

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «БРЯНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Инженерно-технологический факультет

Кафедра безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии

Т.В. Панова, М.В. Панов

**«ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Брянск 2015

УДК 57.026(07)

ББК 28.080.1

П-16

Панова Т.В. Основы радиационной безопасности: Лабораторный практикум / Т.В. Панова, М.В. Панов. – Брянск: Брянская ГСХА, 2014. – 110 с.

Лабораторный практикум «Основы радиационной безопасности» составлен в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования для студентов, обучающихся по всем направлениям. Практикум содержит общие методические рекомендации, указания к выполнению лабораторных работ, контрольные вопросы, глоссарий, тесты для текущего контроля знаний.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического факультета Брянской ГСХА, протокол № 2 от 28.10.2014 г.

Рецензент :

к.т.н., доцент

зав. кафедрой математики,

физики и информатики

Е.А. Панкова

© Т.В. Панова, 2015

© Т.В. Панов, 2015

© Брянская ГСХА, 2015

Содержание

Лабораторная работа № 1. Измерение мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения	4
Лабораторная работа № 2. Измерение мощности дозы гамма-излучения дозиметром-радиометром ДП-5В	14
Лабораторная работа №3 Измерение плотности потока бета-частиц дозиметром-радиометром ДП-5В	25
Лабораторная работа №4 Измерение загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами прибором прибор РКСБ-104 "Радиян"	28
Лабораторная работа №5 Измерение объемной и удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{40}K	36
Лабораторная работа №6 Измерение удельной активности пробы	
Лабораторная работа № 7 Определение содержания йода-131 в щитовидной железе	39
Лабораторная работа № 8 Измерение мощности эквивалентной дозы ионизирующего фотонного излучения, и плотности потока альфа-, бета-излучения дозиметром-радиометром ДРБП-03	57
Лабораторная работа № 9 Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма излучения дозиметром ДКГ-03Д «Грач»	79

Лабораторная работа № 1

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения

Цель работы: Провести измерения радиационного фона помещения с помощью прибора ДКГ-07Д «Дрозд»

Приборы и принадлежности: Прибор ДКГ-07Д «Дрозд».

Общие сведения

При взаимодействии электронов, протонов, нейтронов с веществом образуются ионы и заряженные частицы. Так, например, при взаимодействии гамма-излучения с веществом в результате фотоэффекта, комптон-эффекта атом ионизируется, а в результате рождения электронно-позитронной пары в поле ядра образуются две заряженные частицы. Нейтрон, взаимодействуя с ядром, часто вызывает появление гамма-квантов, которые, в свою очередь, приводят к образованию электронов, позитронов и ионов.

Таким образом, количественная оценка взаимодействия излучения с веществом может быть основана на измерении заряда, создаваемого продуктами ионизации.

Второй способ оценки воздействия излучения на вещество состоит в том, чтобы определить количество энергии, выделяемой в среде частицами, возникающими в результате ионизации, столкновений и рассеяния. Эти способы и лежат в основе единиц измерения влияния излучения на среды.

Экспозиционная доза. Экспозиционная доза X - это характеристика фотонного излучения, которая основана на его ионизирующем действии в газах. Определяется она как отношение суммарного заряда dQ всех ионов одного знака, созданных в воздухе, когда все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в элементарном объеме воздуха с массой dm , полностью остановились в воздухе, к массе воздуха в указанном объеме dm .

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (1,1)$$

Единица измерения экспозиционной дозы в международной системе единиц (СИ) 1 Кулон на килограмм (Кл/кг). Очень часто пользуются внесистемной единицей измерения – Рентген.

Соотношение между единицами следующее:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг} .$$

При вычислении действия радиации на какую-нибудь среду (особенно при облучении живого организма) необходимо учитывать не только общую дозу, но и время, за которое она была получена. Поэтому вводят понятие мощности экспозиционной дозы X .

Мощность экспозиционной дозы это отношение изменения экспозиционной дозы dX к промежутку времени dt в течении которого это изменение произошло:

$$X = \frac{dX}{dt} \quad (1,2)$$

Единицами измерения X являются:

- в СИ (Система Интернациональная) $1 \frac{dKK}{\text{кг} \cdot \text{с}} = 1 \frac{A}{\text{кг}}$

- в внесистемных единицах Рентген в час (Р/ч), Рентген в минуту (Р/мин), Рентген в секунду (Р/сек) и т д.

Мощность экспозиционной дозы характеризует радиационную обстановку независимо от свойств облучаемых объектов.

Поглощенная доза. Более точными характеристиками влияния излучения на среды принято считать величины, связанные с измерениями энергии, которая выделяется ионизирующими частицами в веществе.

Основной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия, является поглощенная доза ионизирующего излучения.

Поглощенная доза ионизирующего излучения D – это отношение средней энергии $d\bar{E}$, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме массы dm , к массе dm вещества этого объема:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} \quad (1.3)$$

Единица измерения поглощенной дозы в СИ -Грей (Гр).

Один Грей равен поглощенной дозе, при которой веществу массой 1 кг передается энергия 1 Дж. т.е.

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/1 кг} .$$

Внесистемной единицей поглощенной дозы является **рад**, которая связана с системной единицей соотношением:

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}.$$

Аналогично мощности экспозиционной дозы можно ввести мощность поглощенной дозы:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (1.4)$$

Единицей измерения мощности поглощенной дозы в СИ являются

$$1 \frac{\text{Гр}}{\text{сек}} \quad \text{или} \quad 1 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$$

Для оценки биологического эффекта воздействия излучения произвольного состава потребовалось введение дополнительной характеристики эквивалентной дозы ионизирующего излучения H . Это связано с тем, что при одинаковой поглощенной дозе для разных видов излучения биологический эффект оказывается различным (например, α – излучение может нанести больший вред, чем γ – излучение или β – излучение).

Эквивалентная доза ионизирующего излучения H - это произведение поглощенной дозы D на взвешивающий коэффициент W_R для вида излучения и

заданной энергии в данном объеме биологической ткани:

$$H = W_R \cdot D. \quad (1.5)$$

Здесь для сравнения биологических эффектов, производимых одинаковой поглощенной дозой, но различными видами излучений, введен взвешивающий коэффициент W_R . Этот коэффициент W_R количественно определяет относительную биологическую эффективность (ОБЭ).

Под ОБЭ понимают отношение поглощенной дозы рентгеновского излучения, которая принята за эталон и которая вызывает определенный биологический эффект, к поглощенной дозе данного рассматриваемого нами вида излучения, вызывающего тот же биологический эффект.

Таблица 1.1 - Взвешивающий коэффициент для разных сортов и энергий ядерных излучений

Вид излучения	W_R
γ -излучение	1
β - излучение	1
α - излучение	20
Тяжелые ядра отдачи, осколки деления	20
Нейтроны с энергией < 10 КэВ	5
Нейтроны с энергией 10 КэВ – 100 КэВ	10
Нейтроны с энергией 100 КэВ – 2 МэВ	20
Нейтроны с энергией 2 МэВ – 20 МэВ	10
Нейтроны с энергией > 20 МэВ	5
Протоны (кроме протонов отдачи) с энергией > 2 МэВ	5

Взвешивающий коэффициент W_R это некоторое заданное для каждого сорта излучения значение ОБЭ. Некоторые значения этого коэффициента приведены в таблице 1.1.

Единицей измерения эквивалентной дозы в СИ является Зиверт (Зв).

1 Зиверт численно равен произведению среднего взвешивающего коэффициента $W_R = 1$ на поглощенную дозу $D = 1$ Гр.

Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рада), который связан с единицей Зиверт соотношением:

1 бэр = 0,01 Зв .

Приборы, предназначенные для измерения дозовых величин - экспозиционной, поглощенной или эквивалентной дозы или их мощности, называют дозиметрами.

Порядок выполнения работы

Назначение прибора ДКГ-07Д «Дрозд» и основные характеристики изготавливается в соответствии с требованиями ТУ 4362-046-31867313-2009.



Рисунок 1.1 –Дозиметр ДКГ-07Д «Дрозд»

Дозиметр предназначен для измерений:

- мощности амбиентного эквивалента дозы гамма излучения $H^*(10)$ (далее МАЭД);
- амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения $H^*(10)$ (далее АЭД).

Дозиметр применяется на предприятиях атомной энергетики и радиохимического производства, в промышленности при использовании источников ионизирующего излучения, пунктах специального и таможенного контроля, а также в экологических службах и санитарно-эпидемиологических станциях.

Дозиметр может использоваться населением для индивидуального контроля радиационной обстановки.

Технические характеристики прибора приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Технические характеристики дозиметра ДКГ-07Д «Дрозд»

Диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения	от 0,05 до 3 МэВ
Диапазон измерений - МАЭД - АЭД	от $1 \cdot 10^{-1}$ до 10^3 мкЗв·ч ⁻¹ от 1 до $2 \cdot 10^5$ мкЗв
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений МАЭД и АЭД гамма-излучения	$\pm(15 + 2,5/H)$
Энергетическая зависимость относительно радионуклида	¹³⁷ Cs (0,662 МэВ) ± 25 %.
Анизотропия чувствительности	± 35 %:
- для энергий 0,662 и 1,25 МэВ при изменении угла падения излучения от 0° до $\pm 180^\circ$, относительно направления при градуировке дозиметра, в вертикальной и горизонтальной плоскостях; кроме угла 90° в горизонтальной плоскости, для которого анизотропия чувствительности	$\leq - 45$ %;
- для энергий 0,06 МэВ при изменении угла падения излучения от 0° до $\pm 45^\circ$ относительно направления при градуировке дозиметра, в вертикальной и горизонтальной плоскостях	
Время установления рабочего режима	≤ 5 с
Время непрерывной работы при питании от одного комплекта элементов	200 ч
Нестабильность показаний дозиметра за 8 ч непрерывной работы относительно среднего значения показаний за этот промежуток времени	$\leq \pm 3$ %
Напряжение питания	от 2,0 до 3,2 В
Значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации дозиметра в рабочем состоянии	
- диапазон рабочих температур	от - 20 °С до + 50 °С
- значение относительной влажности	90 % при 25 °С
Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерений при:	
- отклонении температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С относительно нормальных условий	± 5 %
- повышенной влажности относительно нормальных условий	± 10 %
- изменении напряжения питания	± 5 %
Дозиметр устойчив к воздействию:	
- радиочастотного электромагнитного поля в полосе частот напряженностью 3 В/м по ГОСТ Р 51317.4.3-99	от 80 до 1000 МГц
- электростатических разрядов напряжением при контактном разряде и воздушном разряде по ГОСТ Р 51317.4.2-99	± 8 кВ
Масса дозиметра, включая элементы питания	0,25 кг
Габаритные размеры (длина x ширина x высота)	74x29x122 мм
<p>Примечание.</p> <p>1. Н – безразмерная величина, численно равная измеренному значению МАЭД и АЭД, в мкЗв·ч⁻¹ и мкЗв соответственно</p> <p>2. Время измерения МАЭД не ограничено</p> <p>3. В режиме измерения МАЭД происходит непрерывное уточнение показаний по мере увеличения продолжительности замера. Одновременно на индикаторе отображается уменьшающееся значение статистической погрешности, что позволяет считать измерение окончанным при достижении необходимой точности</p>	

Устройство и работа

Все узлы дозиметра расположены в компактном корпусе из пластмассы.

В верхней части лицевой панели находится жидкокристаллический индикатор (далее -индикатор), в средней части расположены органы управления.

Принцип работы дозиметра основан на подсчете импульсов, поступающих счетчика Гейгера-Мюллера. Питание счетчика обеспечивается напряжением 400 В, создаваемым встроенным высоковольтным преобразователем. Обработка полученных данных осуществляется микропроцессором, а результат измерения представляется на индикаторе.

Дозиметр готов к работе, если элементы питания вставлены в батарейный отсек.

Если элементов питания в батарейном отсеке нет, то необходимо сдвинуть крышку батарейного отсека и вставить элементы питания, соблюдая полярность, после чего вставить крышку батарейного отсека на место.

При напряжении элементов питания ниже 2,2 В на индикаторе дозиметра появляется надпись «СМЕНИТЬ БАТАРЕИ». После появления этой надписи необходимо заменить элементы питания.

Включение и выключение дозиметра производится нажатием выключателя, расположенного на верхнем торце корпуса.

Включить дозиметр нажатием выключателя, на индикаторе появятся надписи:

- в верхней строке 0,00 мЗвч⁻¹;
- в нижней строке значки *****.

Через 2–3 с в верхней строке появятся показания МАЭД, а в нижней строке статистическая погрешность измерения в процентах. Если надпись 0,00 мЗв·ч⁻¹ сохраняется более 10 с, значит, дозиметр неисправен.

Для выключения дозиметра необходимо нажать на выключатель.

Выбор режима измерения.

Дозиметр одновременно работает в двух режимах:

- измерение МАЭД;
- измерение АЭД.

Значения измеряемой величины отображаются на индикаторе. Для просмотра значений другой величины необходимо нажать на кнопку «РЕЖИМ».

Запуск измерения в любом режиме производится нажатием на кнопку «ПУСК». При этом начинается процесс измерения только той величины (МАЭД или АЭД), которая индицируется в момент нажатия кнопки. Идущее одновременно с этим измерение другой величины продолжается.

При измерении МАЭД на индикаторе отображаются:

1) в верхней строке – измеренное значение МАЭД в $\text{Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$, перед размерностью индицируется множитель: - μ - микро (10^{-6}); - m - милли (10^{-3});

2) в нижней строке – статистическая погрешность измерений в процентах.

Измерения МАЭД в каждой новой точке начинаются после нажатия на кнопку «ПУСК». Считывание показаний с индикатора следует производить при достижении статистической погрешности, индицируемой в нижней строке, выбранного значения.

Время измерения МАЭД не ограничено. В режиме измерения МАЭД происходит непрерывное уточнение показаний по мере увеличения продолжительности времени измерений, при этом на индикаторе отображается уменьшающееся значение статистической погрешности.

Дозиметр показывает среднее значение МАЭД за все время измерения. Поэтому, если значение МАЭД изменилось, а перезапуск не осуществлен, то новое значение МАЭД дозиметр будет показывать через очень большой промежуток времени.

При изменении измеряемой МАЭД, превышающем статистический разброс, дозиметр без вмешательства пользователя перезапускает измерение МАЭД. При этом подается короткий звуковой сигнал.

При измерении АЭД на индикаторе отображаются:

1) в верхней строке - надпись «ДОЗА»;

2) в нижней строке – измеренное значение АЭД в Зв , перед размерностью

индицируется множителем: - п - пико (10^{-12}); - н - нано (10^{-9}); - м - микро (10^{-6}); - т - милли (10^{-3}).

Индикатор дозиметра подсвечивается при нажатой кнопке «СВЕТ».

При регистрации каждого гамма-кванта дозиметр издает щелчок. Для отключения/включения этих звуков следует нажать кнопку «ЗВУК».

Вход в режим настройки осуществляется при включении дозиметра при одновременном нажатии и удерживаемых кнопок «ЗВУК» и «РЕЖИМ». После включения кнопки «ЗВУК» и «РЕЖИМ» следует отпустить, индикатор остается пустым.

После нажатия на кнопку «ЗВУК» в верхней строке появляется надпись «Т=», а в нижней строке – значение «мертвого времени», с. Нажатиями на кнопку «ПУСК» (увеличение) или «РЕЖИМ» (уменьшение) следует откорректировать значение «мертвого времени» так, чтобы добиться расчетного значения показаний.

При увеличении «мертвого времени» показания увеличиваются, и наоборот. Эта регулировка эффективна при МАЭД более $200 \text{ мкЗв} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Удержание кнопки в нажатом состоянии приводит к быстрому перебору значений. Следующее нажатие на кнопку «ЗВУК» приводит к записи введенного значения в память. При этом в верхней строке появляется надпись «Т = ok».

При следующем нажатии на кнопку «ЗВУК» в верхней строке появляется надпись «К=», а в нижней – значение коэффициента пересчета, на который умножается скорость счета, имп/с, для получения показаний, $\text{Зв} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Нажатиями на кнопку «ПУСК» (увеличение) или «РЕЖИМ» (уменьшение) следует откорректировать значение коэффициента пересчета так, чтобы добиться расчетного значения показаний.

Удержание кнопки в нажатом состоянии приводит к быстрому перебору значений.

Следующее нажатие на кнопку «ЗВУК» приводит к записи введенного значения в память. При этом в верхней строке появляется надпись «К = ok».

Откорректированные, но не введенные в память значения «мертвого вре-

мени» икоэффициента пересчёта остаются неизменными.

Для возвращения в режим работы выключите дозиметр и включите его, не ранее чем через 10 с.

Обработка результатов измерения

Для каждой контрольной точки рассчитать среднее значение МАЭД и АЭД-, и абсолютную погрешность величины фоновое гамма-излучения ДФГ

Нарисовать карту помещения с указанием средних значений и абсолютных погрешностей радиационного фона.

С помощью средних значений радиационного фона в контрольных точках рассчитать среднее значение мощности дозы гамма-излучения для помещения.

Определить какую максимальную дозу по γ -излучению может получить человек за год, находясь в данных радиационных условиях. Сравнить ее с максимально допустимой за год.

Сделать выводы, используя результаты измерений и расчетов.

Контрольные вопросы

1. Состав ядерных излучений
2. Относительная биологическая эффективность.
3. Взвешивающий коэффициент для разных сортов и энергий радиоактивных излучений
4. Экспозиционная доза.
5. Поглощенная доза.
6. Эквивалентная доза.
7. Соотношение между дозиметрическими единицами.

Лабораторная работа № 2

Измерение мощности дозы гамма-излучения и бета-излучения дозиметром-радиометром ДП-5В

Цель работы: Провести оценку мощности дозы гамма-излучения радиоактивных образцов с помощью дозиметра-радиометра ДП-5В.

Приборы и принадлежности: дозиметр-радиометр ДП-5В, набор радиоактивных образцов.

Общие сведения

Состав ионизирующих излучений

Явление радиоактивности состоит в самопроизвольном (спонтанном) распаде, при котором испускается одна или несколько частиц. Частицы, которые возникают в результате распада и называют радиоактивным излучением или просто радиацией. Ядра, которые подвергаются распаду, называются радиоактивными. Ядра, не испытывающие радиоактивный распад, называются стабильными.

Как установил Э.Резерфорд, радиоактивное излучение не является однородным по своему составу. В нем можно выделить четыре основных компоненты, которые возникают в результате радиоактивных распадов ядер и две дополнительные, которые возникают в основном искусственным образом, с помощью специальных систем:

1. α -излучение ядра – ${}^4\text{He}_2$;
2. β -излучение – электроны (e^-) и позитроны (e^+);
3. γ -излучение гамма-кванты;
4. ядра отдачи (дочерние ядра) и ядра-осколки, которые возникают в результате деления тяжелых ядер;
5. протонное излучение (p);
6. нейтронное излучение (n).

Как правило, протонное и нейтронное излучение создается с помощью специальных систем (например, ускорители). Но и остальные виды радиоактивных излучений также могут быть получены путем ядерных реакций на ускорителях и атомных реакторах.

При прохождении через вещество, все виды ядерного излучения, так или иначе, взаимодействуют с ним. Характер этих взаимодействий зависит от типа излучения, его энергии и параметров самой среды.

Гамма-кванты и электроны взаимодействуют за счет дальнедействующих электромагнитных взаимодействий, в то время как нейтроны и очень тяжелые частицы взаимодействуют за счет ядерных сил.

Общим для всех взаимодействий ядерного излучения является то, что энергия падающих частиц передается атомам (электронам или ядрам) вещества. При взаимодействии заряженных частиц с атомами главным образом за счет действия кулоновских сил, происходит либо ионизация атома или возбуждение атома. При ионизации происходит образование положительного иона атома и электрон. Через некоторое время после столкновения происходит обратный процесс рекомбинации. Некоторые вопросы защиты от излучений. Наиболее проста защита от α -излучения, так как α -частицы имеют малые пробеги и для защиты достаточно листа бумаги.

Бета-излучение обладает большей проникающей способностью по сравнению с α -излучением и поэтому для защиты от этого вида излучения необходим слой пластмассы в несколько миллиметров. Гамма-излучение является наиболее проникающим из излучений, испускаемых радиоактивными ядрами. Толщина защиты от него зависит от величины энергии и от его интенсивности.

Действие ионизирующих излучений представляет собой сложный процесс. Эффект облучения зависит от величины поглощенной дозы, ее мощности, вида излучения, объема облучения тканей и органов. Для его количественной оценки введены специальные единицы, которые делятся на внесистемные и единицы в международной системе единиц (СИ). Сейчас используются преимущественно единицы СИ. В таблице 2.1 дан перечень единиц измерения ра-

диологических величин и проведено сравнение единиц СИ и внесистемных единиц.

Для описания влияния ионизирующих излучений на вещество используются следующие понятия и единицы измерения:

Экспозиционная доза (X). В качестве количественной меры рентгеновского и γ -излучения принято использовать экспозиционную дозу, определяемую зарядом вторичных частиц (dQ), образующихся в массе вещества (dm) при полном торможении всех заряженных частиц:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (2.1)$$

Единица активности в системе СИ - Кл/кг. Внесистемная единица экспозиционной дозы - Рентген (Р).

Таблица 2.1 - Основные радиологические величины и единицы

Величина	Наименование и обозначение единицы измерения		Соотношения между единицами
	Внесистемные	СИ	
Экспозиционная доза, X	Рентген (Р, R)	Кулон/кг (Кл/кг, C/kg)	1 Р = 2,58 x 10 ⁻⁴ Кл/кг 1 Кл/кг = 3,88 x 10 ³ Р
Поглощенная доза, D	Рад (рад, rad)	Грей (Гр, Gy)	1 рад = 10 ⁻² Гр 1 Гр = 1 Дж/кг
Эквивалентная доза, H	бэр (бэр, rem)	Зиверт (Зв, Sv)	1 бэр = 10 ⁻² Зв 1 Зв = 100 бэр

Поглощение энергии ядерного излучения дает начало физико-химических реакций в облученной ткани, приводящее к наблюдаемому радиационному эффекту. Поэтому естественно сопоставить наблюдаемый эффект с количеством поглощенной энергии или поглощенной дозы.

Поглощенная доза (D)- основная дозиметрическая величина. Она равна отношению средней энергии $d\bar{E}$, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm} \quad (2.2)$$

Системная единица поглощенной дозы — Грей (Гр). Названа в честь Льюиса Харольда Грэя (англ. LouisHaroldGray; 10 ноября 1905 — 9 июля 1965) — английского физика, работавшего в области воздействия радиации на биологические организмы, и являющегося одним из родоначальников радиобиологии.

Внесистемная единица Рад определялась как поглощенная доза любого ионизирующего излучения, равная 100 эрг на 1 грамм облученного вещества.

Эквивалентная доза (H). Для оценки возможного ущерба здоровью человека в условиях хронического облучения в области радиационной безопасности введено понятие эквивалентной дозы H, равной произведению поглощенной дозы D, созданной облучением заданного сорта и усредненной по анализируемому органу или по всему организму, на весовой множитель W_R

$$H = W_R \cdot D \quad (2.3)$$

Взвешивающий коэффициент для разных сортов и энергий ядерных излучений приведены в таблице 1.1.

Единицей измерения эквивалентной дозы является Зиверт. Зиверт - единица эквивалентной дозы любого вида излучения в биологической ткани. 1 Зиверт - такое значение эквивалентной дозы в биологической ткани, при котором создается такой же биологический эффект, как и при поглощенной дозе в 1 Гр (1 Дж/кг) образцового рентгеновского излучения (излучения с граничной энергией квантов 200 КэВ).

Единица измерения эффективной и эквивалентной доз ионизирующего излучения названа Зивертом (Зв, Sv) в 1979 году в честь Рольфа Максимилиана Зиверта (Rolf Maximilian Sievert; 6 мая 1896 — 3 октября 1966) — шведского радиопизика, изучавшего воздействие радиации на биологические организмы и являющегося одним из родоначальников науки - радиобиологии.

Эффективная эквивалентная доза ($H_{эф}$). Влияние облучения носит неравномерный характер. Для оценки ущерба здоровью человека за счет различного характера влияния облучения на разные органы (в условиях равномерного облучения всего тела) введено понятие эффективной эквивалентной дозы $H_{эф}$, применяемое при оценке возможных стохастических эффектов — злокачественных новообразований.

Эффективная доза равна сумме взвешенных эквивалентных доз во всех органах и тканях:

$$H_{эф} = \sum_i W_T \cdot H_i \quad (2.4)$$

где W_T - взвешивающий коэффициент (табл. 2.2) i -того органа получившего эквивалентную дозу H_i .

Суммирование в (2.4) ведется по всем органам получивших облучение. Единица эффективной эквивалентной дозы-Зиверт.

Таблица 2.2 - Значения взвешивающих коэффициентов W_T для различных органов и тканей

Ткань или орган	W_T	Ткань или орган	W_T
Половые железы	0,20	Печень	0,05
Красный костный мозг	0,12	Пищевод	0,05
Толстый кишечник	0,12	Щитовидная железа	0,05
Легкие	0,12	Кожа	0,01
Желудок	0,12	Поверхность костей	0,01
Мочевой пузырь	0,05	Остальные органы	0,05
Молочные железы	0,05		$\sum W_T = 1$

Коллективная эффективная эквивалентная доза. Для оценки ущерба здоровью персонала и населения от стохастических эффектов, вызванных действием ионизирующих излучений, используют коллективную эффективную эквивалентную дозу. Эта величина получается путем умножения, числа лиц, подвергшихся облучению от данного источника излучения, на величину средней эффективной эквивалентной дозы, или путем суммирования произведений индивидуальных эквивалентных доз, приходящихся на одного человека, и числа лиц в каждой подвергшейся облучению группе данного контингента людей. Выражается в человеко-Зивертах, условное обозначение - чел.-Зв.

Описание прибора

Измеритель мощности дозы (рентгенметр) ДП-5В (рис. 2.1) предназначен для измерения мощности поглощенной дозы гамма-излучения в широком диапазоне (от 0,05 мрад/час до 200 рад/час) и обнаружения бета-излучения. Измеритель мощности дозы (рентгенметр) ДП-5В является прибором двойного назначения, удовлетворяет жестким требованиям работы в полевых условиях.



Рисунок 2.1 - Измеритель мощности дозы (рентгенметр) ДП-5В

ДП-5В состоит из пульта измерительного и блока детектирования, соединенных кабелем.

Блок детектирования содержит газоразрядные счетчики СБМ-20 и СИЗБГ

, контрольный источник и поворотный экран, фиксируемый в трех положениях:

- для измерения гамма- излучения, в котором счетчик закрыт экраном;
- для измерения бета- излучения, в котором счетчик открыт;
- для контроля работоспособности прибора, в котором напротив счетчика устанавливается контрольный источник.

Пульт измерительный содержит электронные устройства обработки импульсов, регистрации и схемы питания. На передней панели расположен стрелочный показывающий прибор с подсветкой, переключатель поддиапазонов и две кнопки. Питание от трех элементов питания типа КБ-1. Кроме того питание прибора может осуществляться от источника постоянного тока или аккумуляторов иных напряжений, для работы с которыми прибор имеет делитель напряжения.

Прибор ДП-5В обеспечивает требуемые характеристики после 1 минуты самопрогрева. Диапазон измерения по гамма-излучению от 0,05 мР/ч до 200 Р/ч в диапазоне энергий от 0,084 МэВ до 1,25 МэВ. ДП-5В имеет шесть поддиапазонов измерений. Отсчет показаний производится по шкале с последующим умножением на соответствующий коэффициент поддиапазона. Участки шкалы от нуля до первой значащей цифры являются нерабочими. ДП-5В имеет звуковую индикацию на всех поддиапазонах, кроме первого. Время установления показаний на разных поддиапазонах - неодинаково, что оказывает влияние на мощность измерений. Чем ниже уровни радиации, тем больше время измерения.

Таблица 2.3 - Основные технические данные ДП-5В

Зоны	Положение ручки переключателя	Шкала	Единица измерения	Пределы измерений
1	200	0 - 200	Р/ч	5 - 200
2	x 1000	0 - 5	мР/ч	500 - 5000
3	x 100	0 - 5	мР/ч	50 - 500
4	x 10	0 - 5	мР/ч	5 - 50
5	x 1	0 - 5	мР/ч	0,5 - 5
6	x 0,1	0 - 5	мР/ч	0,05 - 0,5

Звуковая индикация прослушивается с помощью головных телефонов,

которые подсоединяют к измерителю мощности дозы. При обнаружении радиоактивного заражения в телефонах прослушиваются щелчки, причем их частота увеличивается с увеличением мощности гамма - излучений. Прибор работает в интервале температур от - 500 до 500 С при относительной влажности 65 15%. При температуре около + 200 С допустима более высокая относительная влажность - до 98%. Прибор не имеет “обратного хода” стрелки микроамперметра при перегрузочных облучениях до 300 р/ч на I - III поддиапазонах и до 50 р/ч на IV - VI поддиапазонах. Питание осуществляется от двух элементов А - 336 “СВЕТ” (третий элемент используется для питания лампочек освещения шкалы прибора), обеспечивающих непрерывную работу прибора в течение 40 часов. При необходимости для питания прибора можно использовать внешние источники постоянного тока напряжением 12 В и 24 В. Для подключения их к приборам в комплекте имеется делитель напряжения. Масса прибора с элементами питания около 3,2 кг, а полного комплекта в укладочном ящике - 8,2 кг. Прибор состоит из следующих основных частей: измерительный пульт, зонд с гибким кабелем, головные телефоны, удлинительная штанга, делитель напряжения, комплект запасного имущества и укладочный ящик. На измерительном пульте размещены:

- измерительный прибор (микроамперметр);
- переключатель диапазонов (8 положений);
- выключатель освещения шкалы;
- кнопка сброса показаний;
- розетка для подключения головных телефонов;
- отсек питания.

Зонд прибора представляет собой стальной цилиндр, в котором размещены детекторы излучений, в качестве которых используются галогенные счетчики типов СТС - 5 и СИ - ЗБГ. На корпусе зонда смонтирован вращающийся цилиндрический экран, имеющий 3 положения: “К”, “Б” и “Г”.

Подготовка прибора ДП - 5В к работе. Извлечь прибор из укладочного ящика, открыть крышку футляра, произвести внешний осмотр прибора и при-

стегнуть к футляру ремни и подключить источники питания, соблюдая полярность. Поставить ручку переключателя поддиапазонов против черного треугольника (контроль режима). Стрелка должна установиться в режимном секторе, если этого не произойдет, проверить годность источников питания. Работоспособность прибора проверяется на всех поддиапазонах, исключая поддиапазон 200, с помощью контрольного источника Б - 8, укрепленного в углублении на экране зонда. Для этого ставят поворотный экран зонда детектора в положение "К", подключают головные телефоны, ручку переключателя поддиапазонов последовательно переводят во все положения от $\times 1000$ до $\times 0,1$. Если прибор работоспособен, в телефоне будут слышны щелчки. При этом на пятом и шестом поддиапазона (положение переключателя $\times 1$, $\times 0,1$) стрелка прибора должна зашкаливать, а на четвертом - отклоняться вправо. Показания прибора на поддиапазоне $\times 10$ сверяют с формулярными данными при последней проверке градуировки прибора. Если показания совпадают, прибор можно использовать. Поставить экран зонда в положение "Г", нажать кнопку "СБРОС" (при этом стрелка прибора устанавливается на нулевую отметку шкалы), ручку переключателя поддиапазонов установить против черного треугольника.

Порядок выполнения работы

Экран зонда ставится в положение "Г". Зонд на вытянутой в сторону руке упорами вниз удерживается на высоте 0,7 - 1 м от земли, переключатель поддиапазонов последовательно ставится в положение 200, $\times 1000$, $\times 100$ и далее, пока стрелка микроамперметра не отклонится и не остановится в пределах шкалы. Показания стрелки умножается на соответствующий коэффициент поддиапазона. Зонд прибора при измерениях уровней радиации может находиться и в чехле прибора, но тогда показания надо умножить на коэффициент экранизации тела, равный 1,2.

Измерение, как правило, производится на незараженной местности или в местах, где внешний гамма - фон не превышает предельно допустимого зара-

жения объекта более чем в три раза. Гамма - фон измеряется на расстоянии 15 - 20 м от зараженных объектов аналогично измерению уровней радиации на местности. Степень радиоактивной зараженности поверхности тела человека, а также сельскохозяйственных животных, техники, транспорта, продовольствия и воды определяют путем измерения мощности дозы гамма излучения на расстоянии 1 - 1,5 см от этих объектов. Экран зонда при этом находится в положении "Г". Зонд подносят к объекту стороной, на которой расположены два упора. Медленно перемещая зонд над поверхностью объекта, определяют место максимального заражения по наибольшей частоте щелчков в головных телефонах или по максимальному показанию микроамперметра. Затем зонд устанавливают упорами к поверхности на высоте 1 - 1,5 см, и после остановки стрелки снимают показания прибора. Полученные данные сравнивают с величиной гамма - фона. Если они более гамма - фона, определяется величина радиоактивного заражения объекта: из значения измеренной мощности вычитается величина гамма - фона, которая предварительно делится на коэффициент, учитывающий экранирующее действие контролируемого объекта. Эти коэффициенты равны:

для человека - 1,2;

для бронированной техники - 2;

для автотранспорта - 1,5.

Для обнаружения бета - зараженности объекта экран зонда прибора устанавливается в положение "Б". Увеличение показаний прибора на одном и том же поддиапазон по сравнению с показаниями по гамма - излучению свидетельствует о наличии бета - излучения, а следовательно, о заражении обследуемого объекта бета - , гамма - радиоактивными веществами. При измерении зараженности жидких и сыпучих веществ на зонд прибора надевается чехол из полиэтиленовой пленки для предохранения его от загрязнения радиоактивными веществами.

Проведите измерения мощности дозы на лабораторном столе. (Примечание. Значение мощности дозы берется при достижении 15-20% статистической погрешности).

Возьмите выданный образец и расположите его на столе.

Проведите 3-4 измерения мощности дозы образца.

Уберите образец в свинцовый контейнер.

Проделайте аналогичные измерения для второго образца.

Обработка результатов измерения

Для каждого образца рассчитать среднее значение гамма-излучения и абсолютную погрешность величины фонового гамма-излучения.

Провести сравнительный анализ мощностей доз образцов и радиационного фона стола.

Определить какую максимальную дозу по γ -излучению может получить человек за год от образцов, находясь в данных радиационных условиях. Сравнить ее с максимально допустимой за год.

Сделать выводы, используя результаты измерений и расчетов.

Контрольные вопросы

1. Экспозиционная доза.
2. Поглощенная доза.
3. Эквивалентная доза.
4. Эффективная эквивалентная доза.
5. Коллективная эффективная эквивалентная доза.

Лабораторная работа №3
Измерение плотности потока бета-частиц
дозиметром-радиометром ДП-5В

Цель работы: Провести измерения загрязненности поверхностей помещения бета-излучающими радионуклидами с помощью прибора ДП-5В.

Приборы и принадлежности: дозиметр-радиометр ДП-5В.

Общие сведения

Радиационный контроль различных поверхностей осуществляется при загрязнении их радиоактивной пылью или радиоактивными растворами в результате аварийных ситуаций, а также при нормальной эксплуатации технологического оборудования в газообразных или жидких средах (специальное оборудование АЭС, радиохимических заводов, военных объектов и т. д.). Подобный контроль необходим для оценки эффективности дезактивации загрязненных радионуклидами территорий, строений, машин, технологического оборудования, одежды, поверхности тела человека и животных, других объектов.

Степень загрязненности различных поверхностей радионуклидами оценивают обычно по плотности потока ионизирующих частиц, испускаемых исследуемой поверхностью.

Для количественной оценки степени вводят понятие **флюенса**:

Флюенсом частиц в случае пучка частиц называют отношение числа частиц dN , пересекших перпендикулярную пучку поверхность площадью dS за данный промежуток времени, к площади этой поверхности:

$$\Phi_N = \frac{dN}{dS} \quad (3.1)$$

Плотность потока ионизирующих частиц (мощность флюенса частиц) определяется как производная по времени от флюенса):

$$\Phi_N = \frac{d\Phi_N}{dt} = \frac{dN}{dtdS} \quad (3.2)$$

Приборы, предназначенные для измерения потока или плотности потока ионизирующих частиц, называют **радиометрами**.

Радиометры состоят из трех функциональных блоков: блока детектирования, измерительного блока и блока питания. В этих приборах используются ионизационные, сцинтилляционные, полупроводниковые и другие детекторы ионизирующего излучения. В зависимости от типа детектора и его чувствительности радиометры регистрируют определенные виды излучения в ограниченном диапазоне значений энергии.

Радиометры, предназначенные для измерения поверхностной загрязненности, градуируют в част/(ед. времени x ед. площади).

Порядок выполнения работы

Для измерения плотности потока бета-частиц при наличии фонового гамма-излучения необходимо:

Выбрать в исследуемом помещении 3 - 5 контрольных точек для измерений.

Проведите измерение потока фонового γ -излучения в помещении (в точке равноудаленной от выбранных вами точек). Время измерения 10 минут.

В каждой точке провести по 2 - 3 измерения потока фонового β – излучения Φ_β с открытой крышкой фильтра . Время каждого измерения 5 - 7 минут.

Обработка результатов измерения

Для каждой контрольной точки рассчитать абсолютную погрешность $\Delta\Phi_\beta$ по полученным в результате измерений погрешностям с открытым и закрытым окном детектора.

Нарисовать карту "загрязнения" помещения с указанием средних значений Φ_{β} и абсолютных погрешностей величины $\Delta\Phi_{\beta}$.

Сделать выводы, используя результаты измерений и расчетов.

Контрольные вопросы.

β - распад ядер.

Взаимодействие β -излучения с веществом.

Защита от β - излучения.

Биологическое действие ионизирующих излучений.

Почему для получения значений фонового β - излучения необходимо предварительно проводить измерения фонового γ -излучения ?

Лабораторная работа №4

Измерение загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами прибором прибор РКСБ-104 "Радиян"

Цель работы: Провести измерения загрязненности поверхностей помещения бета-излучающими радионуклидами с помощью прибора РКСБ-104 "Радиян".

Приборы и принадлежности: прибор РКСБ-104 "Радиян".

Общие сведения

В настоящее время в состав ядерных (ионизирующих) излучений включают:

1. α -излучение ядра – ${}^4\text{He}_2$;
2. β -излучение – электроны (e^-) и позитроны (e^+);
3. γ -излучение гамма-кванты;
4. ядра отдачи (дочерние ядра) и ядра-осколки, которые возникают в результате деления тяжелых ядер;
5. протонное излучение (p);
6. нейтронное излучение (n).

Бета-излучение (бета-лучи, или поток бета-частиц) — поток электронов или позитронов, испускаемых при радиоактивном бета-распаде ядер некоторых атомов.

Электроны (или позитроны), испускаемые при радиоактивном бета-распаде, обладают различными энергиями — от нуля до некоторой максимальной энергии E_{max} , для большинства радиоактивных изотопов не превышающей нескольких мегаэлектронвольт.

При прохождении β - частиц через вещество из-за малости массы бета-частица может испытывать значительные отклонения от первоначального направления движения вплоть до изменения направления движения на противоположное. В результате траектория бета - частицы в веществе представляет со-

бой ломаную линию, а под пробегом понимают расстояние по прямой от точки входа бета - частицы в вещество до точки ее остановки. Поскольку энергия бета - частиц, испускаемых радионуклидами, изменяется от нуля до максимальной величины E_{\max} , то проникающая способность бета - частиц от одного и того же радионуклида неодинакова.

Максимальным пробегом моноэнергетических электронов R_{\max} называется минимальная толщина слоя вещества, при которой ни один из электронов, падающих нормально на слой, из него не вылетает. Аналогично определяется и максимальный пробег бета - частиц R_{\max} в веществе. Величины максимальных пробегов моноэнергетических электронов в биологической ткани, воздухе и алюминии для значений энергий, характерных для бета - частиц, испускаемых радионуклидами, приведены в таблице 2.6.

Таблица 4.1 - Максимальный пробег моноэнергетических электронов в различных веществах

E_{\max} , МэВ	Биологическая ткань, мм	Воздух, см	Алюминий, мм
0,01	0,0025	0,223	0,0013
0,05	0,0437	3,805	0,0211
0,1	0,142	12,61	0,07
0,5	1,78	154,7	0,83
1,0	4,41	379,5	2,03
2,0	9,8	835,3	4,48
3,0	15,2	1276,1	6,85
4,0	20,6	1709,2	9,19
5,0	25,6	2095,9	11,4

Используя данные о максимальных пробегах бета-частиц, нетрудно рассчитать толщину защитных экранов, предохраняющих человека от воздействия внешних потоков бета-частиц. Очевидно, что эта толщина должна быть больше максимального пробега бета-частиц.

При этом следует иметь в виду, что при прохождении через вещество

электроны и бета - частицы частично теряют энергию на испускание тормозного излучения, которое может служить источником дополнительного облучения. Интенсивность тормозного излучения пропорциональна квадрату атомному номеру вещества поглотителя ($\sim Z^2$). Вследствие этого, защитные экраны от внешних потоков бета-излучения можно изготавливать из веществ с небольшими атомными номерами Z . Обычно в качестве защитных материалов используют плексиглас, алюминий или стекло.

Максимальная энергия бета - частиц большинства "чернобыльских" радионуклидов не превышает 2 МэВ. Соответственно в воздухе их пробеги не превышают 10 м, в биологической ткани — 10 см, в алюминии - 5 мм. В значительной мере бета-излучение этих радионуклидов задерживается одеждой, а если и достигает тела, то проникает практически на глубину всего лишь нескольких миллиметров. Достаточно знать о наличии бета-излучения, чтобы средствами индивидуальной защиты предотвратить попадание радионуклидов внутрь организма.

Радиационный контроль различных поверхностей осуществляется при загрязнении их радиоактивной пылью или радиоактивными растворами в результате аварийных ситуаций, а также при нормальной эксплуатации технологического оборудования в газообразных или жидких средах (специальное оборудование АЭС, радиохимических заводов, военных объектов и т. д.). Подобный контроль необходим для оценки эффективности дезактивации загрязненных радионуклидами территорий, строений, машин, технологического оборудования, одежды, поверхности тела человека и животных, других объектов.

Степень загрязненности различных поверхностей радионуклидами оценивают обычно по плотности потока ионизирующих частиц, испускаемых исследуемой поверхностью.

Для количественной оценки плотности потока ионизирующих частиц вводят понятие **флюенса**:

Флюенсом частиц в случае пучка частиц называют отношение числа частиц dN , пересекших перпендикулярную пучку поверхность площадью dS за

данный промежуток времени, к площади этой поверхности:

Радиометры, предназначенные для измерения поверхностной загрязненности, градуируют в част/(ед. времени x ед. площади).

Порядок выполнения работы

Прибор РКСБ-104 "Радиан" (рис. 4.1) предназначен для измерения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения, измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных радионуклеидами поверхностей одежды, жилых помещений, продуктов питания, "даров леса", измерение удельной активности радионуклеида цезий-137 в веществах.



Рисунок 4.1 - Прибор РКСБ-104 "Радиан"

Дозиметр РКСБ-104-малогабаритный прибор с ручным выбором режимов и пределов измерения, предназначен для контроля радиационной обстановки специалистами и населением. Благодаря функции "дежурный режим" прибор РКСБ-104 не требует постоянного Вашего контроля за радиационной обстановкой, где бы Вы ни находились — в лесу, на даче, вблизи опасных в радиационном плане объектов и т.д.

В дозиметре "РКСБ-104" имеется звуковая сигнализация о превышении мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения, установленной потребителем.

Прибор РКСБ-104 отличается простотой управления, универсальностью функций и современным дизайном.

Таблица 4.2 – Технические характеристики дозиметра РКСБ-104"Радиян"

Диапазон измерения	
Мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения	от 0,1 до 99,99мкЗВ/ч 10 - 9999мкР/ч
Плотности потока бета-излучения с поверхности	от 6 до 6000 частиц/мин·см
Удельной активности радионуклида цезий-137	от 2х10 ³ до 2х10 ⁶ Бк/кг
Диапазон энергии излучения	
Гамма-излучения	от 0,06 до 1,25 МэВ
Бетта-излучения	от 0,5 до 3 МэВ
Пределы допускаемых значений основных погрешностей измерений	
Мощности полевой эквивалентной дозы гаммы-излучения:	
- в диапазоне (10 — 99,9) мкЗв/ч	± 25 %
Плотности потока бета-излучения с поверхности:	
-в диапазоне (6-6000)-частиц/мин·см	± 40 %
Удельной активности радионуклида цезий-137:	
-в диапазоне (2х10 ³ — 2х10 ⁶)Бк/кг	± 40 %
Энергетическая зависимость показаний при измерениях мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения	не хуже ... ± 25 % (по отношению к показаниям прибора от образцового источника цезий-137)
Время измерения, не превышает	40 с
Питание от батареи типа "Корунд" напряжением	9 В
Габариты, не более	154 х 77 х 39 мм
Масса, не более	0,35 кг

Подготовка прибора РКСБ-104 "Радиян" к измерению загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами

Снимите заднюю крышку-фильтр. Переведите движки кодового переключателя в крайние положения до упора.

Установить крышку-фильтр на прежнее место.

Переведите тумблеры S2 и S3 в верхние положения (РАБ.и^{nx0.01} х0.01 х 200ⁿ соответственно).

Для получения значения загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами, которая характеризуется величиной плотности потока бета-излучения с поверхности с помощью прибора "Радиян" необходимо:

- Поднесите прибор к исследуемой поверхности, поместив между ними пластмассовую упаковку (рис. 4.2), или удалите прибор от этой поверхности на расстояние 110 - 120 см. Включите прибор тумблером S1, установив его в положение "ВКЛ".

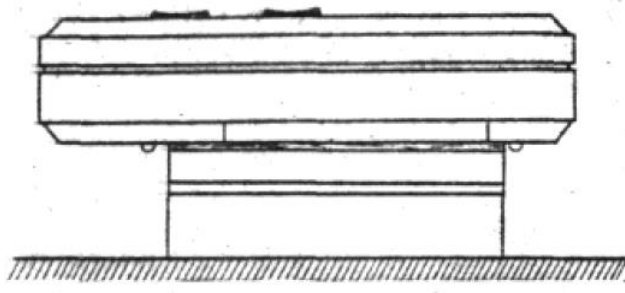


Рисунок 4.2– Расположение прибора

Снимите фоновое показание прибора Φ_γ , которое установится на табло через интервал времени, примерно равный 18 сек. после включения прибора. Запишите показание прибора.

Выключите прибор, установив тумблер S1 в положение "ВЫКЛ.". Снимите заднюю крышку-фильтр и поместите прибор над исследуемой поверхностью на расстояние не более 1 см (рис. 4.3).

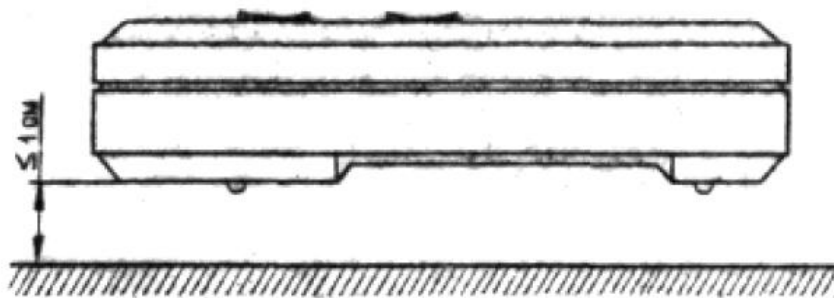


Рисунок 4.3 - Расположение прибора

Включите прибор тумблером S1. Запомните или запишите показание прибора $\Phi_{\beta+\gamma}$, установившееся во время действия прерывистого звукового сигнала.

Определите величину Φ_{β} загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами, которая характеризуется величиной плотности потока бета-излучения с поверхности, по формуле:

$$\Phi_{\beta} = K_I (\Phi_{\beta+\gamma} - \Phi_{\gamma}) \quad (4.1)$$

где Φ_{β} — плотность потока бета-излучения с поверхности в частицах в секунду с квадратного сантиметра;

K_I — коэффициент, равный 0,01 (таблица 2.2);

$\Phi_{\beta+\gamma}$ — показание прибора со снятой крышкой;

Φ_{γ} — показание прибора, соответствующее внешнему радиационному фону гамма-излучения.

Обработка результатов измерения

1. Для каждой точки рассчитать средние значения измеренных величин:

$$\bar{\Phi}_{\beta+\gamma} \text{ и } \bar{\Phi}_{\gamma}$$

2. Для каждой точки рассчитать ошибки измеренных величин:

$$\Delta\bar{\Phi}_{\beta+\gamma} \text{ и } \Delta\bar{\Phi}_{\gamma}$$

3. Для каждой точки рассчитать значение потока β -частиц по формуле

$$\Phi_{\beta} = \overline{\Phi}_{\beta+\gamma} - \overline{\Phi}_{\gamma}.$$

4. Рассчитать для каждой точки абсолютную погрешность величины потока β -частиц $\Phi_{\beta} : \Delta\Phi_{\beta}$

Нарисовать карту загрязнения с указанием значений и абсолютных погрешностей.

Контрольные вопросы.

1. Что такое радиоактивный распад ядер?
2. Взаимодействие ядерных излучений с веществом. Защита от ионизирующих излучений.
3. Биологическое действие ионизирующих излучений.
4. Почему для получения значений фонового β -излучения необходимо предварительно проводить измерения фонового γ -излучения?

Лабораторная работа №5

Измерение объемной и удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{40}K

Цель работы: Провести измерения объемной и удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{40}K с помощью гамма-радиометра РКГ-АТ1320 в различных пробах.

Приборы и принадлежности: гамма-радиометр РКГ-АТ1320 и пробы.

Общие сведения

Активность радионуклида в образце (A).

Активность численно равна отношению числа самопроизвольных ядерных превращений в этом источнике за малый интервал времени (dN) к величине этого интервала (dt) :

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| \quad (5.1)$$

Единица активности в системе СИ — Беккерель (Бк). Антуан Анри Беккерель (фр. AntoineHenriBecquerel; 15 декабря 1852 — 25 августа 1908) — французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике и один из первооткрывателей радиоактивности и поэтому единица активности носит его имя.

Внесистемная единица — Кюри (Ки). Значение 1 Ки изначально было определено как радиоактивность эманации радия (т. е. радона-222), находящейся в радиоактивном равновесии с 1 г ^{226}Ra . Единица названа в честь французских учёных Пьера Кюри и Марии Склодовской-Кюри. Введена в употребление на Интернациональном конгрессе по радиологии и электричеству в Брюсселе (1910). Позже была заменена более удобной для практического использования единицей Беккерелем (Бк).

В таблице 5.1 представлены единицы измерения активности и соотношения между ними.

Таблица 5.1 - Основные радиологические величины и единицы

Величина	Наименование и обозначение единицы измерения		Соотношения между единицами
	Внесистемные	СИ	
Активность нуклида, А	Кюри (Ки, Ci)	Беккерель (Бк, Bq)	1 Ки = 3,7 x 10 ¹⁰ Бк 1 Бк = 1 расп/с 1 Бк=2,7 x 10 ⁻¹¹ Ки

Для характеристики содержания радионуклидов в веществах вводят дополнительные характеристики:

$$\text{Удельная активность: } A_m = \frac{A}{m} = \left[\frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right]$$

$$\text{Объемная активность: } A_v = \frac{A}{V} = \left[\frac{\text{Бк}}{\text{м}^3}, \frac{\text{Бк}}{\text{литр}} \right]$$

$$\text{Поверхностная активность: } A_s = \frac{A}{S} = \left[\frac{\text{Бк}}{\text{м}^2} \right]$$

В выше приведенных формулах m – масса вещества с активностью A , величина V – объем вещества с активностью A , а S – площадь поверхности с активностью A .

Порядок выполнения работы

Подготовить пробы для проведения измерений. Измерительный сосуд должен быть заполнен веществом пробы до отметки или объем пробы должен быть предварительно измерен с погрешностью не более ± 2 %. Необходимо также определить массу пробы с погрешностью не более ± 2 %.

Включить радиометр и подождать пока прогреется .

Поставить пробу и начать измерение удельной активности ^{137}Cs и ^{40}K .

Измерить объемную активность.

Полученные данные занести в таблицы, не забыв указать погрешности.

Провести аналогичные измерения для второй пробы.

Провести сравнительный анализ активностей проб. Сделать выводы, используя результаты измерений.

Контрольные вопросы

1. Виды радиоактивных распадов.
2. Состав ядерных излучений.
3. Что такое активность радиоактивного образца?
4. Что такое удельная активности?
5. Что такое объемная активность?
6. Единицы измерения активностей.
7. Где используют удельную и объемную активности?

Лабораторная работа №6

Измерение удельной активности пробы

Цель работы: Научиться проводить измерения активности γ и β - излучающих изотопов в различных образцах. Получить представление об уровне удельной активности в окружающей среде.

Приборы и принадлежности: РУБ-01П7 с блоком детектирования БДКГ-03П.

Общие сведения

Радиоактивность. Многие ядра не могут существовать бесконечно долго. Эти ядра могут превращаться в другие ядра с испусканием различных частиц.

Явление радиоактивности состоит в самопроизвольном (спонтанном) распаде, при котором испускается одна или несколько частиц. Ядра, которые подвергаются распаду, называются радиоактивными.

Частицы, которые возникают в процессе радиоактивного распада, и есть так называемое ядерное излучение (или радиация) .

Всего в природе найдено 285 стабильных атомных ядра химических элементов. Все остальные ядра, называемые **радиоизотопами** или **радионуклидами**, радиоактивны в той или иной мере. Всего известно около 3000 радионуклидов.

Ядра, не испытывающие радиоактивный распад, называются **стабильными**.

Явление радиоактивности носит статистический характер, т.е. определенные характеристики мы можем указать лишь с определенной вероятностью. Например, через какое время распадется данное ядро.

Проявлением статистического характера будет тот факт, что ядра (одинаковые) будут распадаться за различное время. Поэтому обычно распады характеризуют средним временем жизни τ , которое, как показывают эксперименты, почти не зависит от давления, температуры, а зависит от способа получения ядер и др.

Среднее время жизни является физической характеристикой распада. Эта величина связана с постоянной распада λ , которая дает вероятность распада ядра в единицу времени:

$$\lambda = \frac{1}{\tau} \quad (6.1)$$

Активность. Если в данный момент времени образец содержит радиоизотоп с N ядрами и с постоянной распада λ , то величину A равную

$$A = \lambda \cdot N \quad (6.2)$$

называют **активностью радиоактивного образца.**

Физический смысл активности состоит в следующем: эта величина определяет число радиоактивных распадов, происходящих в источнике за единицу времени, т.е.

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| \quad (6.3)$$

где dN - число ядер, распадающихся в источнике за время dt .

Международной единицей измерения активности является

$$1 \frac{\text{распад}}{\text{секунда}} = 1 \text{ Беккерель (Бк)}$$

Внесистемная единица измерения:

$$1 \text{ Кюри} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк (приблизительно активность 1 грамма радия) .}$$

Для характеристики содержания радионуклидов в веществах вводят дополнительные характеристики: удельная активность, объемная активность, поверхностная активность.

Закон радиоактивного распада. Если в момент t имеется большое число N радиоактивных ядер и если за промежуток dt распадается в среднем dN ядер,

то в соответствии с определением величины λ

$$dN = -\lambda N dt \quad (6.4)$$

Если в момент времени $t = 0$ $N(t = 0) = N_0$, то

$$N(t) = N_0 \exp[-\lambda t]. \quad (6.5)$$

Разделяют естественную и искусственную радиоактивность. Радиоактивность, возникшая на Земле, называется естественной, а искусственная радиоактивность - это радиоактивность синтезируемых ядер.

Известны следующие типы радиоактивных превращений: альфа-распад, сопровождающийся испусканием альфа-частиц (ядер ${}^4\text{He}_2$); бета-распад, который может сопровождаться испусканием электронов (β^- - распад), позитронов (β^+ - распад) или захватом орбитального электрона, чаще всего с K- или L-оболочки (электронный захват); самопроизвольное (спонтанное) деление ядер, при котором из исходного ядра образуются два новых с приблизительно равными массами; протонная и дупротонная радиоактивности, происходящие с испусканием соответственно одного или одновременно двух протонов; дву-нейтронная радиоактивность; распад, связанный с испусканием бета- частиц и сопровождающийся вылетом так называемых запаздывающих частиц (протонов, нейтронов и т.п.).

Различные виды радиоактивности характеризуются следующими свойствами:

1. **Испускание альфа-частицы** атомным ядром уменьшает порядковый номер (заряд) на 2 единицы и его массу на 4 единицы:



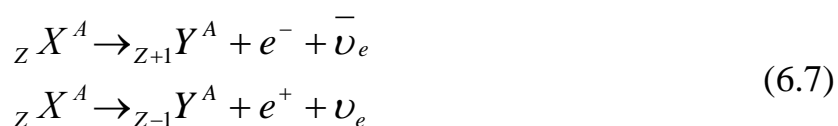
например,



В настоящее время известно около 150 альфа-радиоактивных ядер. Значительная часть этих ядер получена искусственным путем. В естественных условиях существует 30 радиоактивных ядер в трёх радиоактивных семействах.

Нестабильными по отношению к альфа-распаду, как правило, являются ядра с числом протонов больше 83. Однако есть альфа-излучатели и среди редкоземельных элементов.

2. Излучение бета-частицы атомным ядром повышает или понижает порядковый номер (заряд) ядра на одну единицу



Захват ядром электрона, обычно с наиболее низкого электронного энергетического уровня (из К-оболочки), приводит к уменьшению порядкового номера (заряда) ядра на одну единицу.

3. Испускание гамма-излучения. В этом случае никаких изменений порядкового номера ядра не происходит, а изменяется только энергетический уровень ядра:



Например, реакция ${}^{135*}\text{Ba}_{56} \rightarrow {}^{135}\text{Ba}_{56} + \gamma$ является гамма-распадом возбужденного ядра бария. Символом * обозначено ядро, находящееся в возбужденном состоянии. Ядро возвращается в свое основное состояние, испуская квант.

Описание прибора РУБ-01П7.

Радиометр РУБ-01П7 (рис. 6.1) предназначен для измерения удельной и объемной активности проб объектов внешней среды, содержащих радионукли-

ды цезия-134 или цезия-137 или оба при известном процентном соотношении.



Рисунок 6.1 - РадиометрРУБ-01П7

Радиометры можно использовать для контроля жидких, сыпучих, пастообразных и других проб различных пищевых продуктов, в том числе проб сельскохозяйственной продукции с удельной плотностью $0,2-1,5 \text{ г/см}^3$ любой влажности. Методика измерений согласована с различными ведомствами: с Минсельхозом, Госстандартом РФ и др.

Приборы предназначены для служб радиационной безопасности, станций санитарно-эпидемиологического контроля, лабораторий, в том числе полевых передвижных лабораторий.

ПриборРУБ-01П7широко используется при массовом контроле при массовом контроле большого количества проб, прецизионных измерений проб малой активности.

РадиометрРУБ-01П7состоит из блока детектирования БДКГ-03П и измерительного устройства УИ-38П2. В качестве детектора применён сцинтилляционный кристалл NaI (TL) размером 63х63 мм. Для уменьшения влияния внешнего гамма-фона блок детектирования размещён в сборной свинцовой защите с толщиной стенок 50 мм. Контролируемую пробу размещают в измерительной кювете (сосуд Маринелли) объёмом 1 л.

Измерительное устройство УИ-38П2 осуществляет накопление и переработку импульсов, поступающих с блока детектирования, и вывод информации на цифровые индикаторы, а также на анализатор амплитуд импульсов при измерении спектрального состава контролируемого излучения. Для дополнитель-

ной обработки результатов измерения в УИ-38П2 предусмотрен вывод на ПЭВМ. Измерительное устройство выполнено в переносном варианте. Измерительное устройство выполнено в переносном варианте.

Информация о результатах измерения выводится на ЖК табло.

Имеется методика использования радиометра РУБ-01П7 в качестве счётчика излучения человека (СИЧ).

Технические характеристики прибора представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Технические характеристики радиометра РУБ-01П7

диапазон измерения	
Бк / кг (л)	5-2. 10 ⁵
[Ки / кг (л)]	[1,5·10 ⁻¹⁰ – 5·10 ⁻⁶]
основная погрешность измерения в доверительном интервале 0,95 , %	
в диапазоне 20-100 Бк / кг (л)	±50
в диапазоне выше 100 Бк / кг (л)	±25
время измерения активности радионуклида 20 Бк / л в воде, не более, мин	5
масса измеряемых проб, кг	0,2-1,5
собственный фон при измерениях в защите из свинца 50 мм, не более, с -1	7
связь с ЭВМ (РУБ-01П7)	канал RS-232
время непрерывной работы, не более, ч :	
при питании от автономного источника	8
при питании от сети	24
потребляемая мощность, Вт	15
рабочий диапазон температур, °С	от +5 до +35
влажность при 30 °С, %	до 90
габаритные размеры, мм :	
измерительного устройства	325x215x115
блока детектирования	100x270
свинцовой защиты	336x490x761
масса, кг :	
измерительного устройства	4,5
блока детектирования	2,5
свинцовой защиты	130

Для радиационного контроля продуктов питания применяются различные типы радиометрических приборов: бета-радиометры КРВП-3АБ, "Бета" и др.; гамма-радиометры РКГ-05П, РУБ-01П, СРП-68-01, РУГ-92 и др.

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с устройством и принципом работы РУБ-01П.

Взять готовые пробы

Провести измерение фона N_{ϕ} прибора 10 - 15 раз по 100 - 200 сек.

Поместить в отсек первую пробу исследуемого образца и провести измерения (измерить величину $N_{обр}$).

Поместить в отсек вторую пробу исследуемый образец и провести измерения.

Результаты измерений занести в таблицу 6.2:

Таблица 6.2 – Результаты измерений

№	N_{ϕ}	n_{ϕ}	$N_{обр}$	$n_{обр}$	$n_{эф}$	изотоп Sr^{90} , Бк/кг	изотоп Cs^{137} , Бк/кг
1							
2							
...							

Обработка результатов измерения

1. Рассчитать средние значения и случайные ошибки для N_{ϕ} и $N_{обр}$.
2. Определить

$$\bar{n}_{обр} = \frac{\bar{N}_{обр}}{t} \quad (6.9)$$

где t - время измерения и аналогично среднее значение для фона прибора - \bar{n}_{ϕ} .

3. Рассчитать эффективную скорость счета $n_{эф} = \bar{n}_{обр} - \bar{n}_ф$ и ошибку $\Delta n_{эф}$.

4. Рассчитать удельную активность образца для различных радиоактивных изотопов по формуле:

$$A = \frac{n_{эф}}{P} \quad (6.10)$$

где - P - чувствительность радиометра (табл. 6.3)

Таблица 6.3 - Чувствительность радиометра РУБ-01П7

Радионуклид	Тип пробы	Чувствительность, P	Относительный коэффициент перехода, $кг^{-1} \cdot л^{-1}$
		$\frac{кг}{сек \cdot Бк}$, $\frac{л}{сек \cdot Бк}$, $сек^{-1} \cdot Бк^{-1}$	
$^{90}Sr + ^{90}Y$	Вода,молоко, кефир, сыпучие среды	$4 \cdot 10^{-5}$	$2,75 \cdot 10^3$
	Таблетированные пробы	$5,3 \cdot 10^{-2}$	2,1
$^{106}Ru + ^{106}Rh$	Вода,молоко, кефир, сыпучие среды	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^3$
	Таблетированные пробы	$3,6 \cdot 10^{-2}$	3
^{137}Cs	Вода,молоко, кефир, сыпучие среды	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^4$
	Таблетированные пробы	$3,6 \cdot 10^{-2}$	3
^{134}Cs	Вода,молоко, кефир, сыпучие среды	$1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^4$
	Таблетированные пробы	$2,7 \cdot 10^{-2}$	4

Контрольные вопросы

1. Явление радиоактивности.
2. Виды радиоактивных распадов.
3. Что такое активность радиоактивного образца?
4. Единицы измерения активности.
5. РУБ-01Пназначение и сфера применения.
6. Основной закон радиоактивного распада.

Лабораторная работа № 7

Определение содержания йода-131 в щитовидной железе

Цель работы: Изучение правил работы с дозиметрическим оборудованием. Изучение избирательного накопления радионуклидов в организме человека на примере радиоактивного йода.

Приборы и принадлежности: прибор типа СРП-68.

Общие сведения

Радиоактивные элементы часто ведут себя, как и подобные им не радиоактивные элементы. Именно этот факт и лежит в основе причин их попадания в организм человека. Например, если наши органы не получают достаточное количество таких жизненно необходимых веществ, как кальций и калий, в течение длительного времени, то организм начинает интенсивно поглощать доступные в данный момент радиоактивные вещества, подобные недостающим: стронций и цезий. Таким образом, недостаток тех или иных веществ в условиях радиоактивного загрязнения приводит к замене их радиоактивными аналогами. Радиоактивные аналоги некоторых веществ указаны в таблице 2.9.

Таблица 7.1 - Радиоактивные аналоги некоторых микроэлементов и веществ

Стабильные вещества	Радионуклид
Кальций, фосфор	^{90}Sr
Йод	^{131}I
Калий	$^{137}\text{Cs}, ^{40}\text{K}$
Железо	$^{238,239}\text{Pu}$
Сера	^{135}S
Витамин В12	^{60}Co
Цинк	^{65}Zn

При этом, поступая в организм, элементы, распределяются не всегда равномерно, а накапливаются в определенных тканях или органах. Поэтому каждому радиоактивному элементу соответствует свой орган или группа органов, которые называют критическими.

Критический орган - это орган, в котором концентрация радионуклидов максимальна. Знания об этом сильно продвинулись вперед благодаря применению радиоизотопов. Условно выделяют три группы критических органов в порядке убывания: I, II, III группы, для каждой из которых установлен свой потолок.

Ориентиром для оценки суммарного содержания радионуклида в организме служит **кратность накопления** - отношение максимально накопленного количества элемента в организме или органе к величине ежедневного поступления.

Кратность накопления зависит от всасывания радионуклида, скорости выведения вследствие интенсивности обменных процессов, периода полураспада радионуклида. Если период полураспада элемента больше, чем продолжительность жизни человека, то кратность накопления радионуклида практически ничем не отличается от кратности накопления стабильных аналогов. Кратность накопления в организме радиоизотопа данного химического элемента меньше кратности накопления стабильного, вследствие наличия распадов.

Одним из важнейших факторов в образовании дозы является эффективный период полувыведения радионуклида из организма $T_{эф}$. Любой стабильный нуклид может выводиться из организма за счет минерального (биологического) обмена веществ. Обозначим вероятность такого выведения в единицу времени - $\lambda_{биол}$. Но количество радионуклидов уменьшается и за счет собственного распада, который характеризуется постоянной распада λ .

Тогда эффективная постоянная распада и выведения $\lambda_{эф}$, которая характеризует вероятность выведения радионуклида из организма в единицу времени, равна сумме постоянных λ и $\lambda_{биол}$:

$$\lambda_{эф} = \lambda_{биол} + \lambda \quad (7.1)$$

Используя соотношения

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\ln 2}{T}, \\ \lambda_{эф} &= \frac{\ln 2}{T_{эф}}, \\ \lambda_{биол} &= \frac{\ln 2}{T_{биол}}\end{aligned}\quad (7.2)$$

где T - периода полураспада;

$T_{биол}$ - период полувыведения радионуклида из организма за счет обмена веществ;

$$T_{эф} = \frac{T \cdot T_{биол}}{T + T_{биол}} \quad (7.3)$$

Значение $T_{эф}$ может значительно отличаться как от периода полураспада T , так и от $T_{биол}$. Радионуклиды полностью определяются свойствами организма и для обратной ситуации $T \ll T_{биол}$, и соответственно уменьшение количества радионуклидов происходит в основном за счет радиоактивного распада.

В таблице 7.2 приведены примерные значения $T_{эф}$ для некоторых элементов.

Таблица 7.2 - $T_{эф}$ для радиоизотопов йода, цезия и стронция

Радионуклид	Период $T_{эф}$
^{131}I	8 дней
^{137}Cs	100 - 140 дней для взрослых; 40 - 70 дней для детей
^{90}Sr	> 10 лет

Для того чтобы уменьшить поступление радионуклидов в организм, про-

дукты питания должны иметь достаточное для жизнедеятельности количество микроэлементов (калий, кальций, селен, йод и др.). "Насыщение" организма стабильными микроэлементами снижает вероятность накопления радиоактивных аналогов. Такой способ иногда называют методом «блокировки»

Накопление радионуклида йода-131

При нормальной работе ядерных реакторов поступление радиоактивных веществ во внешнюю среду достаточно мало, поэтому отсутствует необходимость проведения контроля внутреннего облучения населения. При аварийном выбросе радиоактивных веществ возникает реальная опасность их попадания в организм не только у персонала, непосредственно обслуживающего реактор или занятого ликвидацией аварии, но и у населения, проживающего на прилегающих территориях. В подобных ситуациях появляется необходимость оперативного определения количества радиоактивных веществ, попавших или могущих попасть в организм, с целью оценки вероятных уровней радиационного воздействия. Эти данные используются не только для установления факта внутреннего облучения, но и для определения степени его опасности.

В общем случае при аварии ядерного реактора во внешнюю среду может поступить в том или ином соотношении практически весь набор радионуклидов, образовавшихся в активной зоне. Среди них особое место занимают радиоактивные изотопы йода, и в частности йод-131, который, как правило, является ведущим фактором внутреннего облучения людей в период, непосредственно следующий после аварии на ядерном реакторе.

Поступление радионуклидов в организм человека происходит главным образом с вдыхаемым воздухом в период прохождения радиоактивных продуктов выброса, а также при употреблении различных продуктов питания, произведенных на территориях, подвергнувшихся радиоактивному загрязнению. К числу особо критических продуктов питания - поставщиков радиоактивного йода в организм человека - относится молоко, полученное от коров и коз, кото-

рые паслись на местных пастбищах, а также овощи и фрукты, подвергнувшиеся поверхностному загрязнению.

Йод, поступивший любым путем в организм человека, практически весь концентрируется в щитовидной железе т.е. этот орган для радионуклидов йода является **критическим**. Отметим, что для многих радионуклидов имеются свои критические органы. Так, например, радиоактивный стронций в основном накапливается в костной ткани, радиоактивный цезий в печени и в мышечной ткани.

Внутреннее облучение в первый период после аварии в основном определяется дозами излучения, создаваемыми радионуклидами йода. Способность йода, попавшего в организм, накапливаться в щитовидной железе позволяет достаточно просто и быстро определять его содержание по интенсивности гамма-излучения, которое испускает радиоактивный йод. Для этого можно использовать различные дозиметрические приборы.

Описание прибора СРП-68-01.

Измерительный прибор СРП-68-01 применяется при ведомственном, производственном и общественном радиационном контроле различных объектов. Данный прибор относится к профессиональным поисковым переносным средствам измерения и является штатным прибором измерения радиации различных служб народного хозяйства.

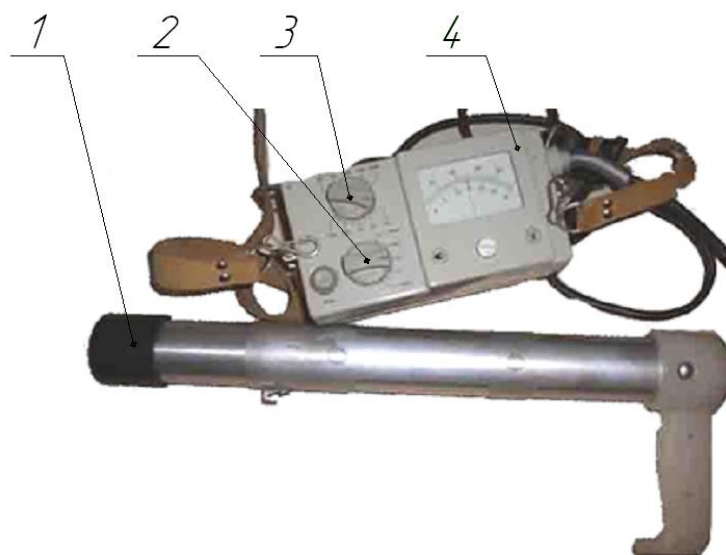
Прибор измерения радиации СРП-68-01 имеет преимущественно поисковую функцию. Он даёт возможность оперативно и быстро отображать уровень загрязнения по гамма-излучению материальных ресурсов и воздушной среды.

Измерительный прибор СРП-68-01 имеет высокую чувствительность при поиске радиоактивных загрязнений и обладает высокой надежностью при эксплуатации в полевых условиях в сравнении с другими аналогами (в том числе и современными), а также минимальную массу и габариты.

Технические характеристики прибора СРП-68-01 представлены в таблице 4.1.

Таблица 7.3 - Технические характеристики прибора СРП-68-01

Наименование	Значение
диапазон измерения потока фотонного излучения	0 - 3000 мкР/ч
начальный энергетический порог регистрации	20 кэВ
пределы допускаемой основной погрешности	±10 %
пределы допускаемой дополнительной погрешности при измерении температуры на 10° С	±1 %
нелинейность градуировочных характеристик, не более,	±5 %
ресурс работы батарейного питания	100 ч
рабочая температура	от -20 до +50 °С
масса без укладочного кейса	3,6 кг
масса с укладочным кейсом	9,5 кг



1 – измерительный пульт, 2 - переключатель рода работ, 3 - переключатель предела измерений, 4 - датчик прибора

Рисунок 7.1 - Сцинтилляционный радиометр СРП-68-01

При необходимости заменить батареи питания в измерительном пульте. Перевести переключатель рода работ в положение ВЫКЛ, проверить расположение стрелки измерительного прибора в положении на нуле, если стрелка не находится на нулевом положении, то установить ее на нуль корректором, предварительно отвернув заглушку на панели пульта.

Переключатель предела измерений (ПИ) перевести на соответствующий предел – мкР/ч. Предел измерения следует выбирать так, чтобы показания прибора были не менее 30 % полной шкалы. В зависимости от мощности экспозиционной дозы (МЭД) необходимо с помощью переключателя РР установить постоянную времени 2,5 или 5 с. При постоянной времени 5 с повышается точность и инерционность прибора. Погрешность измерений можно существенно уменьшить, если вычислить показание в данной точке как среднее арифметическое из 5-10 измеренных величин за 30–60 с наблюдения.

Прибор настраивается на оптимальный режим согласно инструкции по эксплуатации прибора. Чувствительность радиометра, определяемая по контрольному источнику гамма-излучения, должна соответствовать паспортным данным. Все радиометры, предназначенные для измерения гамма-фона, должны предварительно градуироваться в поверочных лабораториях, имеющих соответствующие разрешения на проведение подобных работ. При проведении измерений образцов датчик прибора прикладывается непосредственно к образцу.

Методика определения содержания йода-131 в щитовидной железе по измеренной мощности экспозиционной дозы гамма-излучения

Обязательным условием корректности измерения содержания йода-131 в щитовидной железе является отсутствие наружного радиоактивного загрязнения тела и личной одежды. Наружное загрязнение тела можно контролировать с помощью β - или γ -радиометров. При этом следует помнить, что повышенная мощность излучения может быть обусловлена не только внешним загрязнением, но и содержанием других радионуклидов в организме. Поэтому в качестве фона метода следует принимать показания прибора при помещении датчика (регистрирующей части прибора) вплотную к плечевой части руки.

Содержание йода-131 в щитовидной железе вычисляют по результатам двух измерений:

$$Щ(t) = K \frac{P_{ш}(t) - P_{пл}(t)}{r} \quad (7.4)$$

где Щ-содержание йода-131 в щитовидной железе на момент измерения, Бк (мкКи);
 t- время, прошедшее после аварийного выброса до момента измерения в сутках;
 К– пересчетный коэффициент, Бк/(мР/ч) или Бк/(мкР/сек) [мкКи/(мР/ч) или мкКи/(мкР/с)];
 $P_{ш}(t)$ - максимальное значение мощности экспозиционной дозы гамма - излучения, измеренной при перемещении датчика прибора вплотную к основанию шеи между долями щитовидной железы, мР/ч (мкР/с);
 $P_{пл}$ (^-максимальное значение мощности экспозиционной дозы гамма- излучения, измеренной при перемещении датчика прибора вплотную к плечевой части руки (фон метода), мР/ч (мкР/с);
 r- поправка на у-излучение йода-133 и йода-135 в первые дни аварий в отн. ед.

Для приборов типов СРП-68 и ДРГ 3-01 при обследовании взрослого населения пересчетный коэффициент $K = 10 \text{ мкКи}/(\text{мкР}/\text{с}) = 2,8 \text{ мкКи}/(\text{мР}/\text{ч})$. Значения коэффициента при обследовании детей следует уменьшить в два раза для возраста менее 3 лет и в 1,5 раза для возраста 3 — 10 лет. При использовании различных образцов приборов систематическое отклонение пересчетного коэффициента в меньшую или большую сторону от указанных значений не превышает 30 %.

Значения поправочного коэффициента r в первые дни после начала аварии приведены в таблице 2.11.

Таблица 7.4 - Значения коэффициента r для различных промежутков времени после аварии

Момент измерения после начала аварии, сут.	1	2	3	4	5	6
Значения попр. коэффициента r	3,1	1,8	1,3	1,2	1,1	1,0

Если по каким-либо причинам мощность дозы гамма-излучения щито-

видной железы измеряли на некотором удалении торца датчика от шеи, в формулу (7.4) следует ввести поправочный множитель (табл. 7.5).

Таблица 7.5 - Значения поправочного множителя в формуле (7.7)

Расстояние от торца датчика до поверхности шеи, см	1	1,5	2	2,5	3
Дополнительный множитель, от.ед.	2	2,6	3,3	4,0	4,8

Абсолютная ошибка величины $P_{щ}(t) - P_{пл}(t)$, которую обозначим как Δ , находится как

$$\Delta = \sqrt{\Delta P_{щ}^2 + \Delta P_{пл}^2} \quad (7.5)$$

Здесь $\Delta P_{щ}$ и $\Delta P_{пл}$ - абсолютные погрешности величин $P_{щ}$ и $P_{пл}$.

Содержание йода-131 в щитовидной железе считается достоверным, если $P_{щ} - P_{пл} > 1,5 \cdot \Delta$.

Величина $Щ_0 = 1,5 \cdot \Delta \cdot \frac{K}{r}$ - считается пределом чувствительности измерения содержания йода-131 в щитовидной железе при фактических условиях измерения.

Порядок выполнения работы

Найти абсолютную ошибку Δ , а также оценить предел чувствительности на данный момент времени.

Прибором типа СРП измерить значение мощности дозы на плече исследуемого человека $P_{пл}$ (фон метода).

Приложив торцевой счетчик прибора СРП в плотную к горлу между долями щитовидной железы (но не сильно вдавливая), измерить мощность дозы $P_{щ}$.

С помощью этого же прибора или бета - радиометра провести контроль одежды (фон одежды не должен превышать 1,5 фона воздуха).

Каждое измерение должно проводиться не менее 5 раз.

Обработка результатов измерения

1. По полученным значениям средним значениям $R_{Щ}$ и $R_{пл}$, рассчитать содержание йода-131 в щитовидной железе Щ.
2. Найти абсолютную ошибку Δ , так же оценить предел чувствительности на данный момент времени.
3. Оценить результаты с точки зрения точности. Сделать выводы о возможном содержании радиоактивного йода.

Контрольные вопросы

1. Какие радиоактивные изотопы йода вы знаете? Дайте характеристики этих изотопов.
2. Какие меры профилактики необходимы для того, чтобы радиоактивный йод не попал в щитовидную железу?
3. Единицы измерения дозиметрических величин.
4. Что такое критический орган для данного радионуклида?
5. Единицы измерения активности.

Лабораторная работа № 8

Измерение мощности эквивалентной дозы ионизирующего фотонного излучения, и плотности потока альфа-, бета-излучения дозиметром-радиометром ДРБП-03

Ионизирующее излучение – это электромагнитные излучения, которые создаются при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образуют при взаимодействии со средой ионы различных знаков.

Наиболее значимы следующие типы ионизирующего излучения: [1][2][3][4]

Коротковолновое электромагнитное излучение (поток фотонов высоких энергий):

рентгеновское излучение;

гамма-излучение.

Карпускулярное (потоки частиц):

бета-частиц (электронов и позитронов);

альфа-частиц (ядер атома гелия-4);

нейтронов;

протонов, других ионов, мюонов и др.;

осколков деления (тяжёлых ионов, возникающих при делении ядер).

Природные источники ионизирующего излучения:

Спонтанный радиоактивный распад радионуклидов.

Термоядерные реакции, например на Солнце.

Индукцированные ядерные реакции в результате попадания в ядро высокоэнергетичных элементарных частиц или слияния ядер.

Космические лучи.

Искусственные источники ионизирующего излучения:

Искусственные радионуклиды.

Ядерные реакторы.

Ускорители элементарных частиц (генерируют потоки заряженных частиц, а также тормозное фотонное излучение).

Рентгеновский аппарат как разновидность ускорителей, генерирует тормозное рентгеновское излучение.

Многие стабильные атомы в результате облучения и соответствующей индуцированной ядерной реакции превращаются в нестабильные изотопы. В результате такого облучения стабильное вещество становится радиоактивным, причем тип вторичного ионизирующего излучения будет отличаться от перво-

начального облучения. Наиболее ярко такой эффект проявляется после нейтронного облучения.

В процессе ядерного распада или синтеза возникают новые нуклиды, которые также могут быть нестабильны. В результате возникает цепочка ядерных превращений. Каждое превращение имеет свою вероятность и свой набор ионизирующих излучений. В результате интенсивность и характер излучений радиоактивного источника может значительно меняться со временем.

По механизму взаимодействия с веществом выделяют непосредственно потоки заряженных частиц и косвенно ионизирующее излучение (потоки нейтральных элементарных частиц - фотонов и нейтронов). По механизму образования - первичное (рождённое в источнике) и вторичное (образованное в результате взаимодействия излучения другого типа с веществом) ионизирующее излучение.

Энергия частиц ионизирующего излучения лежит в диапазоне от нескольких сотен электронвольт (рентгеновское излучение, бета-излучение некоторых радионуклидов) до 10^{15} - 10^{20} и выше электронвольт (протоны космического излучения, для которых не обнаружено верхнего предела по энергии).

Длина пробега и проникающая способность сильно различаются – от микрометров в конденсированной среде (альфа-излучение радионуклидов, осколки деления) до многих километров (высокоэнергетические мюоны космических лучей).

Для учёта биологического эффекта поглощённой дозы была введена эквивалентная поглощённая доза ионизирующего излучения, численно равная произведению поглощённой дозы на коэффициент биологической эффективности. В системе СИ эффективная и эквивалентная поглощённая доза измеряется в зивертах (Зв, англ. sievert, Sv).

Ранее широко применялась единица измерения эквивалентной дозы бэр (Биологический Эквивалент Рентгена для гамма-излучения, англ. rem). Эквивалентная доза 1 бэр соответствует облучению гамма-квантами с поглощённой дозой 1 рентген. Эквивалентная поглощённая доза приводится к поглощённой дозе гамма-излучения, поскольку массовые измерительные приборы регистрируют в основном именно гамма-излучение, и такая величина наиболее соответствует возможностям измерений. Для рентгеновского и гамма-излучений $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$, соответственно принимают, что $1 \text{ рентген} = 0,01 \text{ Зв}$.

Помимо биологической эффективности, необходимо учитывать проникающую способность излучений. Например, тяжёлые ядра атомов и альфа-частицы имеют крайне малую длину пробега в сколько-нибудь плотном веществе, поэтому радиоактивные альфа-источники опасны при попадании внутрь организма. Наоборот, гамма-излучение обладает значительной проникающей способностью.

Некоторые радиоактивные изотопы способны встраиваться в процесс обмена веществ живого организма, замещая неактивные элементы. Это приводит к удержанию и накоплению радиоактивного вещества непосредственно в живых тканях, что существенно увеличивает опасность контакта. Например, широко известны йод-131, изотопы стронция, плутония и т.п.. Для характеристики этого явления используется понятие период полувыведения изотопа из организма.

Ионизирующие излучения применяются в различных отраслях:

В технике

Интроскопия (в том числе для досмотра багажа и людей в аэропортах).

Стерилизация медицинских инструментов, расходных материалов и продуктов питания.

«Вечные» люминесцентные источники света широко использовались в середине 20-го века в циферблатах приборов, подсветке специального оборудования, елочных игрушках, рыболовецких поплавах и т. п..

Датчики пожара (задымления).

Датчики и счетчики предметов на принципе перекрытия предметом узкого гамма- или рентгеновского луча.

Некоторые виды изотопных генераторов электроэнергии.[16][17]

Ионизация воздуха (например, для борьбы с пылью в прецизионной оптике или облегчения пробоа в автомобильных свечах зажигания[18]).

В медицине

Для получения картины внутренних органов и скелета используют рентгенография, рентгеноскопия, компьютерная томография.

Для лечения опухолей и других патологических очагов используют лучевую терапию: облучение гамма-квантами, рентгеном, электронами, тяжёлыми ядерными частицами, такими как протоны, тяжёлые ионы, отрицательные п-мезоны и нейтроны разных энергий.

Введение в организм радиофармацевтических препаратов, как с лечебными, так и с диагностическими целями.

В аналитической химии

Радиоактивационный анализ путем бомбардировки нейтронами и анализа характера и спектра наведенной радиоактивности.

Анализ веществ с использованием спектров поглощения, испускания или рассеяния гамма- и рентгеновских лучей, рентгенофлуоресцентный анализ.

Анализ веществ с использованием обратного рассеяния бета-частиц[19].

В нанотехнологиях

Ионно-трековая технология

Описание прибора

Дозиметр-радиометр ДРБП-03 (рис. 8.1) предназначен для измерения мощности амбиентной эквивалентной дозы (МЭД) и эквивалентной дозы фотонного ионизирующего (рентгеновского и гамма) излучения (ЭД), плотности потока альфа и бета частиц.



1 - пульт регистрации, 2 - блок детектирования БДБА-02, 3 - блок детектирования БДГ-01, 4 - штанга, 5 - крышка-фильтр сплошная, 6 - рабочая крышка (с секторными окнами), 7 - зарядное устройство, 8 - аккумулятор, 9 - головные телефоны, 10 - паспорт, техническое описание и инструкция по эксплуатации

Рисунок 8.1 - Дозиметр-радиометр ДРБП-03

Внешний вид передней панели показан на рисунке 8.2.



Рисунок 8.2 - Внешний вид передней панели

Основные технические характеристики ДРБП-03 приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Основные технические характеристики

Диапазон энергий регистрируемого ионизирующего фотонного излучения, МэВ	0,05-3,0
Диапазон энергий регистрируемого альфа-излучения бета-излучения, МэВ	Pu-239 0,15-3,5
Диапазон измерения мощности эквивалентной дозы, мкЗв/ч	0,10-3x10 ⁶
Диапазон измерения эквивалентной дозы, мЗв	0,01-10 ⁴
Диапазон измерения плотности потока частиц, см-2с-1	0,10-700
Основная относительная погрешность измерения, %	±15
Напряжение питания (батарея типа "Корунд", аккумулятор типа 7Д-0,125), В	9
Устойчивость и прочность к механическим воздействиям	V3 ГОСТ12997-84
Рабочие условия эксплуатации прибора	-20oC...+50,°C, 95% влажности при 35°С
Масса полного комплекта, кг	3

Дозиметр-радиометр ДРБП-03 конструктивно выполнен в виде базового блока в металлическом корпусе со встроенными детекторами и набора выносных блоков детектирования. Прибор комплектуется удлинительной штангой и блоком зарядки аккумулятора.

Измерительный блок (пульт) выполнен в виде носимой конструкции, которая закрепляется на поясном ремне и имеет скобы для ремешка для ношения на шее. Блок имеет металлический корпус, внутри которого размещены все элементы, включая элемент питания. Органы управления и индикации размещены на лицевой панели прибора. Разъем типа 2РМ-7 для подключения выносных датчиков и крышка аккумуляторного отсека расположены на боковой стенке прибора. На задней плоскости прибора находится разъем для подключения головных телефонов.

Блоки детектирования БДБА-02 и БДГ-01, снабженные соответственно газоразрядными детекторами "Бета-2" и СБМ-32, выполнены в металлических корпусах и имеют гибкие соединительные кабели с разъемами для подключения к пульта. Блок детектирования БДБА-02 снабжен комплектом защитных крышек-фильтров.

В комплект прибора входит трехколенная штанга, на которой могут быть

закреплены блоки детектирования БДБА-02 и БДГ-01.

В целом комплект прибора укладывается в ящик-футляр с габаритными размерами 340×330×115 мм, снабженный ручкой для переноски.

Применение ДРБП-03:

оперативный дозиметрический контроль радиационной обстановки;

исследование радиационных аномалий;

составление радиационных карт местности;

обнаружение загрязнения одежды, стен, полов и т.п.

Дозиметр-радиометр ДРБП-03 конструктивно выполнен в виде базового блока в металлическом корпусе со встроенными детекторами и набора выносных блоков детектирования. Прибор комплектуется удлинительной штангой и блоком зарядки аккумулятора.

Измерение различных видов излучения осуществляется с помощью набора сменных блоков детектирования и встроенных в измерительный блок детекторов. Все детекторы представляют собой газоразрядные счетчики Гейгер-Мюллера с системой фильтров и экранов.

Измерение мощности эквивалентной дозы ионизирующего фотонного излучения, плотности потока альфа и бета излучения основано на измерении скорости счета импульсов, поступающих в счетную схему прибора от газоразрядных детекторов. Измерение эквивалентной дозы ионизирующего фотонного излучения основано на подсчете импульсов.

Подключение блоков детектирования к пульту осуществляется при помощи гибкого кабеля, имеющего разъем. При этом при подключении блока детектирования прибор можно переключить в режим работы с этим блоком. Управление работой дозиметра-радиометра осуществляется при помощи шестикнопочной клавиатуры.

Встроенные в пульт детекторы СБМ-32 и СИ-34ГМ позволяют параллельно с измерением какого-либо вида излучения, определяемого подключаемым к пульту блоком детектирования, измерять мощность эквивалентной дозы и эквивалентную дозу ионизирующего фотонного излучения.

Пульт обладает следующими дополнительными возможностями:

подсветкой индикатора – для работы в условиях плохой освещенности в темноте;

режим «поиск» - для быстрой оценки радиационной обстановки;

режим «эконом» - для сокращения энергопотребления;

установка пороговых значений тревожной сигнализации для выбранного канала измерения;

функцией усреднения и вычитания фоновых значений – для удобства об-

работки информации;

звуковая индикация при превышении установленных порогов.

При напряжении питания ниже 7 В на индикаторе отображается знак «V». В этом случае элемент питания необходимо заменить (зарядить аккумулятор).

При измерении плотности потока альфа и бета излучения следует помнить о том, что повреждение защитной пленки детектора «Бета-2» (блок детектирования БДБА-02) может вывести детектор из строя.

В случае появления на табло индикатора знака «V» измерения могут проводиться с учетом того, что точность измерения может существенно уменьшиться.

Не допускать падение прибора с высоты более 0,5 м.

В приборе предусмотрена возможность подключения внешних головных телефонов сопротивлением 32 Ом к разъему типа JC-114, размещенного в нижней части прибора.

Оперативный дозиметрический контроль радиационной обстановки; исследование радиационных аномалий; составление радиационных карт местности; обнаружение загрязнения одежды, стен, полов и т.п.

Подготовка к работе

Установите элемент питания (батарею или аккумулятор) в батарейный отсек. Проверка работы детекторов. Включите дозиметр-радиометр, для чего нажмите кнопку 1 (рис.8.2). Пульт автоматически перейдет в режим счета по каналу 1, Счет по всем каналам измерения происходит следующим образом: на индикаторе появятся цифры «00.00» и символы, соответствующие каналу измерения, и начнется счет, сопровождающийся звуковыми сигналами, пропорциональными скорости счета. На индикаторе каждые 0,5 с будет появляться текущее среднее значение МЭД. По окончании счета производится звуковой сигнал длительностью 1 с и результаты измерения в течении времени измерения индицируются на табло. Затем результат измерения обновляется и т.д. При превышении скорости счета 10^4 с^{-1} время измерения сокращается.

Для выбора канала измерения используйте кнопку 6 («Канал»). Выбор канала измерения происходит при последовательных нажатиях кнопки 6 в следующем порядке:

а) В случае если выносные блоки детектирования не подключены к пульту:

канал 1 (встроенные детекторы СБМ-32, символ на индикаторе « $\mu\text{Sv/h}$ »)⇒

канал 2 (встроенный детектор СИ-34ГМ, символ на индикаторе « mSv/h »)⇒

канал 1 и т.д.

б) В случае если к пульту подключен выносной блок детектирования БДБА-02:

канал 1 (встроенные детекторы СБМ-32, символ на индикаторе « $\mu\text{Sv/h}$ »)⇒

канал 3 (блок БДБА-02, символы на индикаторе « $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ » и « β »)⇒

канал 3' (блок БДБА-02, символы на индикаторе « $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ » и « A »)⇒

канал 2 (встроенный детектор СИ-34ГМ, символ на индикаторе « mSv/h »)⇒

канал 1 и т.д.

в) В случае если к пульту подключен выносной блок детектирования БДГ-01:

канал 1 (встроенные детекторы СБМ-32, символ на индикаторе « $\mu\text{Sv/h}$ »)⇒

канал 4 (блок детектирования БДГ-01, символы на индикаторе « $\mu\text{Sv/h}$ » и « $\gamma 1$ »)⇒

канал 2 (встроенный детектор СИ-34ГМ, символ на индикаторе « mSv/h »)⇒

канал 1 и т.д.

Просмотр накопленной эквивалентной дозы. Для просмотра накопленной эквивалентной дозы (далее дозы) в режиме измерения по любому каналу нажмите кнопку 3 («Доза»). На индикаторе появится значение накопленной эквивалентной дозы, ее размерность « mSv » и символы « $\gamma 2$ », « D ». Для выхода из режима просмотра дозы повторно нажмите кнопку 3 («Доза»).

Порядок работы

Измерение МЭД рентгеновского и γ -излучения встроенными детекторами (канал 1) в диапазоне 0.10 - 1000.0 мкЗв/ч.



Выберите канал измерения 1 (в соответствии с п.6.1.2.), направьте дозиметр-радиометр верхней поверхностью в сторону предполагаемого источника излучения (геометрический центр детекторов отмечен крестом) и произведите измерения.

Примечание: На индикаторе в соответствии с каналом должен появиться символ « $\mu\text{Sv/h}$ ».

Измерение МЭД рентгеновского и γ -излучения встроенным детектором (канал 2) в диапазоне 0.10 - 3000 мЗв/ч.

Выберите канал измерения 2, направьте дозиметр-радиометр в сторону предполагаемого источника излучения (геометрический центр детекторов отмечен крестом) и произведите измерения.

Примечание: На индикаторе в соответствии с каналом должен появиться символ « mSv/h ».

Измерение МЭД рентгеновского и γ -излучения выносным блоком детектирования БДГ-01 (канал 4) в диапазоне 0.10 - 1000.0 мкЗв/ч.



Подключите к пульту выносной блок детектирования БДГ-01. Выберите канал измерения 4 и произведите измерения.

Примечание: На индикаторе в соответствии с каналом должны появиться символы « $\mu\text{Sv/h}$ » и « $\gamma 1$ ».

Измерение плотности потока β -излучения выносным блоком детектирования БДБА-02 (канал 3) в диапазоне 0.10 - 700.0 $\text{с}^{-1}\text{см}^{-2}$



Подключите к пульту выносной блок детектирования БДБА-02. Оденьте крышку-фильтр (сплошная) на блок. Выберите канал измерения 3, поместите выносной блок на исследуемую поверхность и произведите несколько измерений фона датчика. Замените крышку-фильтр на рабочую крышку и проведите несколько измерений в тех же геометрических условиях.

Измерения рекомендуется проводить при расположении датчика вплотную к исследуемой поверхности.

Вычислите плотность потока β -излучения по формуле

$$P_{\beta} = P_{\Sigma} - P_{\phi} \quad (8.1)$$

где P_{ϕ} - среднее арифметическое значение фона датчика,

P_{Σ} - среднее арифметическое значение измерений, произведенных с рабочей крышкой.

Примечание: На индикаторе в соответствии с каналом должны появиться символы « $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ » и « β ».

Измерение плотности потока α -излучения выносным блоком детектирования БДБА-02 в диапазоне 0.10 - 700.0 $\text{с}^{-1}\text{см}^{-2}$

Подключите к пульту выносной блок детектирования БДБА-02. Оденьте крышку-фильтр (сплошную) на блок. Выберите канал измерения 3, поместите выносной блок на исследуемую поверхность и произведите несколько измерений фона датчика. Снимите крышку-фильтр и проведите несколько измерений открытым датчиком в тех же геометрических условиях.

Измерения проводить только при расположении датчика вплотную к исследуемой поверхности.

Вычислите плотность потока α -излучения по формуле

$$P_{\alpha} = P_{\Sigma} - P_{\phi} \quad (8.2)$$

где P_{ϕ} - среднее арифметическое значение фона датчика,

P_{Σ} - среднее арифметическое значение измерений, произведенных открытым датчиком.

Примечание: На индикаторе в соответствии с каналом должны появиться символы « $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ » и « α ».

Измерение ЭД рентгеновского и γ -излучения встроенным детектором (канал 2') в диапазоне 0.001 - 9999 мЗв.

Для просмотра ЭД, находясь в режиме измерения по каналам (п.6.2.1.- п.6.2.5.), достаточно нажать кнопку 3 («Доза», Рис.8.2.). На индикаторе появится значение эквивалентной дозы, ее размерность «mSv» и символы « γ 2», «D». Для выхода из режима просмотра дозы повторно нажмите кнопку 3 («Доза»).

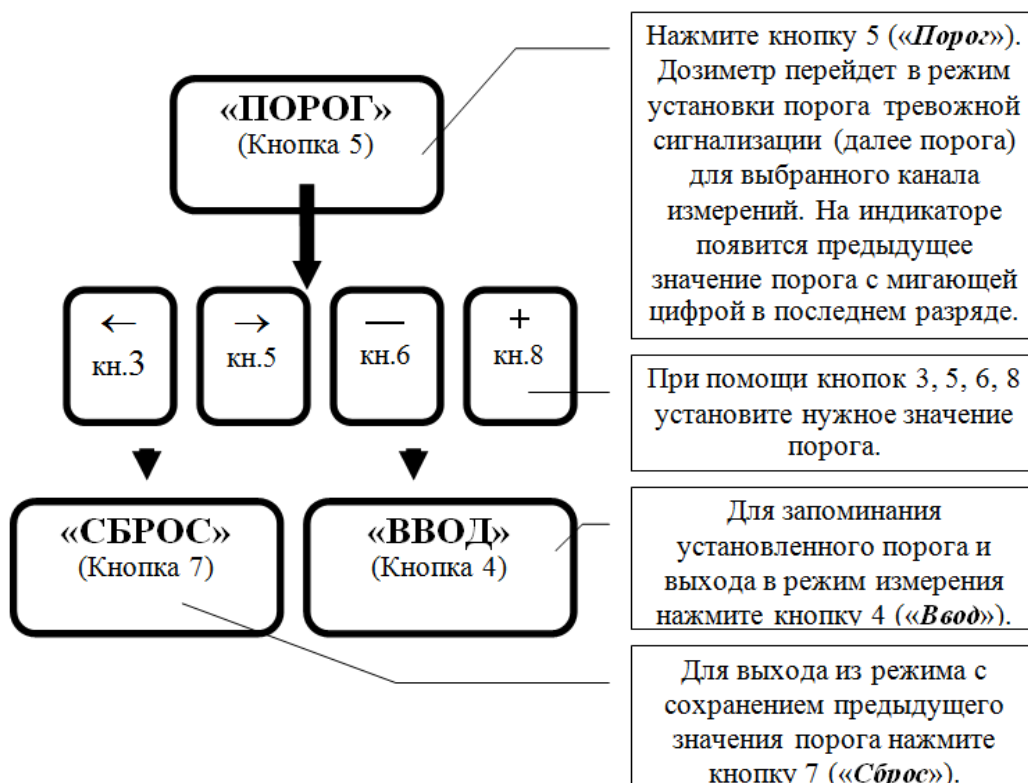
Значение дозы хранится в запоминающем устройстве, причем, последующие измерения будут добавляться к этому значению, и оно будет храниться до смены элемента питания или сброса кнопкой 7 («Сброс»).

Нажатие кнопки 7 «Сброс» производит сброс значения накопленной дозы;

Установка порогов тревожной сигнализации для режима измерения по каналам.

Для изменения значения порогов в процессе работы для выбранного канала измерения, необходимо произвести следующие действия.

Выберите нужный канал измерения.



Значение порога для данного канала будет записано в память процессора и будет храниться до его изменения.

При превышении измеренным значением заданного порога во время индикации включается тревожная сигнализация в виде двухтональной сирены. Для ее отключения измените значение порога.

Установка порогов тревожной сигнализации для режима измерения ЭД.

Для изменения значения порога в процессе работы для режима измерения ЭД, необходимо произвести следующие действия.

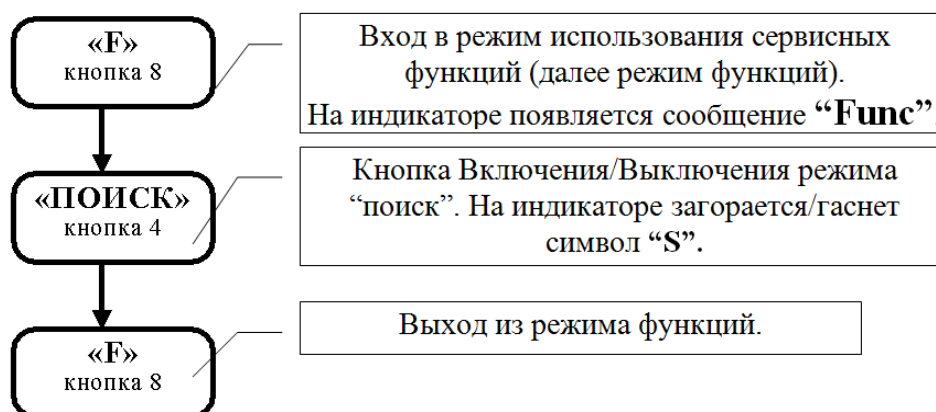
Выберите режим просмотра дозы нажатием кнопки 3 («Доза»).

При превышении измеренным значением заданного порога включается тревожная сигнализация в виде двухтональной сирены (аналогичная ситуация возможна после замены элементов питания). Для ее отключения измените значение порога или сбросьте значение дозы.

Режим «Поиск».

Для быстрой оценки радиационной обстановки предусмотрен режим ускоренных измерений («поиск»). Время измерения уменьшается до 4 с.

Для Включение/Выключения режима «поиск», находясь в режиме измерения по каналам, нажмите кнопку 8 («F»).



Если выбран режим «поиск» прибор перейдет в режим измерения «поиск». На индикаторе дополнительно появится знак «S».

Если режим «поиск» отключен, то прибор переходит в штатный режим измерения по данному каналу.

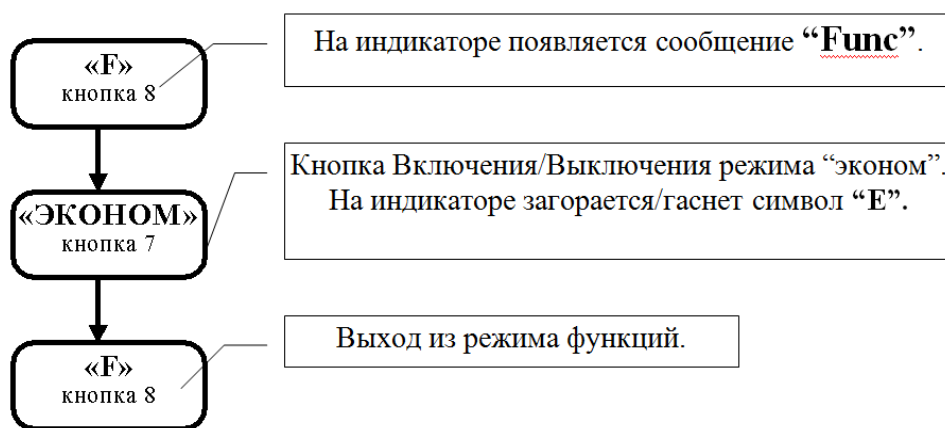
Перебор каналов измерения осуществляется, как и раньше, кнопкой 6 («Канал»).

Режим “Эконом”.

Для уменьшения тока потребления и отключения звука предусмотрен режим “эконом”. В этом режиме звуковая сигнализация отключается (кроме сигнализации о превышении порога для данного канала или для дозы) и на индикаторе сохраняются последние показания в течение времени измерения, затем показания меняются на следующие.

Для Включения/Выключения режима “поиск”, находясь в режиме измерения по каналам, нажмите кнопку 8 («F»).

Вход в режим использования сервисных функций (далее режим функций).



Если выбран режим “эконом” прибор перейдет в режим измерения “эконом”. На индикаторе дополнительно появится знак «E».

Если режим “эконом” отключен, то прибор переходит в штатный режим измерения по данному каналу.

Перебор каналов измерения осуществляется, как и раньше, кнопкой 6 («Канал»).

Вычисление среднего арифметического значения измеряемой величины.

Для удобства обработки результатов измерения предусмотрена функция вычисления среднего арифметического значения измеряемой величины и среднеквадратичного отклонения σ_{n-1} (далее СКО) для каждого канала измерения.

Выберите канал измерения. Во время индикации измеренной величины нажмите кнопку 4 («Ввод»). Индицируемое значение будет записано в память

прибора. Аналогично произведите нужное количество запоминаний (1 - 99).
 Для индикации среднего арифметического значения нажмите кнопку 8 («F»).

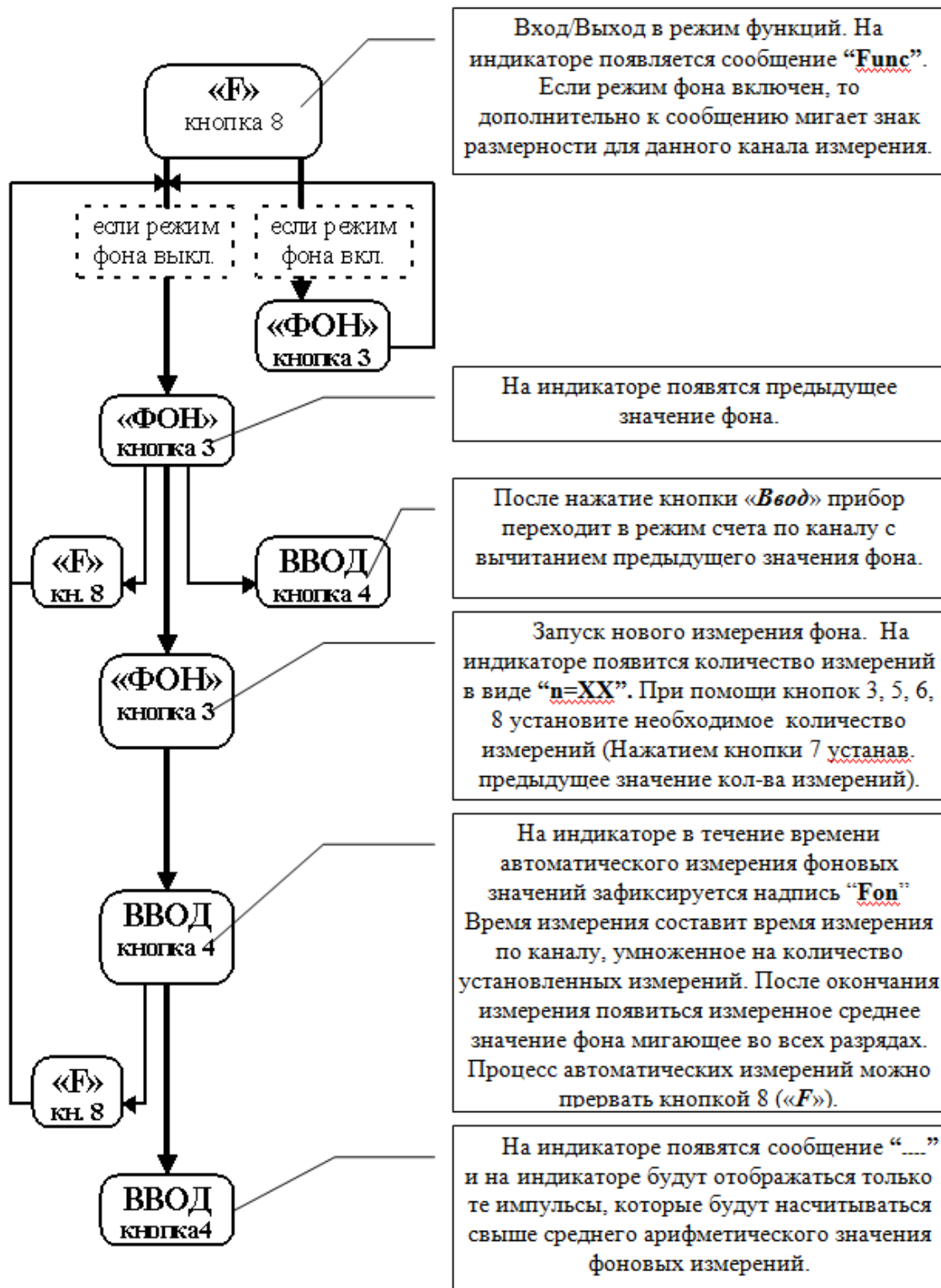


Данная функция работает только в рамках одного канала измерения, и среднее значение фоновых измерений обнуляется при переходе на другой канал измерения.

Измерения с вычитанием фоновых значений.

Для удобства работы с блоками детектирования, при которой требуется учитывать при измерении фоновые значения (собственные или внешние), предусмотрена функция работы с вычитанием среднего арифметического значения фоновых измерений при работе на одном канале.

Выберите канал измерения и нажмите кнопку 8 («F»).



Данная функция работает только в рамках одного канала измерения, и среднее значение фоновых измерений обнуляется при переходе на другой канал измерения.

Пример: Рассмотрим работу с этой функцией на примере измерения плотности потока β -излучения блоком детектирования БДБА-02 (п.6.24.).

Подключите к пульту выносной блок детектирования БДБА-02. Оденьте

крышку-фильтр поз.5 на блок. Выберите канал измерения 3, поместите выносной блок на исследуемую поверхность и переведите прибор в режим автоматического измерения фона датчика, для этого нажмите кнопку 8 («F»), а затем нажмите кнопку 3. Установите количество фоновых измерений. По окончании автоматического измерения на индикаторе появится среднее арифметическое значение фоновых измерений, мигающее во всех разрядах.

Замените крышку-фильтр на рабочую крышку поз.6 и произведите измерения в тех же геометрических условиях. Полученные результаты будут автоматически уменьшены на величину среднего арифметического значения уровня фона блока детектирования БДБА-02 в данных условиях.

Все сервисные функции могут использоваться совместно.

Определение величины основной погрешности и диапазона измерения МЭД пульта со встроенными детекторами (канал 1).

Выберите канал измерения 1.

Расположите пульт в поле коллимированного пучка γ -излучения (геометрический центр детекторов находится на оси, проходящей через обозначение “+” на корпусе пульта и перпендикулярно поверхности пульта, на глубине **18 мм** от поверхности) и через 2 минуты после включения зафиксируйте не менее 5 показаний в каждом из следующих диапазонов МЭД: **10,0-100,0; 700,0-900,0 мкЗв/ч**.

Определите основную погрешность измерений в процентах по формуле:

$$\theta_m = ((N - N_0)/N_0) \times 100$$

где **N** - среднее арифметическое показание дозиметра-радиометра при каждом значении МЭД, указанном выше,

N₀ - действительное значение МЭД.

Величина основной погрешности для всего диапазона измерений не должна выходить за пределы, указанные в Таблице 3.

Настройка.

В случае, если требуется настройка (изменение времени измерения по данному каналу), выполните следующие операции:

- откройте батарейный отсек;
- снимите пломбу;
- вскройте лючок, обеспечивающий доступ к двум переключателям, разрешающим запись в РПЗУ поверочных параметров прибора;
- выберите канал измерения;
- переведите оба переключателя в положение “1” (Рис.7).

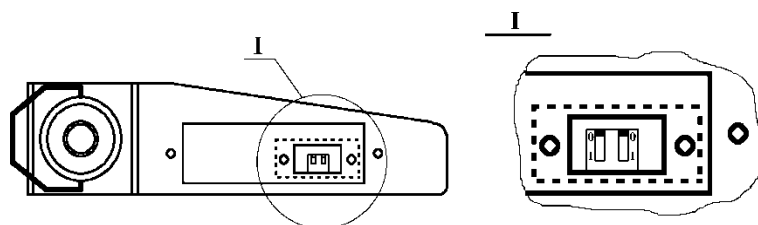


Рисунок 8.3 -

Для перехода в режим установки нового времени измерения нажмите кнопку 8 («F»), а затем кнопку 5 («Порог»). На индикаторе появится ранее установленное время измерения по данному каналу в секундах с мигающей цифрой в последнем разряде. При помощи кнопок 3 («←»), 5 («→»), 6 («-»), 7 («+») произведите изменение времени измерения. Для выхода в режим измерения по данному каналу нажмите кнопку 4 («Ввод»). Проведите измерения по методике, указанной выше. Если результат удовлетворительный, переведите оба переключателя в положение “0” (Рис.7).

8.7.2. Определение величины основной погрешности и диапазона измерения МЭД пульта со встроенным детектором (канал 2).

Выберите канал измерения 2 в соответствии с п.6.1.2.а.

Расположите пульт в поле коллимированного пучка γ -излучения лицевой панелью в сторону источника (геометрический центр детекторов находится на оси, проходящей через обозначение “+” на корпусе пульта и перпендикулярно поверхности лицевой панели пульта, на глубине **30 мм** от поверхности) и через 2 минуты после включения зафиксируйте не менее 5 показаний в каждом из следующих диапазонов МЭД: **30,0-300,0; 1000-3000 мЗв/ч**.

Далее аналогично п.8.7.1.

Величина основной погрешности для всего диапазона измерений не

должна выходить за пределы, указанные в Таблице 3.

8.7.3. Определение величины основной погрешности и диапазона измерения МЭД дозиметра-радиометра с выносным блоком детектирования БДГ-01 (канал 4).

Подсоедините выносной блок детектирования БДГ-01 к пульту.

Выберите канал измерения 4 в соответствии с п.6.1.2.в.

Расположите блок детектирования в поле коллимированного пучка γ -излучения (геометрический центр детектора находится на оси блока и обозначен кольцевой проточкой) и через 2 минуты после включения зафиксируйте не менее 5 показаний в каждом из следующих диапазонов МЭД: **10,0-100,0; 700,0-900,0 мкЗв/ч.**

Далее аналогично п.8.7.1.

Величина основной погрешности для всего диапазона измерений не должна выходить за пределы, указанные в Таблице 3.

8.7.4. Определение величины основной погрешности измерения ЭД пульта со встроенным детектором (канал 2`).

Коэффициент пересчета по дозе автоматически определяется по формуле $KD=360/t_2$, где **KD** - коэффициент пересчета; t_2 - время измерения по 2-му каналу (встроенный датчик СИ-34ГМ) в секундах и записывается в память прибора:

В случае необходимости проведите определение основной погрешности измерения эквивалентной дозы в следующем порядке.

Выберите режим измерения дозы в соответствии с п.6.2.8.

Расположите пульт в поле коллимированного пучка γ -излучения лицевой панелью в сторону источника со значением МЭД в пределах **от 10 до 50 мЗв/ч** (геометрический центр детекторов находится на оси, проходящей через обозначение “+” на корпусе пульта и перпендикулярно поверхности пульта, на глубине **30 мм** от поверхности) и через **20 - 30 минут** после включения зафиксируйте значение ЭД **H**:

$$H=H' \times t$$

где **H'** - МЭД (мЗв/ч);

t - время (час).

Определите основную погрешность измерений в процентах по формуле:

$$\theta_m = ((N - N_0)/N_0) \times 100$$

где N - показание дозиметра-радиометра,

N_0 - действительное значение ЭД.

Величина основной погрешности для всего диапазона измерений не должна выходить за пределы, указанные в Таблице 3.

8.7.5. Определение величины основной погрешности и диапазона измерения плотности потока β -излучения дозиметра-радиометра с выносным блоком детектирования БДБА-02 (канал 3).

Подсоедините выносной блок детектирования БДБА-02 к пульту.

Оденьте крышку-фильтр поз.5 (Рис.3) на блок. Выберите канал измерения 3 (в соответствии с п.6.1.2.б). Выносной датчик следует установить на плоский источник типа 5СО или 6СО (не ниже 2-го разряда) и произведите не менее 5 измерений фона датчика. Замените крышку-фильтр на рабочую крышку поз.6 (Рис.3) и проведите не менее 5 измерений в тех же геометрических условиях.

Измерения проводить при расположении датчика вплотную к источнику.

Вычислите плотность потока β -излучения по формуле:

$$P_\beta = P_\Sigma - P_\phi$$

где P_ϕ - среднее арифметическое значение фона датчика,

P_Σ - среднее арифметическое значение измерений, произведенных с рабочей крышкой.

Определите основную погрешность измерений в процентах по формуле:

$$\theta_m = ((P - P_0)/P_0) \times 100$$

где P - среднее арифметическое показание дозиметра-радиометра при каждом значении плотности потока β -излучения, указанном ниже,

P_0 - действительное значение плотности потока β -излучения.

Величина основной погрешности для всех значений не должна выходить за пределы, указанные в Таблице 3.

Проводите измерения на пластинах с номинальным значением плотности потока β -излучения, находящимся в диапазонах **10,0-100,0; 400,0-700,0 $\text{с}^{-1}\text{см}^{-2}$**

Настройка.

В случае, если требуется настройка (изменение времени измерения по данному каналу), выполните операции п.8.7.1 (*Настройка*).

8.7.6. Определение величины основной погрешности и диапазона измерения плотности потока α -излучения дозиметра-радиометра с выносным блоком детектирования БДБА-02 (канал 3').

Подсоедините выносной блок детектирования БДБА-02 к пульту.

Оденьте крышку-фильтр поз.5 (Рис.3) на блок. Выберите канал измерения 3' (в соответствии с п.6.1.2.б). Выносной датчик следует установить на плоский источник типа 4П9 или 5П9 (не ниже 2-го разряда). Произведите не менее 5 измерений фона датчика. Снимите крышку-фильтр и проведите не менее 5 измерений в тех же геометрических условиях.

Измерения проводить при расположении датчика вплотную к источнику.

Вычислите плотность потока α -излучения по формуле:

$$P_{\alpha} = P_{\Sigma} - P_{\phi}$$

где P_{ϕ} - среднее арифметическое значение фона датчика,

P_{Σ} - среднее арифметическое значение измерений, произведенных с рабочей крышкой.

Определите основную погрешность измерений в процентах по формуле:

$$\theta_m = ((P - P_0)/P_0) \times 100$$

где P - среднее арифметическое показание дозиметра-радиометра при каждом значении плотности потока α -излучения, указанном ниже.

P_0 - действительное значение плотности потока α -излучения.

Величина основной погрешности для всего диапазона измерений не должна выходить за пределы, указанные в Таблице 3.

Проводите измерения на пластинах с номинальным значением плотности потока α -излучения, находящимся в диапазонах **10,0-100,0; 400,0-700,0 $\text{с}^{-1}\text{см}^{-2}$** .

Настройка.

В случае, если требуется настройка (изменение времени измерения по данному каналу), выполните операции п.8.7.1 (*Настройка*).

ВНИМАНИЕ! Если производилась настройка, по окончанию поверки переключите оба переключателя (рис.7) в положение “0”, закройте лючок и опломбируйте его.

ВНИМАНИЕ! В данном приборе в процессе изготовления на предприятии-изготовителе осуществляется математическая коррекция нелинейности счетной характеристики счетчиков программным методом. В течение срока службы прибора и при проведении периодических проверок изменения параметров коррекции не требуется, в связи с чем при случайном входе в режим коррекции нелинейности (последовательное нажатие кнопок 3 («Доза»)→8 («F»)→5 («Порог»)) необходимо нажать кнопку 7 («Сброс»). В этом случае предварительно установленные параметры коррекции не изменяются (преднамеренное или случайное изменение этих параметров может повлечь за собой прекращение нормального функционирования прибора).

Контрольные вопросы

Лабораторная работа № 9

Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма излучения дозиметром ДКГ-03Д «Грач»

Дозиметр гамма-излучения ДКГ-03Д «Грач» (рис. 9.1) ФВКМ.412113.029 (далее - дозиметр) изготавливается в соответствии с требованиями ТУ 4362-048-31867313-2005.



Рисунок 9.1 - Дозиметр гамма-излучения ДКГ-03Д «Грач»

Дозиметр предназначен для измерения:

- мощности амбиентного эквивалента дозы гамма излучения (далее МЭД);
- амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (далее ЭД).

Дозиметр может использоваться на предприятиях атомной энергетики, ядерно-опасного, радиохимического производств и в промышленности при использовании источников ионизирующего излучения, пунктах специального и таможенного контроля, а также в экологических службах и санитарно – эпидемиологических станциях.

Дозиметр может использоваться населением для индивидуального контроля радиационной обстановки.

Все узлы дозиметра расположены в компактном корпусе из ударопрочной пластмассы.

Принцип работы дозиметра основан на подсчете импульсов, поступающих со счетчика Гейгера-Мюллера типа Бета-2М. Питание счетчика обеспечивается напряжением 400 В, создаваемым встроенным высоковольтным

преобразователем. Обработка полученных данных осуществляется микропроцессором, а результат измерения представляется на жидкокристаллическом индикаторе.

Включение и выключение питания дозиметра производить выключателем, расположенным на верхнем торце корпуса.

После включения на индикаторе дозиметра появятся надписи:

в верхней строке 0,00 Зв·ч⁻¹;

в нижней строке значки *****.

Через 2 – 3 с в верхней строке появятся показания МЭД, а в нижней строке статистическая погрешность измерения в процентах. Если надпись по 2.2.2 сохраняется более 10 с, значит, дозиметр неисправен.

Дозиметр одновременно работает в двух режимах: - измерение МЭД; - измерение ЭД. Переключение индикации осуществить нажатием кнопки «РЕЖИМ».

Запуск измерения в любом режиме производить нажатием кнопки «ПУСК». При этом начинается процесс измерения только той величины (МЭД или ЭД), которая индицируется в момент нажатия кнопки. Идущее одновременно с этим измерение другой величины продолжается.

Измерение МЭД

При измерении МЭД индицируется:

1. в верхней строке – измеренное значение МЭД в Зв·ч⁻¹. Перед размерностью индицируется множитель:

	микро (10 ⁻⁶)
m	милли (10 ⁻³);

2. в нижней строке – статистическая погрешность измерения в процентах.

Каждый раз, когда вы начинаете замер МЭД в новой точке (месте), нажмите кнопку «ПУСК». Окончание замера (чтение показаний с индикатора) производить в момент, когда вас устроит значение статистической погрешности, индицируемое в нижней строке.

Дозиметр показывает среднее значение МЭД за *все* время измерения. Поэтому, если значение МЭД изменилось, а перезапуск не осуществлен, то новое значение МЭД дозиметр будет показывать через очень большой промежуток времени.

Измерение ЭД

При измерении ЭД индицируется:

1. в верхней строке - надпись «Доза»;
2. в нижней строке – измеренное значение ЭД в Зв. Перед размерностью индицируется множитель:

п	пико (10^{-12});
н	нано (10^{-9});
	микро (10^{-6});
м	милли (10^{-3}).

Индикатор дозиметра подсвечивается при нажатой кнопке «СВЕТ».

При регистрации каждого гамма-кванта дозиметр издает щелчок. Для отключения (или включения) этих звуков следует нажать кнопку «ЗВУК».

При изменении измеряемой МЭД, превышающем статистический разброс, дозиметр без вмешательства пользователя перезапускает измерение МЭД. При этом подается короткий звуковой сигнал.

Такие автоматические перезапуски изредка возможны и при работе дозиметра в постоянном поле излучения. Они не должны беспокоить пользователя, поскольку вызваны не отказом дозиметра, а статистическими свойствами измеряемой величины.

Описанное свойство делает дозиметр очень удобным для использования его в качестве персонального (индивидуального) дозиметра в условиях радиационно-опасных объектов.

Вход в режим настройки осуществляется при включении дозиметра при одновременно нажатых и удерживаемых кнопках «ЗВУК» и «РЕЖИМ». После включения кнопки «ЗВУК» и «РЕЖИМ» следует отпустить. Индикатор остается пустым.

После нажатия на кнопку «ЗВУК» в верхней строке появляется надпись «Т=», а в нижней строке – значение «мертвого времени», с. Нажатиями на кнопку «ПУСК» (увеличение) или «РЕЖИМ» (уменьшение) следует откорректировать значение «мертвого времени» так, чтобы добиться расчетного значения по-

казаний. При увеличении «мертвого времени» показания увеличиваются, и наоборот. Эта регулировка эффективна при мощностях доз более $200 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$.

Удержание кнопки в нажатом состоянии приводит к быстрому перебору значений. Следующее нажатие на кнопку «ЗВУК» приводит к записи введенного значения в память.

При этом в верхней строке появляется надпись «Т= ok»

При следующем нажатии на кнопку «ЗВУК» в верхней строке появляется надпись «К=», а в нижней – значение числового коэффициента, на который умножается скорость счета, имп/с , для получения показаний, $\text{Зв}\cdot\text{ч}^{-1}$.

Нажатиями на кнопку «ПУСК» (увеличение) или «РЕЖИМ» (уменьшение) следует откорректировать значение коэффициента так, чтобы добиться расчетного значения показаний.

Удержание кнопки в нажатом состоянии приводит к быстрому перебору значений. Следующее нажатие на кнопку «ЗВУК» приводит к записи введенного значения в память.

При этом в верхней строке появляется надпись «К = ok».

Выключите дозиметр и включите его (не ранее чем через 10 с). Откорректированные, но не введенные в память значения коэффициента и «мертвого времени» остаются неизменными.

Глоссарий

Аварии радиационная - нарушение эксплуатации ядерной установки (на- пример, атомной станции) с выходом радиоактивных материалов и/или ионизирующих излучений в количествах, приводящих к значительному облучению персонала, населения и окружающей среды.

Активность - мера радиоактивности, количество распадающихся атомных ядер или число актов распада за одну секунду. Измеряется в Беккерелях (Бк, в СИ), либо Кюри (Ки, внесистемная единица).

Активность объемная - отношение активности радиоактивного вещества к объему этого вещества. Измеряется в Бк/м³ и т.д.

Активность удельная - отношение активности радиоактивного вещества к массе этого вещества. Измеряется в Бк/кг.

Альфа-распад (α -распад) - самопроизвольное превращение ядер тяжелых химических элементов, сопровождающийся испусканием α -частиц () из ядра. Образуется новый химический элемент, смещенный на два номера к началу периодической системы Менделеева.

Альфа-частицы (α -частицы) - испускаемые ядром атома частицы, состоящие из 2 протонов и 2 нейтронов, имеющие положительный заряд, низкую проникающую и высокую ионизирующую способность. Опасны при внутреннем облучении организма.

Ампер на килограмм (А/кг) - единица мощности экспозиционной дозы- рентгеновского и у-излучений, при которой за время 1 с сухому атмосферному воздуху передается экспозиционная доза излучения = 1 Кл/кг.

Атом - наименьшая частица химического элемента, сохраняющая его свойств. Состоит из атомного ядра и электронной оболочки, в которой на определенных энергетических уровнях располагаются электроны. Общее число электронов равно порядковому номеру в периодической системе Д.И. Менделеева.

Атомная масса - масса атома химического элемента, выраженная в атом-

ных единицах массы (а.е.м.) = 1/12 части массы изотопа $^{12}\text{C} = 1,6605655 \cdot 10^{-27}$ кг. Создается массой протонов и нейтронов в данном атоме.

Атомная единица энергии - энергия, соответствующая одной атомной единице массы. 1 а.е.м. = 931,5016 МэВ.

Атомное ядро - положительно заряженная центральная часть атома, в которой сосредоточена вся масса атома. Состоит из протонов и нейтронов. Заряд ядра определяется суммарным зарядом протонов и соответствует атомному номеру химического элемента в периодической системе элементов.

АЭС - атомная электростанция, предназначенная для производства электрической энергии.

Беккерель (Бк) - 1 распад в секунду.

Бета-распад (β -распад) - самопроизвольные превращения атомных ядер некоторых элементов, сопровождающиеся испусканием электрона и антинейтрона (позитрона и нейтрона).

Бета - частицы (β -частицы) - частицы с высокой скоростью распространения, идентичные электрону и позитрону, испускаемые ядром атома.

Биологический эквивалент рада (бэр) - внесистемная единица эквивалентной дозы излучения. 1 бэр - доза любого вида ионизирующего излучения, производящая такое же биологическое действие, как и поглощённая доза в 1 рад. 1 бэр = 0,01 Зиверт.

Биологическое действие излучения - биологические, физиологические, генетические и другие изменения в живых клетках и организмах, вплоть до гибели клеток и организмов, в результате действия ионизирующего излучения.

Взвешивающий коэффициент (в.к.):

1) в.к. радиационный - множитель поглощённой дозы, учитывающий относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов;

2) в.к. органов и тканей - множитель эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые для учёта различной чувствительности органов и тканей к возникновению стохастических эффектов радиации.

Внешнее облучение - воздействие на организм ионизирующего излучения от внешних по отношению к нему источников излучения.

Внутреннее облучение - воздействие на организм ионизирующего излучения радиоактивных веществ, находящихся внутри (попавших внутрь) организма.

γ-лучи - форма ионизирующей радиации, которая не имеет массы, состоит из фотонов, имеет высокую проникающую способность и оказывает наиболее серьёзный повреждающий эффект.

γ-распад - электромагнитное излучение, испускаемое возбужденным ядром с очень малой длиной волны и очень высокой частотой, уменьшающее энергию ядра и не изменяющее массовое число и заряд ядра.

Грэй (Гр) - единица поглощения дозы излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения равная 1 Дж, т.е. $1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$.

Грэй в секунду (Гр/с) - единица мощности поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Гр.

Джоуль - единица работы, энергии. Равен работе силы N , перемещающей тело на расстоянии 1 м в направлении действия силы обозначение (Дж).

Детектор ионизирующего излучения - устройство, предназначенное для регистрации ионизирующего излучения в связи с явлениями, возникающими при прохождении излучения через вещество.

Дефект массы (избыток массы) - разность между атомной массой изотопа и его массовым числом.

Доза радиации (облучения) в широком смысле - мера действия ионизирующего излучения; средняя энергия, переданная излучением единице массы вещества. Различают экспозиционную, поглощенную, эквивалентную и эффективную эквивалентную дозы.

Дозиметр - прибор для измерения и регистрации дозы ионизирующей излучения (экспозиционной, поглощенной, эквивалентной) и мощности дозы.

Естественный радиационный фон - фактор внешней среды; уровень ра-

диации, создаваемый космическим излучением и ионизирующим излучением естественно распределенных природных радионуклидов (и изотопами земной коры на поверхности Земли, в воздухе, продуктах питания, воде, организме человека и др.).

Загрязнитель - природный и антропогенный физический агент, химическое вещество и биологический вид, попадающий в среду жизни или возникающий в ней в количествах, выходящих за рамки обычного своего наличия - предельных естественных колебаний или среднего фона в рассматриваемый период.

Закон обратных квадратов - название зависимости одной величины от другой, когда одна из них изменяется обратно пропорционально квадрату другой. В применении к радиации означает, что интенсивность излучения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника.

Закон радиоактивного распада - экспоненциальная зависимость, выражающая долю распавшихся радиоактивных изотопов с течением времени.

Зиверт (Зв) - единица эквивалентной дозы излучения. 1 Зв = эквивалентная доза излучения, при которой: - поглощенная доза излучения равна 1грэю; и - коэффициент качества излучений равен 1. 1 Зв = 1 Дж/кг.

Зиверт в секунду (Зв/с) - единица мощности эквивалентной дозы излучения. 1 Зв/с = мощность эквивалентной дозы излучения, при которой за время 1 с облучаемым веществом поглощается эквивалентная доза излучения 1 Зв.

Изотопы - разновидности одного химического элемента, различающиеся по массе ядер. У них одинаковый заряд ядер (атомный номер), но различаются числом нейтронов. Имеют одинаковое строение электронных оболочек, т.е. имеют одинаковые химические свойства, и занимают одно и то же место в периодической системе химических элементов.

Излучение (радиации) - испускание и распространение энергии в виде волн и частиц.

Ион - заряженная частица, образующаяся при потере или присоединении электронов атомами, молекулами и т.д. Могут быть положительными (припоте-

ре электронов) и отрицательными (при присоединении электронов), заряд нона кратен заряду электрона.

Ионизации - образование положительных и отрицательных ионов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Ионизирующее излучение - излучение, взаимодействие которого со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующим излучением является γ -излучение, рентгеновское излучение, пучки электронов и позитронов, протонов, нейтронов, α -частиц.

Ионизирующая радиация (радиационный фон) - естественные излучения, которые приводят к ионизации электрически нейтральных атомов и молекул, действует разрушительным образом на живое вещество и является источником широкого спектра изменений живых организмов.

Коллективная эффективная эквивалентная доза - эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации.

Космические лучи - потоки частиц высокой энергии, приходящие на Землю из мирового пространства. Первичные космические лучи состоят из протонов, нейтронов, альфа-частиц, ядер легких атомов: вторичные космические лучи - из Вторичное космическое излучение на 80-85% состоят из π -мезонов различного заряда. К-мезонов. протонов, нейтронов, γ -квантов. космогенных радионуклидов и др.

Кулон на килограмм (Кл/кг) - единица экспозиционной дозы излучения. Является экспозиционной дозой излучения, при которой в результате полного использования ионизирующей способности в 1 кг воздуха при нормальных условиях образуются ионы общим зарядом 1 Кл каждого знака. $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$.

Кумулятивная доза - сумма поглощенных доз излучения, полученных объектом, независимо от того, было ли облучение одноразовым или многократным.

Кюри (Ки) - мера радиоактивности. $1 \text{ Кл} = 3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду (Бк); $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Мощность поглощенной дозы излучения - отношение поглощенной ве-

ществом дозы излучения к времени, за которое эта доза излучения поглощена. Мощность поглощенной дозы излучения измеряется в Гр/с, Гр/ч, Гр/год и т.д.

Мощность эквивалентной дозы излучения - отношение эквивалентной дозы излучения к времени, за которое эта доза поглощена веществом. Измеряется в Зв/с, Зв/ч, Зв/год и т.д.

Мощность экспозиционной дозы излучения - отношение экспозиционной дозы излучения к времени, за которое эта доза излучения передана сухому атмосферному воздуху. Измеряется в А/кг.

Нейтрон - элементарная частица, одна из двух частиц, из которых построено атомное ядро, электрически нейтральная. Масса покоя - 1838 масс электрона; распадается на протон, электрон и антинейтрино: период полураспада 750 сек.: античастица - антинейтрон. Испускается после ядерного взрыва, вызывает в 10 раз более мощное повреждение тканей, чем α -лучи.

Нуклид - общее название атомных ядер, отличающихся числом нейтронов и протонов (нуклонов). Нуклиды с одинаковыми атомами номерами и разными массовыми числами называют изотопами.

Нуклон - протон или нейтрон. Протоны и нейтроны рассматривают как два различных зарядовых состояния нуклона.

Облучение - воздействие радиоактивного излучения или процесс воздействия.

Острая лучевая болезнь - лучевая болезнь, развивающаяся после острого облучения.

Острое облучение - однократное кратковременное облучение биологического объекта, сопровождающееся получением им дозы излучения, вызывающей неблагоприятные изменения его состояния.

Период полураспада изотопа - время, за которое распадается в среднем половина всех радионуклидов данного типа в любом радиоактивном источнике.

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева - классификация химических элементов, графическое выражение периодического закона, устанавливающего периодическое изменение свойств химических элементов при

увеличении зарядов ядер их атомов.

Поглощенная доза излучения (Гр) - отношение поглощенной энергии ионизирующего излучения к массе облученного вещества, т.е. энергия, депонированная радиацией в ткани или материале. Единицами измерения поглощенной дозы излучения являются Грэй (в СИ) и рад. $1 \text{ рад} = 0.01 \text{ Гр}$.

Позитрон - элементарная частица, несущая положительный элементарный заряд, античастица электрона с массой, равной массе электрона, но положительным электрическим зарядом.

Полная коллективная эффективная эквивалентная доза - коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получают поколения людей от какого-либо источника за все время его существования (человеко-зиверт, чел.-Зв).

Протон - одна из частиц, составляющих ядро атома, несет единичный положительный электрический заряд; стабильная положительно заряженная элементарная частица с зарядом $1,66 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг. Образует ядро водорода (протия), определяет заряд ядра и атомный номер этого элемента.

Рад - внесистемная единица дозы излучения, поглощенной веществом.
 $1 \text{ рад} = 1 \text{ кг}$ массы тела поглощает эквивалентную энергию в $0,01$ джоуля.
 $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$.

Радиационная активность образца - число распадов в секунду в данном радиоактивном образце; единица измерения - беккерель (Бк).

Радиационная защита - способы и средства снижения вредного воздействия ионизирующих излучений на организм. Физическая защита - защита физическими методами (время, расстояние, материалы, поглощающие излучение и др. Химическая защита - защита при помощи приема специальных химических соединений (радиопротекторов), витаминов, микро- и макроэлементов, адаптогенов и др.

Радиационный фон - радиоактивное излучение низкого уровня, источником которого являются космические лучи и радиоактивные вещества, которые в естественных условиях содержатся в атмосфере в незначительных количествах.

Радиация - эмиссия (испускание) и распространение энергии в простран-

стве или в среде в виде ионизирующих частиц или электромагнитных волн. Отличается длиной электромагнитных волн.

Радикал - одноядерная или многоядерная электронейтральная частица, имеющая неспаренные электроны. Радикалы обладают высокой реакционной способностью и имеют короткое время жизни в свободном состоянии.

Радиоактивное загрязнение - превышение природного (естественного) радиоактивного фона на определенной территории в результате аварии на атомной электростанции или др. объекте атомной энергетики, ненадежного захоронения радиоактивных отходов, проведения испытаний ядерного оружия и др.

Радиоактивное излучение - ионизирующее излучение, испускаемое при распаде радионуклидов.

Радиоактивность - способность некоторых атомных ядер (радионуклидов) самопроизвольно превращаться (распадаться) в другие ядра с испусканием ионизирующих излучений (α -распад, β -распад, испускание нейтронов, деление тяжелых ядер и т.п.). Приводит к изменению атомного номера или массового числа.

Радиоактивные вещества - не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение.

Радиоактивные осадки - твердые или жидкие частицы, осаждающиеся на поверхность земли из атмосферы, содержащей радионуклиды. Выпадают в результате аварий, сопровождающихся взрывами, на предприятиях и устройствах, использующих ядерное топливо, а также при испытании ядерного оружия. Могут быть результатом переноса изотопов, например, ^{226}Ra , содержащегося в продуктах сжигания каменного угля, ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Радиоактивный распад - процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида.

Радиометр - прибор или установка для измерения активности радионуклидов в источнике или образце, а также плотности потока, потока и флюенса ионизирующих частиц.

Радионуклид - нестабильный нуклид, обладающий радиоактивностью и

способный к самопроизвольному распаду.

Радиопротекторы - вещества, снижающие генетические и физиологические эффекты радиации.

Радон - радиоактивный газ, выделяющийся при радиоактивном распаде урана и тория, содержащихся в земной коре в естественном состоянии. Вносит примерно половину в естественный радиационный фон на Земле.

Рентген - внесистемная единица экспозиционной дозы излучения (Р), при которой в результате полного ионизационного поглощения в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях образуются $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов с общим зарядом $0,0000000003 \text{ Кл}$ каждого знака. $1 \text{ Р} = 0,000258 \text{ Кл/кг} = 0,113 \text{ эрг/с}^3 \text{ воздуха}$, 88 эрг/г воздуха . $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$. Соотношение между экспозиционной дозой, выраженной в рентгенах, и поглощенной дозой в воздухе, выраженной в радах $D_{\text{возд(рад)}} = 0,88 \text{ X (Р)}$, для биологической ткани $D_{\text{биол.тк.(рад)}} = (0,93 - 0,98) \text{ X (Р)}$.

Рентгеновское излучение (рентгеновские лучи) - коротковолновое электромагнитное излучение. Образуется при торможении в веществе быстрых электронов. Обладает большой проникающей способностью, действует на фотографическую эмульсию.

Репарация - восстановление тканей тела и состава популяций организмов, поврежденных или изреженных ионизирующим излучением. Происходит посредством размножения клеток и организмов, уцелевших после облучения.

Риск - вероятность того, что событие или определенный исход наступит, обычно измеряемая в процентах. Риск применяется по отношению к развитию стохастических эффектов.

Стохастический эффект излучения - радиационный эффект, проявляющийся без определенного порогового значения дозы облучения, вероятность его (риск) пропорциональна дозе, а тяжесть его проявления не зависит от дозы облучения. Примеры стохастических эффектов: солидные опухоли, лейкемия, генетические нарушения.

Счётчик Гейгера - устройство, используемое для обнаружения и изменения радиоактивности; названо в честь немецкого физика Г. Гейгера (1882- 1945).

Эквивалентная доза излучения - произведение поглощенной дозы излучения на взвешивающий радиационный коэффициент. Единица измерения - Зиверт (Зв).

Экспозиционная доза излучения - отношение суммарного заряда одного знака, созданного в воздухе при полном использовании ионизирующей способности фотонного излучения, к массе ионизированного воздуха. Представляет собой энергетическую характеристику излучения, оцениваемую по эффекту ионизации сухого атмосферного воздуха.

Электрон - стабильная элементарная частица, несущая отрицательный заряд и движущаяся в электрическом поле ядра по электронным орбитам. Входит в состав всех атомов и существует в свободном состоянии. При переходе электрона на орбиту более близкую к ядру, выделяет энергию.

Элементарные частицы - простейшие структурные элементы материи, которые на современном уровне развития физики нельзя считать соединением других частиц.

Эпицентр - точка на поверхности земли или воды, в которой происходит ядерный взрыв или которая находится непосредственно под или над центром ядерного взрыва.

Эффективная (эквивалентная доза) - сумма эквивалентных доз, полученных различными органами человека, умноженная на взвешивающий тканевой коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению.

взрыва.

Б. Минимальная масса урана в реакторе, при которой может быть осуществлена цепная реакция.

В. Дополнительная масса урана, вносимая в реактор для его запуска.

Г. Дополнительная масса вещества, вносимая в реактор для его остановки в критических случаях.

28. Для того чтобы реакция деления ядер урана шла, необходимо...

1. большая масса урана;

2. чтобы при делении каждого ядра урана испускалось 2 – 3 нейтрона;

3. большая температура урана.

А. только 1;

В. только 3;

Б. только 2;

Г. 1, 2 и 3.

9. В каком приборе происхождение ионизирующей частицы регистрируется по возникновению импульса электрического тока в результате возникновения самостоятельного разряда в газе?

А. в ионизационной камере;

Б. в счетчике Гейгера-Мюллера;

В. в сцинтилляционном счетчике;

Г. в камере Вильсона.

30. Если атомное ядро в результате радиоактивного распада получает избыток энергии и переходит в возбужденное состояние, то каким образом оно затем освобождается от этого избытка энергии?

А. испусканием фотонов видимого света;

Б. испусканием квантов ультрафиолетового излучения;

В. испусканием гамма-квантов;

Г. испусканием радиоволн.

31. Какой вид радиоактивного излучения наиболее опасен при внутреннем облучении человека?

А. β – излучения;

В. α – излучения;

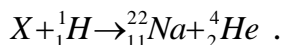
Б. γ – излучения;

Г. все три одинаково опасны.

32. Ядро состоит из 90 протонов и 144 нейтронов. После испускания двух β частиц, а затем одной α частицы, это ядро будет иметь:

- А. 85 протонов, 140 нейтронов;
- Б. 87 протонов, 140 нейтронов;
- В. 90 протонов, 140 нейтронов;
- Г. 87 протонов, 140 нейтронов.

33. Какое недостающее ядро надо вставить вместо X в ядерную реакцию?



- А. ${}^{26}_{13}\text{Al}$;
- Б. ${}^{25}_{12}\text{Mg}$;
- В. ${}^{26}_{12}\text{B}$;
- Г. ${}^{25}_{13}\text{Al}$.

34. Сколько протонов Z и нейтронов N в ядре ${}^{235}_{92}\text{U}$?

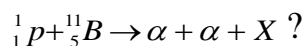
- А. Z = 235, N = 92;
- Б. Z = 92, N = 143;
- В. Z = 235, N = 143.

35. Ядро азота ${}^{17}_7\text{N}$ захватило α частицу (${}^4_2\text{He}$) и испустило протон (${}^1_1\text{p}$).

Ядро какого элемента образовалось?

- А. ${}^{17}_9\text{F}$;
- Б. ${}^{20}_8\text{O}$;
- В. ${}^{20}_9\text{F}$;
- Г. ${}^{20}_7\text{N}$.

36. Какое неизвестное ядро X образуется в результате ядерной реакции



- А. ${}^4_2\text{He}$;
- Б. ${}^3_2\text{He}$;
- В. ${}^6_3\text{Li}$;
- Г. ${}^3_1\text{H}$.

37. Какой порядковый номер в таблице Менделеева у элемента, который получается в результате α -распада ядра, порядковый номер элемента Z?

- А. Z + 2;
- Б. Z - 2;
- В. Z - 4;
- Г. Z - 1.

38. Определите количество нейтронов в ядре элемента, получившегося в результате трех последовательных α распадов ядра тория ${}^{234}_{90}\text{Th}$.

- А. 144;
- В. 232;

Б. 140;

Г. 138.

39. При бомбардировке изотопа лития ${}^6_3\text{Li}$ α – частицами происходит ядерная реакция с испусканием нейтронов и образованием ядра изотопа бора...

А. ${}^{10}_5\text{B}$;

В. ${}^9_5\text{B}$;

Б. ${}^{10}_6\text{B}$;

Г. ${}^9_6\text{B}$.

40. Укажите второй продукт ядерной реакции ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + ?$

А. n;

В. e;

Б. p;

Г. ${}^4_2\text{He}$.

41. Допишите ядерную реакцию. Подставьте вместо X второй продукт ядерной реакции. ${}^6_3\text{Li} + {}^1_1\text{p} = X + \alpha$.

А. ${}^3_1\text{H}$;

В. ${}^3_2\text{He}$;

Б. ${}^2_1\text{H}$;

Г. ${}^4_2\text{He}$.

42. Чему равна частота фотона, поглощаемого атомом при переходе из основного состояния с энергией E_0 в возбужденное состояние с энергией E_1 ?

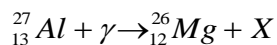
А. $\frac{E_1}{h}$;

В. $\frac{E_1 - E_0}{h}$;

Б. $\frac{E_0}{h}$;

Г. $\frac{E_0 - E_1}{h}$.

43. Какую частицу надо вставить вместо X в ядерную реакцию



А. электрон;

В. нейтрон;

Б. протон;

Г. α – частицу.

44. При поглощении нейтрона ядром азота ${}^{14}_7\text{N}$ испускается протон. В ядро какого изотопа превращается ядро азота?

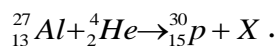
А. ${}^{14}_6\text{C}$;

В. ${}^{12}_6\text{C}$;

Б. ${}^{16}_8\text{O}$;

Г. ${}^{15}_7\text{N}$.

45. Определите второй продукт ядерной реакции. Подставьте его вместо X.

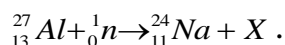


- А. α – частицу; В. электрон;
Б. нейтрон; Г. протон.

46. Из атомного ядра в результате самопроизвольного превращения вылетело ядро атома гелия. Какой это вид радиоактивного распада?

- А. α – распад; В. γ – распад;
Б. β – распад; Г. протон.

47. Определите второй продукт ядерной реакции. Подставьте вместо X.



- А. α – частица; В. β – частица;
Б. нейтрон; Г. протон.

48. Каков состав ядра натрия ${}_{11}^{23}\text{Na}$? (Z – протонов, N – нейтронов)

- А. Z – 23, N – 11; В. Z – 11, N – 12;
Б. Z – 12, N – 11; Г. Z – 11, N – 23.

49. Сколько квантов с различной энергией могут испускать атомы водорода, если их электроны находятся на третьем возбужденном уровне?

- А. 1; В. 3;
Б. 2; Г. ни одного.

50. Каков состав ядра фтора ${}_{9}^{19}\text{F}$? (Z – протонов, N – нейтронов)

- А. Z – 10, N – 9; В. Z – 19, N – 9;
Б. Z – 9, N – 19; Г. Z – 9, N – 10.

51. При бомбардировке нейтронами атома ${}_{13}^{27}\text{Al}$ испускается α – частица. В ядро какого изотопа превращается ядро алюминия?

- А. ${}_{11}^{23}\text{Al}$; В. ${}_{13}^{23}\text{Al}$;
Б. ${}_{12}^{24}\text{Mg}$; Г. ${}_{11}^{24}\text{Na}$.

52. Изменится ли химическая природа элемента при испускании γ лучей его ядрами?

- А. изменяется;
Б. не изменяется;
В. изменяется или не изменяется в зависимости от того, какой это элемент.

массы покоя $m_p = 1,00814$ а.е.м., $m_n = 1,00899$ а.е.м., $m_\alpha = 3,01699$ а.е.м.

А. 7,58 МэВ; В. 34,18 МэВ/нуклон;

Б. 7,7 МэВ; Г. 7 МэВ/нуклон.

67. Какова электрическая мощность атомной электростанции, расходуемой в сутки 220 г изотопа урана 235 и имеющей КПД = 25%? (Считать, что при одном акте деления ядра U-235 выделяется энергия 200 МэВ).

А. ≈ 20 МВт;

Б. ≈ 530 МВт;

В. ≈ 53 МВт.

68. Имеется 10^9 атомов радиоактивного изотопа йода ${}_{53}^{128}I$, период его полураспада 25 мин. Какое примерно количество ядер изотопа испытает радиоактивный распад за 50 мин.?

А. $5 \cdot 10^8$; В. $2,5 \cdot 10^8$;

Б. 10^9 ; Г. $7,5 \cdot 10^8$.

69. Имеется 10^{10} атомов радиоактивного изотопа цезия ${}_{55}^{137}Cs$, период его полураспада 26 лет. Какое примерно количество ядер изотопа испытывает радиоактивный распад за 78 лет.

А. $8,75 \cdot 10^9$; В. $5 \cdot 10^9$;

Б. $7,5 \cdot 10^9$; Г. $2,5 \cdot 10^9$.

70. Определите удельную энергию связи в ядре атома изотопа урана ${}_{92}^{238}U$, если масса покоя $m_p = 1,00814$ а.е.м., $m_n = 1,00899$ а.е.м., $m_\alpha = 238,12376$ а.е.м.

А. 7,58 МэВ; В. 7,58 МэВ/нуклон;

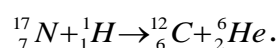
Б. 758 МэВ/нуклон; Г. 758 МэВ.

71. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 суток. Найдите период полураспада.

А. 2 суток; В. 8 суток;

Б. 4 суток; Г. 0,5 суток.

72. Определите энергетический выход ядерной реакции, если энергия связи ядер азота 123,9 МэВ, углерода – 92,2 МэВ, гелия – 29,3 МэВ



- А. 15 МэВ; В. 17,4 МэВ;
Б. 2,4 МэВ; Г. 3,3 МэВ.

73. Найдите в мегаэлектронвольтах энергию связи ядра изотопа лития ${}^7_3\text{Li}$.

- А. 20 МэВ; В. 39 МэВ;
Б. 3,92 МэВ; Г. 2,5 МэВ.

74. Изменяются ли массовое число, масса и порядковый номер элемента при испускании ядром γ кванта?

- А. Z изменяется, массовое число, и масса не изменяются;
Б. Z , массовое число и масса не изменяются;
В. Z не изменяется, массовое число и масса уменьшаются;
Г. Z и массовое число не изменяются, масса изменяется на массу γ излучения.

75. Имеется 10^9 атомов радиоактивного изотопа, период его полураспада 26 лет. Какое примерно количество ядер изотопа испытывает радиоактивный распад за 52 года?

- А. $5 \cdot 10^8$; В. $2,5 \cdot 10^8$;
Б. 10^9 ; Г. $7,5 \cdot 10^8$.

76. Определите энергетический выход ядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$, если энергия связи ядра изотопа гелия 7,714 МэВ, ядра атома дейтерия 2,2 МэВ.

- А. 3,3 МэВ; В. 15 МэВ;
Б. 4,9 МэВ; Г. 3,3 МэВ.

77. Определите период полураспада радиоактивного стронция, если за один год на каждую тысячу атомов распадается в среднем 24,75 атома.

- А. 3,5 года; В. 182,4 сут.;
Б. 27,36 лет; Г. 1800 лет.

78. Имеется 10^6 атомов радиоактивного изотопа с периодом полураспада 10 мин. Сколько примерно атомов из них не испытает превращение за 20 мин.?

- А. 10^6 ; В. $7,5 \cdot 10^5$;
Б. $5 \cdot 10^5$; Г. $2,5 \cdot 10^5$.

79. В процессе ядерного синтеза 50000 кг водорода превратились в 49644 кг гелия. Найдите количество выделившейся при этом энергии.

А. $\approx 9 \cdot 10^{12}$ кВт·ч;

Б. $\approx 18 \cdot 10^{12}$ кВт·ч;

В. $\approx 10^{10}$ кВт·ч.

80. Может ли после нескольких самопроизвольных радиоактивных превращений получиться ядро изотопа того же химического элемента?

А. может, после 1α – распада и 1β – распада;

Б. может, после 1β – распада и 2α – распадов;

В. может, после 1α – распада и 2β – распадов;

Г. не может ни при каких распадах.

81. Вычислите КПД атомной электростанции, электрическая мощность которой $5 \cdot 10^3$ кВт. Затраты урана составляют 30 г в сутки. Вследствие деления одного ядра урана выделяется 200 МэВ энергии.

А. 18%;

В. 50%;

Б. 72%;

Г. 12%.

82. Существует ли для электронов и протонов потенциальный барьер, препятствующий их проникновению в ядро атома?

А. существует;

Б. существует только для протонов;

В. ответ зависит от заряда ядра;

Г. не существует ни для электронов, ни для протонов.

83. Мощность атомного реактора при использовании за сутки 0,2 кг изотопа урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ составляет 32000 кВт. Какая часть энергии, выделенной вследствие деления ядер, используется полезно?

А. 17%;

В. 1/2;

Б. 32%;

Г. 1/4.

84. При β – распаде изотопа натрия 24 распадается $9,3 \cdot 10^{18}$ из $2,51 \cdot 10^{19}$ атомов. Период полураспада 14,8 ч. Определите время распада.

А. 0,5 сут.;

В. 9,8 ч.;

Б. 7,9 ч.;

Г. 6 ч.

85. Какова электрическая мощность атомной электростанции, расходуя-

щей в сутки 220 г изотопа ${}_{92}^{235}\text{U}$ и имеющей КПД 25%.

- А. 5,3 мВт; В. 5,3 МВт;
Б. 530 кВт; Г. 53 МВт.

86. Сколько процентов радиоактивных ядер кобальта останется через месяц, если период полураспада кобальта 71 день?

- А. 25%; В. 50%;
Б. 75%; Г. 0%.

87. Какая доля радиоактивных ядер изотопа ${}_{6}^{14}\text{C}$ распадается за 100 лет, если его период полураспада 5570 лет?

- А. 1,2%; В. 0,12%;
Б. 12%; Г. 0,24%.

88. Через сколько времени распадается 80% атомов радиоактивного изотопа хрома ${}_{24}^{51}\text{Cr}$, если период полураспада 27,8 сут.?

- А. 5,5 сут.; В. 64,7 сут.;
Б. 70 сут.; Г. 2 мес.

89. Третий блок Белоярской АЭС имеет электрическую мощность 600 МВт при КПД 47%. Определите массу урана 235, расходуемого в течение двух суток, если известно, что при делении одного ядра этого элемента выделяется энергия, равная 200 МэВ.

- А. 2,7 кг; В. 270 кг;
Б. 2,7 г; Г. 27 кг.

90. При β – распаде радиоактивного изотопа радия 228 из него вылетает электрон с кинетической энергией 0,05 МэВ. При этом изотоп радия превращается в изотоп актиния 228. Какую кинетическую энергию имеет ядро актиния? Массы протона и нейтрона считать одинаковыми и равными $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

- А. 0,12 Дж; В. 12 Дж;
Б. 12 эВ; Г. 0,12 эВ.

Литература

1. 20 лет после Чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад. / под ред. В. Е. Шевчука, В. Л. Гурачевского. — Минск: Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь, 2006. — 112 с.
2. Булдаков, Л. А. Радиоактивное излучение и здоровье / Л. А. Булдаков, В. С. Калистратова. — Москва: Информ-Атом, 2003. — 165 с.
3. Жуковский, В. М. Радиоактивность и радиационная безопасность / В. М. Жуковский. — Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2004. — 294 с.
4. Капитонов, И. М. Введение в физику ядра и частиц / И. М. Капитонов под ред. УРСС. — Москва: Едиториал, 2002. — 728 с.
5. Лисовская, Д. П. Радиология пищевых продуктов / Д. П. Лисовская, Л. А. Галун, Г. С. Митюрнич под ред. Д. П. Лисовской. — Гомель: БТЭУ, 2003. — 296 с.
6. Кудряшов, Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) / Ю. Б. Кудряшов. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 448 с.
7. Лисовская, Д. П. Радиология пищевых продуктов / Д. П. Лисовская, Л. А. Галун, Г. С. Митюрнич под ред. Д. П. Лисовской. — Гомель: БТЭУ, 2003. — 296 с.
8. Морзак, Г. И. Радиационная безопасность: учебный комплекс для всех специальностей / Г. И. Морзак, И. В. Ролевич, Е. В. Зеленухо. — Минск: БН-ТУ, 2011. — 170 с.
9. Нормативы НРБ-2000 для пределов доз облучения населения и персонала.
10. Основы радиозэкологии и безопасной жизнедеятельности: пособие для учителей общеобразовательных учреждений / под ред. Т. Ковалевой, Г. А. Соколик, С. В. Овсяниковой. — Минск: Тонпик, 2008. — 366 с.
11. Саечников, В. А. Основы радиационной безопасности: Учеб. пособие / А. Саечников, В. М. Зеленкевич. — Минск: БГУ, 2002. — 183 с.

Учебное издание

Панова Татьяна Васильевна
Панов Максим Владимирович

«ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ» ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебное пособие по выполнению лабораторных работ

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 24.02.2015. Формат 60×84^{1/16}
Бумага писчая. Усл. п.л. 6,39. Тираж 100 экз. Изд. № 2905

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянская ГСХА
ул. Советская, д. 2а, Брянская ГСХА