин·импульс).

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, частиц/см²·мин представлены в приложении В.

По полученным данным сделать вывод: *если величина плотности потока получается отрицательная, следовательно, поверхность не имеет бета-загрязнения.*

Контрольные вопросы:

1. Состав дозиметра-радиометра бытового АНРИ-01-02 «СОСНА».
2. Какие виды β -излучений вы знаете?
3. Что такое период полураспада?
4. Что такое плотность потока частиц (гамма-квантов)?
3. Единицы измерения плотности потока частиц (гамма-квантов)?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: *изучить характеристики прибора «РКСБ-104», ознакомиться с вредными излучениями и полями монитора компьютера, научиться определять поглощающую способность защитного экрана монитора компьютера.*

Основные теоретические положения

При работе на ПЭВМ человек подвергается вредному воздействию различных излучений и полей.

К числу вредных факторов, с которыми сталкивается человек, работающий за монитором, относится электромагнитное излучение, а также электростатическое поле. Допустимые нормы для этих параметров представлены в таблице 7.1.

На самом деле для пользователя реальную угрозу представляют электромагнитные поля, излучаемые персональными компьютерами. С физической точки зрения ткани человека – парамагнитный материал: то есть они способны «намагничиваться», воспринимать магнитные поля. Медицинские исследования показывают, что воздействие таких полей вызывает изменение обмена веществ на клеточном уровне. Переменные электромагнитные поля вызывают колебания ионов в человеческом организме, что тоже имеет определенные последствия.

Мониторы компьютеров также создают электростатическое поле. Сильное электростатическое поле не безобидно для человеческого организма. Правда, на расстоянии 50–60 см от экрана его влияние значительно убывает. Применение же специальных фильтров, прикрывающих экран, вообще позволяет свести его к нулю. Стоит обратить внимание еще и на то, что при работе монитора электризуется не только его экран, но и воздух в помещении. Причем он приобретает положительный заряд. Положительно наэлектризованная молекула кислорода не воспринимается организмом как кислород, что вызывает у пользователя кислородное голодание.

Также заряженные микрочастицы способны адсорбировать пылевые частицы из воздуха, тем самым, препятствуя их оседанию и повышая дополнительный риск аллергических заболеваний кожи, глаз и верхних дыхательных путей.

Видеодисплейные терминалы, построенные на базе электронно-лучевой трубки, имеют повышенные уровни рентгеновского излучения.

Таблица 7.1 – Допустимые значения параметров излучений, генерируемых видеомониторами

Параметры	Допустимые значения
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на расстоянии 0,05 м вокруг видеомонитора	100 мкР/час
Электромагнитное излучение на расстоянии 0,5 м вокруг видеомонитора по электрической составляющей:	
в диапазоне 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
в диапазоне 2 – 400 кГц	2,5 В/м
по магнитной составляющей:	250 нТл
в диапазоне 5 Гц – 2 кГц	
в диапазоне 2 – 400 кГц	25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал	не более 500 В

Рентгеновское излучение, которое по свойствам напоминает гамма-радиацию, возникающее при торможении электронов, характерно для любого кинескопа – и телевизионного, и компьютерного, однако в современных кинескопах применяются настолько эффективные меры по снижению рентгеновского излучения, что оно практически не обнаруживается на фоне естественного радиационного фона Земли. Рентгеновское излучение от современных видеомониторов не опасно для большинства пользователей. Исключение составляют люди с повышенной чувствительностью к нему (в частности, рентгеновские излучения от монитора опасны для беременных женщин, поскольку могут оказать неблагоприятное воздействие на плод на ранних стадиях развития).

Источники ионизирующих излучений (ИИ) – радионуклиды – находят применение для контроля качества технических операций, обнаружения эксплуатационных дефектов. Основные сведения по этому направлению иллюстрируются таблице 7.2.

Эффективным способом защиты является **экранирование**. Использование защитных экранов позволяет человеку находиться и даже длительно работать вблизи источника радиации, оставаясь в безопасности. Используют поглотители такой толщины, которые позволяют ослабить излучение до безопасного уровня. Защитные свойства материалов определяются коэффициентом ослабления. Слой половинного ослабления, т.е. толщина вещества, которое ослабляет радиацию в 2 раза, для фотонов с энергией 1 МэВ составляет для свинца 1,3 см, для бетона – 13 см.

Таблица 7.2 – Область технического применения радионуклидов (ГОСТ 12.4.120-93)

Область применения радионуклидов	Оборудование с источниками ионизирующих излучений	Вид и энергия E ионизирующего излучения	Основные средства защиты
Дефектоскопия	Гамма-дефектоскопия, радионуклиды: Co^{60} ; Cs^{137}	γ -излучение ($E = 0,03... 1,25$ МэВ)	Стационарные экраны, передвижные экраны, защитные кабины, ширмы
Контроль технологических процессов	Радиоизотопные приборы с Sr^{90} ; Cs^{137} ; Ir^{192}	γ -излучение ($E = 0,03... 1,25$ МэВ), β -излучение ($E = 0,2 ... 2$ МэВ). Нейтроны ($E = 3...10$ МэВ)	Стационарные и передвижные экраны, контейнеры для транспортировки и хранения радиоизотопов, инструменты для дистанционной зарядки блоков радиоизотопных приборов
Изучение износа инструментов	Источник излучения: Co^{60} ; Co^{56} ; Co^{55} ; Zn^{65} ; Fe^{55} ; Mn^{59}	γ -излучение ($E = 0,02... 1,25$ МэВ), β -излучение ($E = 0,2 ... 2$ МэВ)	Защитные боксы, вытяжные шкафы. Контейнеры для хранения и транспортировки радиоактивных веществ

Экраны, применяемые для защиты от α - и β -излучения, изготавливают из органического стекла толщиной 20–30 мм. При зарядке γ -дефектоскопов защиту работающих от ионизирующих излучений обеспечивает экран из углеродистой стали толщиной не менее 30 мм, покрытый химически стойкой эмалью; смотровое окно закрыто свинцовым стеклом толщиной 50 мм. Стационарные защитные сооружения выполняют из следующих материалов (удельный вес ρ):

1. Свинец ($\rho = 11,3$ г/см³) применяют для изготовления защитных устройств γ -дефектоскопов, защитных контейнеров, дверей, ширм. Свинец применяют в виде листов, полос, параллелепипедов кирпичей. Листовой свинец применяют для усиления защиты уже готовых устройств.

2. Свинцовое стекло ($\rho = 3,4–4,6$ г/см³) толщиной tc обеспечивает защиту, создаваемую листовым свинцом толщиной $tc / 4$.

3. Железо ($\rho = 7,8$ г/см³), сталь ($\rho = 7,5–10$ г/см³), чугун ($\rho = 7,2$ г/см³) используют в основном как конструктивный материал в случаях востребованной повышенной прочности устройства.

4. Вольфрам ($\rho = 16,5–19,3$ г/см³) применяют в виде порошка, спекаемого с медью, никелем для изготовления защитных радиационных головок γ -дефектоскопов.

5. Барит (минерал на основе $BaSO_4$) применяют в виде баритобетона или штукатурки для создания компактных защитных сооружений.

Используемые приборы

Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений «РКСБ-104» предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения;
- плотности потока бета-излучения с поверхности;
- удельной активности бета-излучающих радионуклидов в веществах;
- звуковой сигнализации при превышении порогового значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, установленного потребителем.

Общий вид прибора «РКСБ-104» приведен на рисунке 7.1. Основные технические данные и характеристики приведены в работе 3.

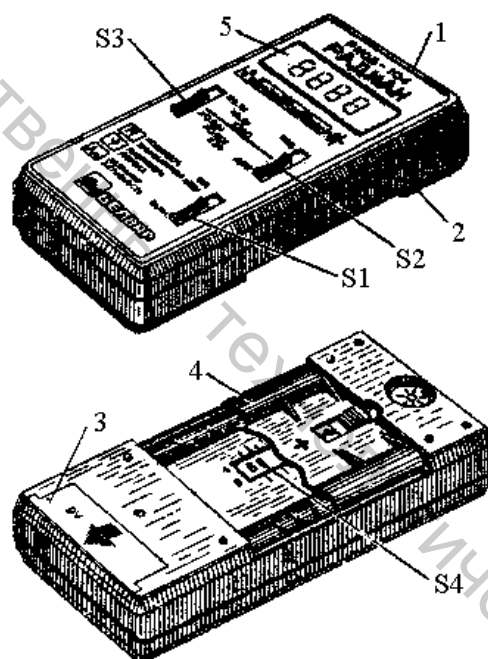


Рисунок 7.1 – Общий вид прибора «РКСБ-104»: 1 – корпус; 2 – задняя крышка; 3 – съемная крышка отсека питания; 4 – крышка-фильтр; 5 – жидкокристаллический индикатор; S1 – выключатель питания; S2 – переключатель режима работы прибора; S3 – тумблер переключения поддиапазонов; S4 – кодовый переключатель рода работ

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.

3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Определение поглощающей способности защитного экрана источника ионизирующего излучения

1. Подготовить прибор к работе (подробно рассмотрено в лабораторной работе 3).
2. Снять заднюю крышку-фильтр (поз. 4 рисунок 7.1). Для этого необходимо сместить вниз запирающую защелку (поз. 5 рисунок 7.1) и, подав на себя верхнюю часть крышки-фильтра, извлечь ее **осторожным** движением вверх.
3. Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом:
S4.1, S4.4, S4.6, S4.8 в положение «0»;
S4.2, S4.3, S4.5, S4.7 в положение «1», как показано на рисунке 7.2.

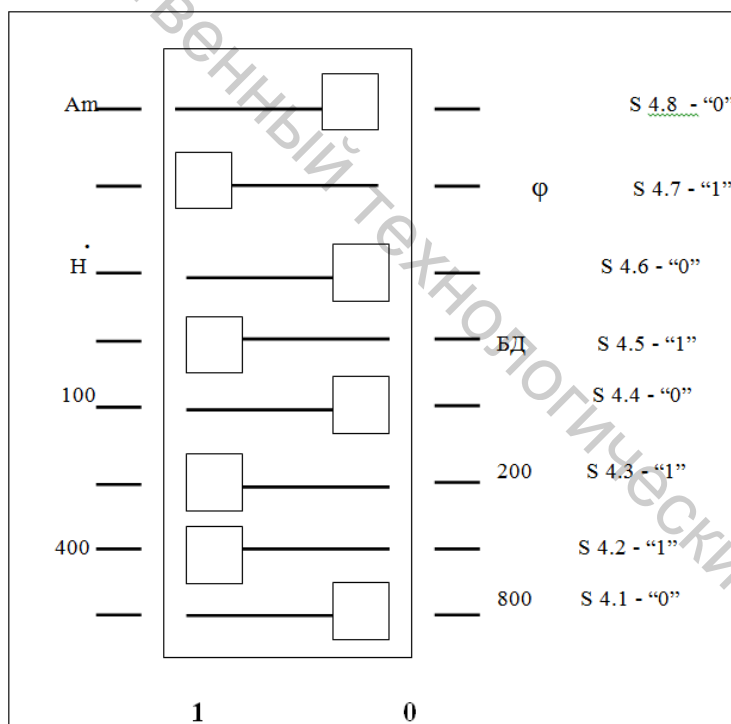


Рисунок 7.2 – Положение движков кодового переключателя

4. Установить на место крышку-фильтр.
5. Перевести органы управления прибора тумблера S2 и S3 в верхнее положение («MESS» для S2 и « $\times 0,01$
 $\times 0,01$
 $\times 200$ » для S3)

6. Удалить прибор от исследуемой поверхности экрана монитора на расстояние 110–120 см.

7. Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»), при этом прибор должен начать регистрировать фоновое значение (φ_{Φ}), которое будет получено через 18 секунд.

8. Время индикации установившегося значения около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 7.3 в строку «Фоновое значение φ_{Φ} ».

9. После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 10 результатов и занести их в таблицу 7.3 в строку «Фоновое значение φ_{Φ} ».

Таблица 7.3 – Результаты измерений

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Фоновое значение φ_{Φ}										
Значения со снятой крышкой-фильтром без защитного экрана, $\varphi_{\text{ПБЗЭ}}$										
Значения со снятой крышкой-фильтром с защитного экрана 1, $\varphi_{\text{П1}}$										
Значения со снятой крышкой-фильтром с защитного экрана 2, $\varphi_{\text{П2}}$										

10. Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

11. Снять защитный экран с источника ионизирующего излучения.

12. Поместить прибор над исследуемой поверхностью источника ионизирующего излучения (задней стороной к поверхности) на расстояние 0,5–1 см.

13. Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»), при этом прибор должен начать регистрировать значение ($\varphi_{\text{ПБЗЭ}}$), которое будет получено через 18 секунд.

14. Время индикации установившегося значения около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 7.3 в строку «Значения со снятой крышкой-фильтром без защитного экрана, $\varphi_{\text{ПБЗЭ}}$ ».

15. После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 10 результатов и занести их в таблицу 7.3 в строку «Значения со снятой крышкой-фильтром без защитного экрана, $\varphi_{\text{ПБЗЭ}}$ ».

16. Выключить прибор, для чего перевести тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

17. Снять заднюю крышку-фильтр (4) прибора. Для этого необходимо сместить вниз запирающую защелку (5) и, подав на себя верхнюю часть крышки-фильтра, извлечь ее *осторожным* движением вверх.

18. Поместить прибор над исследуемой поверхностью защитного экрана источника ионизирующего излучения (задней стороной к поверхности) на расстоянии 0,5–1 см.

19. Перевести тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»), при этом прибор должен начать регистрировать значение ($\varphi_{П1}$), которое будет получено через 18 секунд.

20. Время индикации установившегося значения около 14 секунд, за это время необходимо занести полученный результат в таблицу 7.3 в строку «Значения со снятой крышкой-фильтром с защитного экрана 1, $\varphi_{П1}$ ».

21. После прекращения звукового сигнала прибор автоматически повторяет измерение, получить 10 результатов и занести их в таблицу 7.3 в строку «Значения со снятой крышкой-фильтром с защитного экрана 1, $\varphi_{П1}$ ».

22. Сменить защитный экран.

23. Повторить п.п. 16–18 для защитного экрана 2.

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

24. Определить величину плотности потока бета-излучения с поверхности источника ионизирующего излучения и поверхности защитных экранов по формулам

$$\varphi_{БЗЭ} = K_1 \cdot (\varphi_{ПБЗЭ}^{CP} - \varphi_{Ф}^{CP}), \quad (7.1)$$

$$\varphi_{ЗЭ1} = K_1 \cdot (\varphi_{П1}^{CP} - \varphi_{Ф}^{CP}), \quad (7.2)$$

$$\varphi_{ЗЭ2} = K_1 \cdot (\varphi_{П2}^{CP} - \varphi_{Ф}^{CP}), \quad (7.3)$$

где $\varphi_{БЗЭ}$, $\varphi_{ЗЭ1}$, $\varphi_{ЗЭ2}$ – плотности потока бета-излучения с поверхности источника ионизирующего излучения и защитных экранов 1 и 2 соответственно, 1/с·см²; $\varphi_{Ф}^{CP}$ – среднее фоновое значение, 1/с·см²; $\varphi_{ПБЗЭ}^{CP}$, $\varphi_{П1}^{CP}$, $\varphi_{П2}^{CP}$ – средние значения при измерениях со снятой крышкой-фильтром, 1/с·см²; K_1 – пересчетный коэффициент прибора, указанный на лицевой панели и равный 0,01.

Чтобы перейти к другим единицам измерения – частицам в минуту с квадратного сантиметра, необходимо полученное значение φ умножить на 60.

ПРИМЕР: показание прибора с закрытой крышкой – 18 (значащая часть числа 0018), показание прибора со снятой крышкой – 243 (значащая часть числа 0243). Результат измерения плотности потока бета-излучения: $\varphi = 0,01 \times (243 - 18) \times 60 = 135$ β -частиц/(см²·мин).

25. Определить поглощающую способность защитных экранов источника ионизирующего излучения PS по формулам:

$$PS_1 = \varphi_{3Э1} / \varphi_{БЭЭ} , \quad (7.4)$$

$$PS_2 = \varphi_{3Э2} / \varphi_{БЭЭ} . \quad (7.5)$$

Контрольные вопросы:

1. Что такое поглощающая способность?
2. Состав прибора РКСБ-104.
3. Что такое постоянная распада и какова ее связь с периодом полураспада?
4. Что такое поток ионизирующих излучений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЁМНОЙ И УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В ЖИДКИХ ПРОБАХ

Цель работы: *изучить характеристики дозиметрических приборов РКСБ-104 и РКС-107, а также научиться с их помощью измерять удельную активность в пробах различных веществ.*

Основные теоретические положения

Источниками внешнего облучения человека являются космическое излучение и естественные радионуклиды, содержащиеся в почве, воде и воздухе, а также рентгенодиагностические процедуры, цветные телевизоры и полеты на самолетах на больших высотах. Хотя вклад двух последних факторов и невелик.

Уровни облучения населения за счет глобальных выпадений продуктов ядерных взрывов в настоящее время существенно снизились по сравнению с годами максимальных выпадений в 1963–1966 годах.

Природные радиоактивные элементы содержатся в строительных материалах, особенно в бетонных конструкциях. Плохая вентиляция, особенно в домах с плотно закрывающимися окнами, может увеличить дозу облучения, обусловленную вдыханием радиоактивных аэрозолей за счет распада газа радона, который образуется в свою очередь при естественном распаде радия, содержащегося в почве и строительных материалах. Использование в сельском хозяйстве фосфорных удобрений, содержащих естественные радионуклиды рядов урана и тория, является дополнительным фактором облучения организма человека. Эти радионуклиды накапливаются в почве, затем с пылью и продуктами питания попадают в организм. Могут выбрасывать в атмосферу радиоактивную золу тепловые электростанции. Облучение зависит от исходного сырья, условий его сгорания, эффективности золоулавливающих систем. Человек может получать некоторую дозу за счет газо-аэрозольных выбросов атомных электростанций и оседания на почву техногенных радионуклидов.

Выпадающие на поверхность почвы радионуклиды на протяжении многих лет остаются в ее верхних слоях. Если почвы бедны такими минеральными компонентами, как кальций, калий, натрий, фосфор, то связываются благоприятные условия для миграции радионуклидов в самих почвах и по цепи почва – растение. В черноземных почвах подвижность радионуклидов крайне затруднена.

Аккумулятором радионуклидов является лес, особенно хвойный, который содержит в 5–7 раз больше радионуклидов, чем другие природные ценозы. При пожарах сконцентрированные в лесной подстилке, коре древесины радионуклиды поднимаются с дымовыми частицами в воздух и попадают в тропосферу и даже стратосферу. Радиоактивному облучению, таким образом, подвергается население на значительных территориях.

Мало радиоактивных веществ поступает в рацион с пищевыми продуктами морского происхождения, так как из-за высокой минерализации морской воды продукты моря очень слабо загрязнены стронцием и цезием. Свободны от загрязнения радионуклидами глобальных выпадений артезианские и многие грунтовые воды благодаря изоляции от поверхности земли. А вот воды подземных водоемов, талые, дождевые воды могут служить источником поступления некоторых радионуклидов в организм человека.

Исследования показали, что с вдыхаемым атмосферным воздухом человек может получать 1–2 % радионуклидов от их общего количества, поступающих с пищей и водой.

Хлебопродукты являются ведущим поставщиком радионуклидов в организм – от одной трети до половины их общего поступления. На втором месте по значимости стоит молоко, на третьем – картофель, овощи и фрукты, затем мясо и рыба. Например, накопление радионуклидов у рыб разных пород даже в одном и том же водоеме может различаться в 2–3 раза. Для хищных рыб (щука, окунь и др.) характерны минимальные показатели и накопления стронция-90 и максимальные цезия-137. Растительные рыбы (каarp, карась и др.) наоборот накапливают стронция больше, а цезия в несколько раз меньше, чем хищники.

На накопление радионуклидов в тканях рыб влияет тепловое загрязнение водоемов. Размещение рыбохозяйственных комплексов у мест удаления тепловых вод теплоэлектростанций и особенно АЭС способствует также более интенсивному усвоению и накоплению в тканях рыб находящихся в воде радионуклидов. Согласно данным, полученным в условиях лабораторных экспериментов, установлено, что уровни накопления цезия-137 в тканях карпа, обитавшего в воде с температурой 25 °С, вдвое выше, чем при обитании этой рыбы в воде с температурой 12–15 °С.

Используемые приборы

Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений «РКСБ-104»

Прибор «РКСБ-104» предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- Мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения.
- Плотности потока бета-излучения с поверхности.
- Удельной активности бета-излучающих радионуклидов в веществах.

Технические характеристики прибора приведены в лабораторной работе 3.

Прибор комбинированный «РКС-107»

Прибор комбинированный «РКС-107». Прибор предназначен для индивидуального контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможность измерения:

- мощности эквивалентной дозы в точке поля гамма-излучения (далее именуется мощностью полевой эквивалентной дозы);
 - плотности потока бета-излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами стронция-90 + иттрия-90;
 - удельной активности радионуклида цезий-137 в водных растворах;
 - индикации о превышении величиной мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения пороговых значений, равных 0,6 и 1,2 мкЗв/ч.
- Технические характеристики прибора приведены в лабораторной работе 5.

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Измерение удельной активности бета-излучающих радионуклидов в пробах различных веществ с помощью прибора РКСБ-104

1. Снять заднюю крышку-фильтр прибора. Для этого необходимо сместить вниз запирающую защелку и, подав на себя верхнюю часть крышки-фильтра, извлечь ее **осторожным** движением вверх.
2. Установить движки кодового переключателя S4 следующим образом:
S4.1, S4.3, S4.6, S4.7 в положение «0»;
S4.2, S4.4, S4.5, S4.8 в положение «1», как показано на рисунке 8.1.
3. Перевести органы управления прибора тумблера S2 в верхнее положение («MESS»), а тумблер S3 в нижнее положение (« $\times 0.001$
 $\times 0.001$
 $\times 20$ »).
4. Заполните измерительную кювету (половину упаковки, в которую вкладывается прибор) чистой в радиационном отношении водой до метки буртика внутри кюветы.
5. Установите прибор на кювету, как показано на рисунке 8.2.

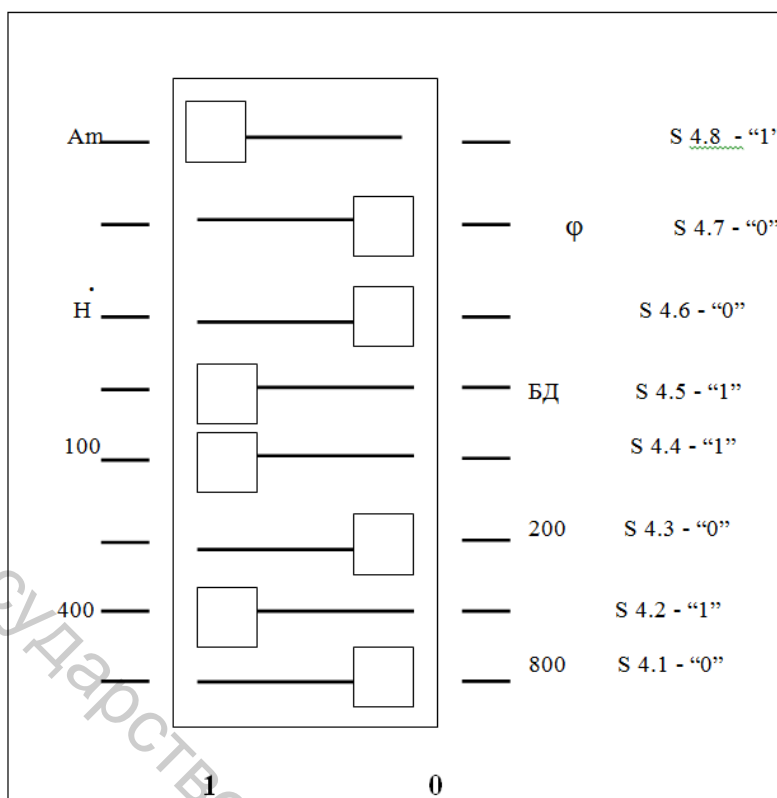


Рисунок 8.1 – Положение движков кодового переключателя

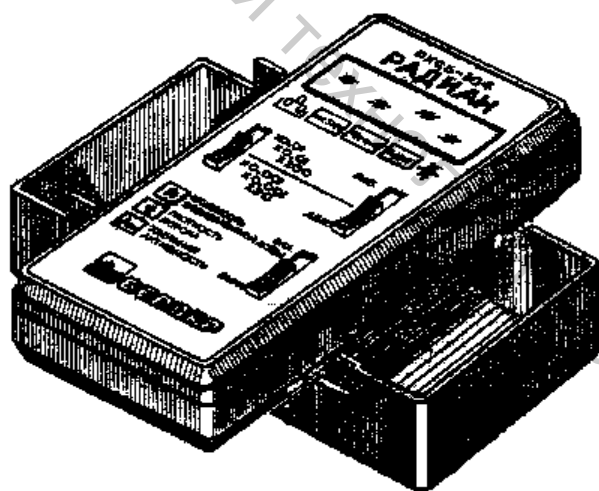


Рисунок 8.2 – Положение прибора РКСБ-104 при измерении удельной активности

6. Включите прибор, для чего переведите тумблер S1 (красного цвета) в верхнее положение («EIN»).

7. После остановки подсчета импульсов, примерно через 400 секунд, записать полученный результат в строку « A_ϕ » в таблице 8.1.

8. После снятия показания произведите кратковременное выключение и новое включение прибора тумблером S1.

9. Повторите измерение 5 раз. Результаты занесите в строку « A_Φ » таблицы 8.1.

10. Вылейте воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым твердым веществом или раствором до той же метки.

11. Вновь установите прибор на кювету и повторите измерения 5 раз. Результаты занесите в строку « A_Π » таблицы 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты измерений

№ п/п	1	2	3	4	5
A_Φ					
A_Π					

12. Выключите прибор, для чего переведите тумблер S1 (красного цвета) в нижнее положение («AUS»).

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

13. Рассчитайте величину удельной активности Am бета-излучающих радионуклидов в пробе (в беккерелях на килограмм) по формуле

$$Am = K_2 \cdot (A_{\Pi}^{CP} - A_{\Phi}^{CP}), \quad (8.1)$$

где K_2 – пересчетный коэффициент, указанный на лицевой панели прибора и равный 20, применяется при содержании в пробе радиоактивного цезия-137. Если проба содержит изотопы калия-40, то $K_2 = 5.85$.

14. Для получения значений удельной активности в кюри на килограмм полученный результат Am надо умножить на $2,7 \cdot 10^{-11}$.

15. Рассчитать долю распадающихся за 1 секунду ядер калия-40 (порядок проведения расчета смотри в работе 4).

Измерение удельной активности бета-излучающих радионуклидов в водных растворах с помощью прибора РКС-107

1. Снимите заднюю крышку-фильтр.

2. Заполните измерительную кювету (половину упаковки прибора) заведомо чистой в радиационном отношении водой до метки – буртика внутри кюветы; установите прибор на кювету, как это показано на рисунке 8.3.

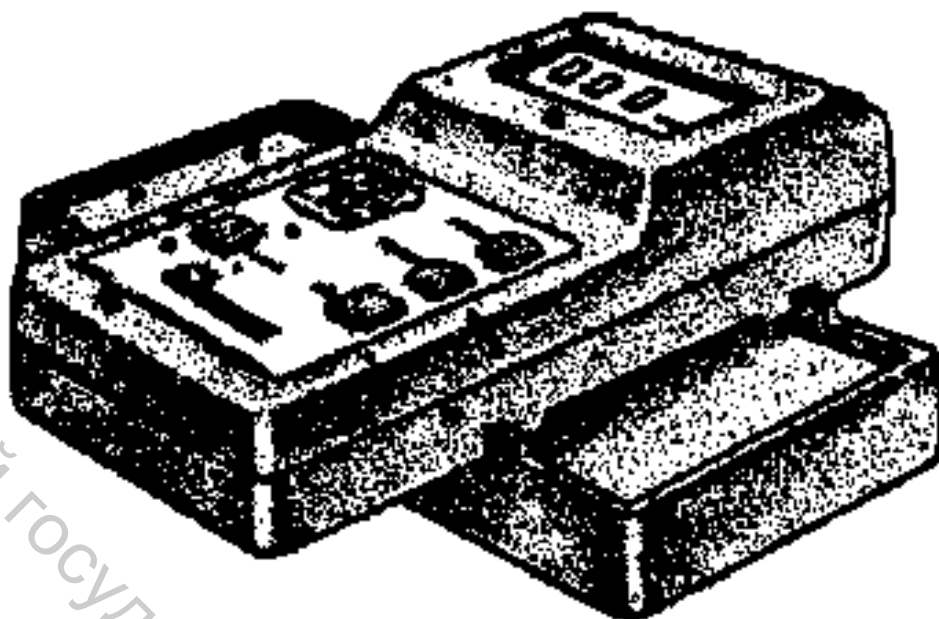


Рисунок 8.3 – Положение прибора РКС-107 при измерении удельной активности

3. Включите прибор кнопкой «ВКЛ». Нажмите кнопку «РЕЖИМ», установите указатель режима работы прибора в положение «Бк/г х 10» – нижнее положение на индикаторе.

4. Нажмите кнопку «ПУСК». Через $(240 \pm 6,0)$ с снимите отсчет фонового показания прибора и запишите результат, умноженный на 10, в таблицу 8.2 в строку A_{ϕ} .

5. Повторите измерения 5 раз, запишите результаты, умноженные на 10, в таблицу 8.2 в строку A_{ϕ} .

6. Выключите прибор и снимите его с кюветы.

7. Вылейте воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым водным раствором до той же метки.

8. Вновь установите прибор на кювету, включите в режим «Бк/г х 10», нажатием кнопок «ВКЛ», «РЕЖИМ» – дважды и «ПУСК». Через $(240 \pm 6,0)$ с снимите отсчет показания прибора и запишите результат, умноженный на 10, в таблицу 8.2 в строку A_{Π} .

9. Повторите измерения исследуемой пробы 5 раз, запишите результаты, умноженные на 10, в таблицу 8.2 в строку A_{Π} .

10. Выключите прибор и снимите его с кюветы.

Таблица 8.2 – Результаты измерений

№ п/п	1	2	3	4	5
A_{ϕ}					
A_{Π}					

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

11. По формуле рассчитайте величину удельной активности бета-излучающих радионуклидов в водном растворе (A) в беккерелях на грамм:

$$A = (A^{CP}_{\Pi} - A^{CP}_{\Phi}) / 3,42, \quad (8.2)$$

где A^{CP}_{Π} — среднее значение, полученное при измерении пробы (Бк/г); A^{CP}_{Φ} — среднее фоновое значение (Бк/г); 3,42 — константа, которая применяется при определении удельной активности соединений калия (если исследуются соединения цезия, то константа принимается равной 1).

Чтобы получить результат в Бк/кг, необходимо полученное число умножить на 1000, чтобы получить результат в Ки/кг, надо умножить на $2,7 \cdot 10^{-11}$.

12. Снимите прибор с кюветы, выключите и установите крышку-фильтр на прежнее место.

Контрольные вопросы:

1. Состав прибора РКС-107.
2. Что такое естественная радиоактивность?
3. Единицы измерения объемной активности?
4. Каков порядок измерения удельной объемной активности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ ПРОБЕГА АЛЬФА-ЧАСТИЦ В ВОЗДУХЕ

Цель работы: изучить характеристики дозиметрического прибора МКС-АТ1117М, научиться с его помощью измерять плотность потока и длину пробега альфа-частиц в воздухе.

Основные теоретические положения

Радияция – излучение (от «radiare» – испускать лучи) – распространение энергии в форме волн или частиц.

Радиоактивное превращение атомного ядра, сопровождающееся вылетом из него альфа-частицы, называют альфа-распадом. Альфа-частицы представляют собой ядра атомов гелия. Зарядовое число Z распадающегося ядра A_ZX при альфа-распаде уменьшается на две единицы, массовое число A – на четыре единицы. Из ядра вылетает альфа-частица (два протона и два нейтрона). В результате аварии на Чернобыльской АЭС в природной среде на значительных территориях рассеяны искусственные долгоживущие альфа-излучатели Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, а также выброшенные при взрыве природные радионуклиды U-235, U-238 и альфа-активные члены их радиоактивных семейств.

Альфа-частицы обладают высокой ионизирующей способностью и наименьшей проникающей способностью. Проходя через вещество, альфа-частицы расходуют свою энергию на ионизацию, возбуждение атомов и молекул, диссоциацию молекул и тормозятся. Длина пробега альфа-частицы зависит от её энергии и природы поглотителя. Например, альфа-частица с энергией 6 МэВ пробегает в стекле – 40 мкм, в алюминии – 28,8 мкм, в биологической ткани – 46,8 мкм, в воздухе при нормальных условиях – 4,37 см. Максимальный пробег альфа-частиц с энергией 10 МэВ составляет более 10,2 см. В воздухе длина пробега альфа-частиц существенно зависит от его давления и температуры. В воздухе при нормальных условиях среднюю длину пробега альфа-частиц с энергией 3,0–7,0 МэВ можно найти по эмпирической формуле:

$$R_{\alpha} = 0,318 \cdot E_{\alpha}^{2/3}, \quad (9.1)$$

где R_{α} – средняя длина пробега альфа-частицы, см; E_{α} – энергия альфа-частицы, МэВ.

Поток ионизирующих частиц – отношение числа ионизирующих частиц dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу:

$$F = dN/dt, \quad (9.2)$$

Плотность потока ионизирующих частиц (γ -квантов) выражается числом частиц (γ -квантов) в единицу времени (dF), падающих на единицу поверхности, перпендикулярной потоку частиц (dS):

$$\varphi = \frac{dF}{dS} = \frac{d^2N}{dt dS}. \quad (9.3)$$

Единицы измерения плотности потока: $\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}$, $\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$.

Используемые приборы

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М состоит из блока обработки информации (БОИ) и блока детектирования (БД) БДПС-02. В блоке детектирования БДПС-02 используются газоразрядные счётчики. Алгоритм работы обеспечивает непрерывность процесса измерения, вычисление «скользящих» средних значений и оперативное представление получаемой информации на табло, быструю адаптацию к изменению уровней радиации. Конструктивно прибор выполнен в виде отдельных функционально законченных БД и БОИ.

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М предназначен для измерения:

- экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения;
- плотности потока альфа-частиц ^{239}Pu ;
- плотности потока бета-частиц;
- поверхностной активности ^{239}Pu и $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$;
- оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов.

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять приборы без присмотра.
2. Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.
3. Самостоятельно устранять неисправность приборов.
4. Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Подготовка прибора к работе:

1. Проверить состояние соединений блока обработки информации (БОИ) с блоком детектирования БДПА-01.

2. Подключить прибор к электрической сети переменного тока напряжением 220 В. На передней панели БОИ появится индикация «ЗАРЯД».

3. Включить прибор (кнопка «ПУСК»). Прибор переходит в режим самоконтроля и на табло индицируется тестовое изображение. После завершения самоконтроля на табло индицируется режим «1» и прибор переходит в режим измерения плотности потока альфа-частиц. При обнаружении ошибки в ходе тестирования прибор выдает прерывистый звуковой сигнал, а на табло индикатора – мигающее сообщение «Err XX», и дальнейшая работа с прибором невозможна.

4. Для перехода из режима «1» в другие режимы в течение 5–10 с удерживайте нажатой кнопку «ПАМЯТЬ. РЕЖИМ», на табло появится индикация «2», отпустите кнопку и индикация «2» исчезнет, прибор будет работать в этом режиме.

5. Для возвращения из любого режима в «1» в течение 5–10 с удерживайте нажатой кнопку «ПАМЯТЬ. РЕЖИМ», появится индикация «1», отпустите кнопку и прибор будет работать в «1» режиме.

6. Измерение плотности потока альфа-излучения производить только с вычитанием фона. При включении прибора на табло индицируется значение фона, единица измерения плотности потока ($\text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$) и значение статистической погрешности.

Проведение измерений плотности потока альфа-частиц

7. Измерить фон, для чего нажать кнопку «ПУСК» и в течение 10–15 мин провести измерения. При достижении статистической погрешности, равной 20 %, завершить набор фона. Занести полученные значения в память прибора, для чего выполнить одно из следующих действий:

- удерживать нажатой в течение 1–2 с кнопку «ПУСК» – при этом измерение останавливается и на табло перед значащими цифрами появляется индикация «■»;

- нажать кнопку «ПАМЯТЬ. РЕЖИМ» – запоминается значение фона.

8. Перейти в режим измерения с вычитанием фона. Для этого в течение 1–2 с удерживать нажатой кнопку «ПУСК», после чего появится мигающая индикация «■» – начинается процесс измерения.

9. Для измерения плотности потока альфа-частиц установите источник альфа-излучения вплотную к входному окну БДПА, нажмите кнопку «ПУСК» и при достижении статистической погрешности, равной 20 %, записать результат, высветившийся на табло, в таблицу 8.1.

10. Повторить измерения 4 раза, увеличивая с шагом 1–1,5 см расстояние 1 между источником и блоком детектирования до 9–10 см. Результаты записать в таблицу 9.1.

После проведения измерений выключите прибор. Выключение осуществляется быстрым трехкратным нажатием кнопки «ПУСК». При этом на табло появляется сообщение «OFF» и через 1–2 с прибор выключается.

Таблица 9.1 – Результаты измерений

№ п/п	$l, \text{см}$	φ , $1/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$	ε , %	$R_{\text{СРЕД}}$, см	$R_{\text{МАКС}}$, см	$R_{\text{ТАБЛ}}$, см	$E\alpha_{\text{ТАБЛ}}$, МэВ	$E\alpha$, МэВ
1								
2								
3								
4								
5								

Статистическая обработка результатов

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому необходимо провести статистическую обработку полученных результатов (см. раздел «Статистическая обработка данных»).

11. Исходя из экспериментальных данных постройте зависимость поглощения альфа-частиц в воздухе $\varphi=f(l)$ (рис. 9.1). Определите из графика среднюю и максимальную длину пробега альфа-частиц в воздухе.

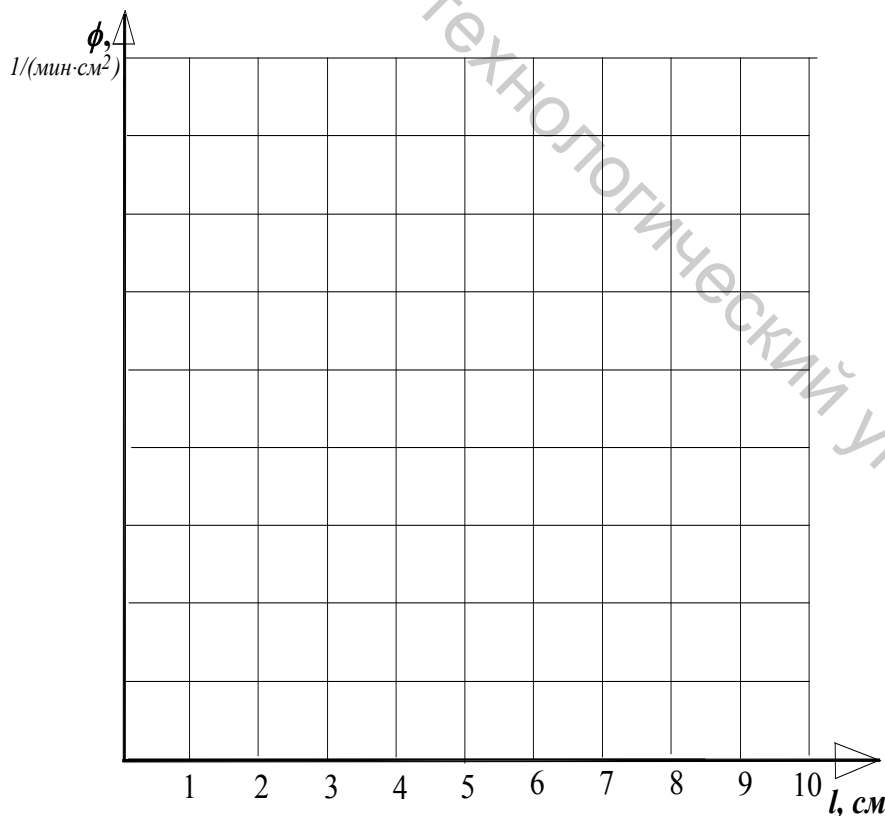


Рисунок 9.1 – Зависимость $\varphi=f(l)$

12. Из формулы (9.1) найдите среднюю энергию E_α регистрируемых альфа-частиц и запишите значение в последний столбец таблицы 9.1. Сравните полученные значения E_α с табличными значениями энергии альфа-частиц испускаемых источником.

13. Сделать вывод по проделанной работе. Отразить в выводе полученные результаты по каждой из серий измерений (мощность экспозиционной дозы и мощность эквивалентной дозы) и дать им анализ (сравнить с допустимыми нормами).

Контрольные вопросы:

1. Как определить длину пробега альфа-частиц?
2. Как по известной длине пробега альфа-частицы в среде определить ее энергию?
3. Единицы измерения плотности потока частиц (гамма-квантов).
4. Состав дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М.

ЛИТЕРАТУРА

1. Республика Беларусь. Законы. О радиационной безопасности населения : закон Республики Беларусь № 122-З от 05.01.1998 г // Ведомости Национального собрания РБ. – 1998. – № 5 (в редакции 2019 года).
2. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99).
3. Радиационная безопасность. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов по профилю образования «Техника и технологии» / Г. А. Чернушевич, В. В. Перетрухин. – Минск : БГТУ, 2018. – 198 с.
4. Требования к радиационной безопасности: СанПиН от 28.12.2012 № 213. – Введ. 01.01.2013. – Минск: Министерство здравоохранения Респ. Беларусь, 2012. – 40 с.
5. Критерии оценки радиационного воздействия: ГН от 28.12.2012 № 213. – Введ. 01.01.2013. – Минск: Министерство здравоохранения Респ. Беларусь, 2012. – 232 с.
6. Защита населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / И. В. Ролевич [и др.]. – Минск: РИВШ, 2014. – 402 с.
7. Защита населения и хозяйственных объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / И. В. Ролевич [и др.]. – Минск: РИВШ, 2014. – 188 с.
8. Морзак, Г. И. Радиационная безопасность [Электронный ресурс]: учебный комплекс для студентов всех специальностей / Г. И. Морзак, И. В. Ролевич, Е. В. Зеленуха; Белор. нац. техн. ун-т. – Минск: БНТУ, 2011. – 311 с.
9. Мархоцкий, Я. Л. Основы радиационной безопасности населения: учеб. пособие / Я. Л. Мархоцкий. – 2-е изд., стер. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 224 с.
10. Божин, Ю. М. Радиация вокруг нас / Ю. М. Божин. – Десногорск. 2011.
11. Ковчур, С. Г. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность / С. Г. Ковчур, В. Н. Потоцкий, А. А. Трутнёв ; УО «ВГТУ». – Витебск : УО «ВГТУ», 2006, 2008. – 131 с.
12. Радиационная безопасность: рабочая тетрадь для лабораторных работ для студентов технологических специальностей дневной формы обучения / В. Е. Савенок. – Витебск : УО «ВГТУ», 2017. – 48 с.
13. Безопасность жизнедеятельности человека : практикум / сост. В. Е. Савенок, Н. В. Скобова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 179 с.

Приложение А

Республиканские допустимые уровни (РДУ-99) содержания радионуклидов цезия и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде

Наименование	Бк/кг (Бк/л)	Ки/кг (Ки/л)
Содержание радионуклидов цезия		
Вода питьевая	10	$2,7 \cdot 10^{-10}$
Молоко и цельномолочная продукция	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Мясо и мясные продукты:		
говядина, баранина и продукты из них	500	$1,35 \cdot 10^{-8}$
свинина, птица и продукты из них	180	$4,86 \cdot 10^{-9}$
Картофель	80	$2,16 \cdot 10^{-9}$
Хлеб и хлебобулочные изделия	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$
Мука, крупы, сахар	60	$1,62 \cdot 10^{-9}$
Жиры растительные	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$
Жиры животные и маргарин	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Овощи и корнеплоды	100	$2,7 \cdot 10^{-9}$
Фрукты	40	$1,08 \cdot 10^{-9}$
Садовые ягоды	70	$1,5 \cdot 10^{-9}$
Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод	74	$2,0 \cdot 10^{-9}$
Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185	$5,0 \cdot 10^{-9}$
Грибы свежие	370	$1,0 \cdot 10^{-8}$
Грибы сушеные	2500	$6,75 \cdot 10^{-8}$
Продукты детского питания всех видов, готовые к применению	37	$5,0 \cdot 10^{-8}$
Прочие продукты питания	370	$1,0 \cdot 10^{-8}$
Содержание радионуклидов стронция-90		
Вода питьевая	0,37	$1,0 \cdot 10^{-11}$
Молоко и цельномолочная продукция	3,7	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Картофель	3,7	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Продукты детского питания всех видов, готовые к применению	1,85	$5,0 \cdot 10^{-11}$

Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалах и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001)

Непищевая продукция лесного хозяйства	Бк/кг (Бк/л)	Ки/кг (Ки/л)
Лесоматериалы круглые:		
для строительства стен жилых зданий	740	$2 \cdot 10^{-8}$
прочие	1480	$4 \cdot 10^{-8}$
Древесное технологическое сырье	1480	$4 \cdot 10^{-8}$
Топливо древесное	740	$2 \cdot 10^{-8}$
Пиломатериалы, изделия и детали из древесины и древесных материалов для строительства (внутренней обшивки) стен жилых зданий	740	$2 \cdot 10^{-8}$
Пилопродукция, изделия и детали из древесины и древесных материалов	1850	$5 \cdot 10^{-8}$
Прочая непищевая продукция лесного хозяйства	1850	$5 \cdot 10^{-8}$

Возможное содержание радионуклида калия-40 в продуктах питания, почве, удобрениях и строительных материалах, Бк/кг (не нормируется)

Наименование	Диапазон измерения
<i>Продукты питания</i>	
Зерновые	09–159
Пшеница	(150)
Рожь	(178)
Крупа гречневая	(41)
Зернобобовые	
Горох	(274)
Фасоль	(229)
Овощи свежие	40–174
Картофель	7–222 (174)
Капуста	26–155
Морковь	37–159 (95)
Свекла	52–200
Помидоры	53–122
Огурцы	37–122
Лук (головки)	33–100
Молочные	
Молоко	26–56 (44)
Сметана	30–70
Масло сливочное	(4)
Мясо	
Говяжье	22–159 (85)
Свиное	22–159 (37)

Возможное содержание радионуклида калия-40 в продуктах питания, почве, удобрениях и строительных материалах, Бк/кг (не нормируется)

Наименование	Диапазон измерения
Рыба	
Рыба	(78)
В том числе морская	57–216
Икра	(126)
Водоросли морские	570–700
Плоды свежие	
Лимон	(42)
Клюква	(355)
Орехи	(210)
Грибы	(227)
Почва и удобрения	
Почва	100–740
Сероземы	670
Серо-коричневые	700
Каштановые	450
Черноземы	410
Серые лесные	370
Дерново-подзолистые	290
Подзолистые	150
Торфянистые	90
Удобрения	
Апатиты	44–170
Фосфориты	230
Суперфосфат	120
Фосфатно-калийные	5900
Обезфторенный фосфат	30
Строительные материалы	
Строительный камень (гранит, туф)	1480–27 000 (6300)
Кирпич красный	2500–15 000 (6100)
Цемент	440–5100 (1510)
Щебень известняковый	370–6600 (520)
Песок	260–17400
Бетон	55–14 600 (2900)
Глина	1600–1280
Отходы промышленности и изделия на их основе	370–1080 (2030)
Кирпич силикатный	220–9900 (1400)
Известь	37–3400 (570)

Витебск

****АКТИНОИДЫ**

Приложение В

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей,
частиц/см² · мин (ГН № 213)

Объект загрязнения	Альфа-активные нуклиды*		Бета-активные нуклиды
	Отдельные**	Прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотно, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200***
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10 000
Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемой в саншлюзах	50	200	10 000

* Для поверхности рабочих помещений и оборудования, загрязненных альфа-активными радионуклидами, нормируется снимаемое (нефиксированное) загрязнение; для остальных поверхностей – суммарное (снимаемое и не-снимаемое) загрязнение.

** К отдельным относятся альфа-активные нуклиды, среднегодовая допустимая объемная активность которых в воздухе рабочих помещений $ДОА < 0,3 \text{ Бк/м}^3$.

*** Установлены следующие значения допустимых уровней загрязнения кожи, спецбелье и внутренней поверхности лицевых частей средств индивидуальной защиты для стронция-90 + иттрия-90 – 40 частиц/см² · мин.

Приложение Г

Пробеги частиц в различных средах

**Средняя длина пробега альфа-частиц R_α в различных средах
в зависимости от их энергии E_α**

Энергия E_α , МэВ	R_α , см, в воздухе	R_α , мкм	
		в биоткани	в алюминии
4,0	2,37	26,2	16,5
4,5	2,82	31,2	19,2
5,0	3,29	36,7	22,2
5,5	3,82	42,6	25,4
6,0	4,37	48,8	28,8
6,5	4,96	55,5	32,4
7,0	5,58	62,4	36,2
7,5	6,23	69,9	40,1
8,0	7,00	78,0	43,4
8,5	8,10	81,0	48,4
9,0	8,66	94,4	52,2
9,5	9,30	103,0	57,0
10,0	10,20	112,0	61,6

**Максимальный пробег моноэнергетических электронов
в различных веществах**

Энергия β -частиц, МэВ	Длина пробега β -частиц, мм		
	в воздухе, м	в биоткани	в алюминии
0,01	0,002	0,002	0,001
0,05	0,039	0,043	0,021
0,1	0,130	0,143	0,069
0,5	1,601	1,78	0,84
1,0	3,936	4,38	2,06
2,0	8,783	9,84	4,59
3,0	13,41	15,3	7,74
4,0	17,09	20,2	9,84
5,0	20,96	25,8	11,89
6,0	25,16	31,0	14,26
10,0	44,40	52,4	19,20

Приложение Д

Периоды полураспада, вид радиоактивного распада и энергия излучения
радионуклидов, индуцированных космическим излучением

Радионуклид и его символ		Период полураспада	Вид распада и энергия излучения, МэВ
Водород-3	${}^3_1\text{H}$	12,26 лет	β^- ; 0,01795
Бериллий-7	${}^7_4\text{Be}$	53,01 сут	К-захват; 0,479
Бериллий-10	${}^{10}_4\text{Be}$	$2,5 \cdot 10^5$ лет	β^- ; 0,555
Углерод-14	${}^{14}_6\text{C}$	5700 лет	β^- ; 0,155
Натрий-22	${}^{22}_{11}\text{Na}$	2,6 года	β^+ ; 0,540(99,94%); 1,89 (0,06%); γ ; 1,28
Натрий-24	${}^{24}_{11}\text{Na}$	15 ч	β^- ; 1,39; 4,17(0,003%); γ ; 4,14; 2,76; 1,38
Магний-28	${}^{28}_{12}\text{Mg}$	21,2 ч	β^- ; 0,459; γ ; 0,032-1,35
Алюминий-26	${}^{26}_{13}\text{Al}$	6,7 с	β^+ ; 3,20
Кремний-31	${}^{31}_{14}\text{Si}$	2,6 ч	β^- ; 1,471; γ ; 0,17; 0,52; 1,00
Кремний-32	${}^{32}_{14}\text{Si}$	700 лет	β^- ; 0,21
Фосфор-32	${}^{32}_{15}\text{P}$	14,3 сут	β^- ; 1,712
Фосфор-33	${}^{33}_{15}\text{P}$	24,4 сут	β^- ; 0,249
Сера-35	${}^{35}_{16}\text{S}$	87 сут	β^- ; 0,167
Сера-38	${}^{38}_{16}\text{S}$	2,9 ч	β^- ; 1,1
Хлор-34	${}^{34}_{17}\text{Cl}$	32,0 мин	β^- ; 2,48
Хлор-36	${}^{36}_{17}\text{Cl}$	$3,1 \cdot 10^5$ лет	β^- ; 0,714
Хлор-38	${}^{38}_{17}\text{Cl}$	37,3 мин	β^- ; 4,81 (53%); 2,77 (16%); 1,11 (31%); γ , 1,6; 2,15
Хлор-39	${}^{39}_{17}\text{Cl}$	35,5 мин	β^- ; 1,65 (93%); 2,96 (7%); γ ; 1,35; 0,35
Аргон-39	${}^{39}_{18}\text{Ar}$	265 лет	β^- ; 0,565
Криптон-81	${}^{81}_{36}\text{Kr}$	$2,1 \cdot 10^5$ лет	К-захват

Приложение Е

Периоды полураспада, вид радиоактивного распада и энергия излучения
основных радионуклидов аварийного чернобыльского выброса в 1986 г.

Радионуклид и его символ		Период полураспада	Вид распада и энергия излучения, МэВ
Криптон-85	$^{85}_{36}\text{Kr}$	10,71 года	β^- ; 0,150; 0,672; γ , 0,51
Стронций-89	$^{89}_{38}\text{Sr}$	50,55 сут	β^- ; 1,463
Стронций-90	$^{90}_{38}\text{Sr}$	28,6 года	β^- ; 0,563
Цирконий-95	$^{95}_{40}\text{Zr}$	64,05 сут	β^- ; 0,364 (54%); 0,396 (43%); 0,883 (3%); γ , 0,235; 0,722; 0,754
Молибден-99	$^{99}_{42}\text{Mo}$	66,02 ч	β^- ; 1,23 (80%); 0,45 (20%); γ , от 0,002 до 0,779
Рутений-103	$^{103}_{44}\text{Ru}$	39,35 сут	β^- ; 0,128 (28%); 0,202 (70%); 0,374 (1%); 0,695 (1%); γ , 0,498; 0,610
Рутений-106	$^{106}_{44}\text{Ru}$	368 сут	β^- ; 0,0392; γ , 1,12; 1,05; 0,620; 0,51
Йод-131	$^{131}_{53}\text{I}$	8,04 сут	β^- ; 0,815 (0,7%); 0,608 (87,2%); 0,335 (9,3%); 0,250 (2,8%); γ , 0,08; 0,163; 0,284; 0,364; 0,637; 0,722
Теллур-132	$^{132}_{52}\text{Te}$	78,2 ч	β^- ; γ , 0,22; 0,029
Ксенон-133	$^{133}_{54}\text{Xe}$	5,24 сут	β^- ; 0,345; γ , 0,081
Цезий-134	$^{134}_{55}\text{Cs}$	2,06 года	β^- ; 0,078 (25%); 0,210 (2%); 0,410 (5%); 0,657 (68%); γ , от 0,561 до 1,361
Цезий-137	$^{137}_{55}\text{Cs}$	30,17 года	β^- ; 0,51 (92%); 1,17 (8%); γ , 0,661
Барий-140	$^{140}_{56}\text{Ba}$	12,8 сут	β^- ; 1,0 (60%); 0,4 (40%); γ , 0,03; 0,16; 0,31; 0,54
Церий-141	$^{141}_{58}\text{Ce}$	33,1 сут	β^- ; 0,574 (25%); 0,442 (75%); γ , 0,145
Церий-144	$^{144}_{58}\text{Ce}$	290 сут	β^- ; 0,30 (70%); 0,17 (30%); γ , 0,034; 0,041; 0,053; 0,081; 0,094; 0,10; 0,134
Нептуний-239	$^{239}_{93}\text{Np}$	2,35 дня	β^- ; 0,718 (4,8%); 0,656 (1,7%); 0,441 (31%); 0,38 (10%); 0,379 (52%); γ , 0,045; 0,049; 0,058; 0,061; 0,067; ОД06; 0,209; 0,227; 0,254; 0,285
Плутоний-238	$^{238}_{94}\text{Pu}$	89,6 года	α ; 5,495 (72%); 5,452 (28%); 5,352 (0,09%); γ , 0,045
Плутоний-239	$^{239}_{94}\text{Pu}$	$2,44 \cdot 10^4$ лет	α ; 5,150 (69%); 5,137 (20%); 5,049 (11%); γ , 0,038; 0,051
Плутоний-240	$^{240}_{94}\text{Pu}$	6,58 года	α ; 5,162 (76%); 5,118 (24%); γ , 0,044
Плутоний-241	$^{241}_{94}\text{Pu}$	13 лет	α ; 4,91 ($\sim 10^{-3}$ %); β^- , 0,021 (99%); γ , 0,10; 0,45
Кюрий-242	$^{242}_{96}\text{Cm}$	162,5 сут	α ; 6,110 (73,7%); 6,066 (26,3%); 5,965 (0,035%); γ , 0,044; 0,103; 0,153

Учебное издание

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Раздел «Радиационная безопасность»

Практикум для студентов всех специальностей

Составители:

Потоцкий Василий Николаевич
Савенок Владимир Евгеньевич
Скобова Наталья Викторовна
Гречаников Александр Викторович

Редактор *Т.А. Осипова*
Корректор *Т.А. Осипова*
Компьютерная верстка *К.А. Линько*

Подписано к печати 05.07.2021. Формат 60х90^{1/16}. Усл. печ. листов 5,3.
Уч.-изд. листов 6,7. Тираж 70 экз. Заказ № 161.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля.2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.