

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе

”Определение содержания радиоактивных изотопов
цезия-137 и калия-40 в исследуемых образцах”

М и н с к 2 0 0 1

В работе изложен метод определения содержания радиоактивных изотопов ^{137}Cs и ^{40}K в исследуемых образцах различных веществ, используя для этих целей серийный γ -радиометр РУГ-91 "АДАНИ". Описаны свойства радиоактивности как физического явления, рассмотрены основные виды радиоактивных излучений, их количественные характеристики и способы регистрации.

Методические рекомендации утверждены на заседании кафедры физики (протокол № 2 от 10 октября 2000 г.).

Составители:

Кужир П.Г., Самойлюкович В.А., Тесевич Б.И.

Рецензент И.А.Сатиков.

© Кужир П.Г., Самойлюкович В.А.,
Тесевич Б.И., составление, 2001.

Цель работы — изучение основных закономерностей радиоактивного распада и знакомство с методикой определения содержания радиоактивных изотопов цезия-137 и калия-40 в исследуемых образцах различных веществ.

Используемые приборы и принадлежности — серийный γ -радиометр РУГ-91 "АДАНИ", образцы исследуемых веществ.

1. АТОМНОЕ ЯДРО И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Согласно планетарной модели атома Э.Резерфорда, вокруг положительно заряженного ядра по замкнутым орбитам движутся электроны, образуя электронную оболочку атома. В свете современных представлений атомное ядро представляет собой сложную систему, которая состоит из элементарных частиц: положительно заряженных протонов (p) и электрически нейтральных нейтронов (n). Протоны и нейтроны часто называют одним словом — нуклоны (от лат. *nucleus* — ядро).

Ядро обозначается тем же условным символом, что и соответствующий ему атом, т. е. ${}^A_Z\text{X}$, где X — символ химического элемента; Z — зарядовое число (атомный номер), равное числу протонов в ядре и совпадающее с порядковым номером химического элемента в Периодической системе элементов Менделеева; A — массовое число, равное общему числу нуклонов в ядре $A = Z + N$, т. е. сумме числа протонов Z и нейтронов N в ядре. Атомные ядра часто называют нуклидами.

В нейтральном атоме значение Z равно числу электронов Z_e в этом атоме; если же $Z > Z_e$ либо $Z < Z_e$, то такую систему называют соответственно положительным либо отрицательным ионом.

Заряд протона равен элементарному заряду (заряду электрона) $e \approx 1,60218 \cdot 10^{-19}$ Кл, а заряд ядра соответственно равен Ze .

Размеры атомов составляют примерно 10^{-10} м, а размеры ядер — порядка $10^{-15} \div 10^{-14}$ м.

Практически вся масса атома сосредоточена в ядре. Массы покоя протона и нейтрона мало отличаются друг от друга и равны $m_p \approx 1836,2m_e \approx 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг и $m_n \approx 1838,7m_e \approx 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг, где $m_e \approx 9,109 \cdot 10^{-31}$ кг — масса покоя электрона.

Между нуклонами в ядре действуют ядерные силы, значительно превышающие кулоновские силы отталкивания между протонами ядра. Эти силы являются короткодействующими: радиус их действия приближенно равен 10^{-15} м, т. е. порядка размеров ядра.

Ядра с одинаковым числом протонов Z , но разным числом нейтронов $N = A - Z$ называются **изотопами** данного химического элемента. Например, водород имеет три изотопа: ${}^1_1\text{H}$ — протий ($Z = 1, N = 0$), ${}^2_1\text{H}$ — дейтерий ($Z = 1, N = 1$), ${}^3_1\text{H}$ — тритий ($Z = 1, N = 2$). Ядра с одинаковыми значениями массового числа A , но различными зарядовыми числами Z называют **изобарами**. В качестве примера ядер-изобар можно привести ядра ${}^4_{10}\text{Be}$, ${}^5_{10}\text{B}$, ${}^6_{10}\text{C}$.

В настоящее время известно более 2500 ядер, отличающихся друг от друга либо зарядовым, либо массовым числом, либо и тем и другим.

Энергия ядра, как и энергия атома, может принимать лишь дискретные значения: каждому состоянию ядра соответствует определенный уровень энергии. Состояние ядра с наименьшей энергией называют **основным состоянием**, а остальные состояния называют **возбужденными**. С течением времени ядро переходит в состояние с меньшей энергией. Этот переход ядра может сопровождаться испусканием фотонов. Такие фотоны ядерного происхождения называют **γ -квантами**.

2. РАДИОАКТИВНОСТЬ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ

Радиоактивность — самопроизвольное (спонтанное) превращение атомных ядер некоторых химических элементов в другие ядра, сопровождающееся испусканием **радиоактивного излучения** — элементарных частиц (например, электронов, позитронов, фотонов и др.) или ядер (например, ${}^4_2\text{He}$).

Радиоактивные свойства того или иного химического элемента обусловлены структурой его ядра. Впервые явление радиоактивности было обнаружено французским физиком А. Беккерелем в 1896 г.

Радиоактивность, присущая существующим в природных условиях нестабильным (неустойчивым) изотопам, называется **естественной радиоактивностью**. **Искусственная радиоактивность** наблюдается у некоторых изотопов, полученных в результате ядерных реакций. Между этими двумя типами радиоактивности нет принципиальных различий, поскольку они описываются одними и теми же законами радиоактивного превращения. Все нестабильные (радиоактивные) ядра принято называть **радионуклидами**, или **радиоактивными изотопами**. Вещество, содержащее радионуклиды, называют **радиоактивным**.

Процесс самопроизвольного радиоактивного превращения ядер, называют **радиоактивным распадом**, или просто **распадом**. Атомное ядро,

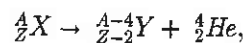
испытывающее радиоактивный распад, называют **материнским**, а возникающее в результате такого распада — **дочерним** ядром.

Радиоактивный распад сопровождается выделением энергии и возбуждением в веществе других процессов; при этом выполняются законы сохранения энергии, импульса, момента импульса и электрического заряда. В процессе распада у ядра может изменяться как зарядовое число Z , так и массовое A , однако сумма зарядовых чисел и сумма массовых чисел всех продуктов данного распада остаются неизменными, хотя нуклоны одного вида способны превращаться в нуклоны другого вида (протоны — в нейтроны и наоборот).

Установлено три основных типа радиоактивных излучений, каждому из которых соответствует свой тип распада: α -, β - и γ -излучение.

α -Излучение представляет собой поток ядер атома гелия ${}^4_2\text{He}$. Следовательно, для α -частицы $Z = N = 2$ и $A = 4$, поэтому ее масса в 7,4 тысячи раз больше массы покоя электрона m_e . α -Излучение как поток движущихся заряженных частиц отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает высокой ионизирующей способностью и малой проникающей способностью (например, оно полностью поглощается алюминиевой пластинкой толщиной 0,05 мм либо обычным листом бумаги).

При α -распаде, схема которого имеет вид



в соответствии с законами сохранения электрического заряда и числа нуклонов, зарядовое и массовое числа материнского ядра X соответственно на 2 и 4 превышают аналогичные характеристики дочернего ядра Y . В настоящее время известно более двухсот ядер, испытывающих α -распад. К ним относятся, в первую очередь, тяжелые ($A > 200, Z > 82$), а также некоторые ядра редкоземельной группы элементов с массовым числом $A = 140 \div 160$. Скорости вылетающих α -частиц при распаде ядра, как правило, приблизительно одинаковы: для различных ядер они принимают значения от $1,4 \cdot 10^7$ до $2 \cdot 10^7$ м/с, что соответствует энергиям тяжелых ядер в пределах от 4 до 8,8 МэВ ($1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж).

β -Излучение представляет собой поток легких отрицательно или положительно заряженных частиц (соответственно электронов или позитронов), движущиеся со скоростью, близкой к скорости света. Как и α -излучение, β -излучение отклоняется электромагнитными полями, однако его ионизирующая способность примерно на два порядка по величине меньше, чем для α -излучения. Проникающая же способность β -частиц го-

раздо больше, чем в случае α -излучения: оно поглощается слоем алюминия толщиной около 2 мм.

γ -Излучение — это высокочастотное (т. е. коротковолновое, с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda \sim 10^{-10}$ м) электромагнитное излучение, которое поэтому обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью. Такое излучение имеет ярко выраженные корпускулярные свойства и потому рассматривается как поток частиц — γ -квантов (фотонов). Оно не отклоняется ни электрическими, ни магнитными полями.

В настоящее время установлено, что γ -излучение испускается дочерним ядром. Дочернее ядро в момент своего образования, находясь в возбужденном состоянии, за время примерно 10^{-14} – 10^{-13} с, которое значительно меньше времени жизни возбужденного атома (порядка 10^{-8} с), переходит в основное состояние с испусканием γ -кванта. При этом, возвращаясь в основное состояние, возбужденное ядро может пройти через ряд промежуточных состояний, совершив так называемый каскадный переход, поэтому γ -излучение одного и того же радиоактивного изотопа может содержать несколько групп γ -квантов, отличающихся друг от друга своей энергией. При радиоактивных распадах различных ядер γ -кванты имеют энергии от 10 кэВ до 5 МэВ, которые соответствуют диапазону длин волн от $2 \cdot 10^{-4}$ до 0,1 нм.

Воздействие рассмотренных выше радиоактивных излучений на вещество приводит к вырыванию одного или нескольких электронов из электронных оболочек нейтральных атомов и молекул, т. е. к появлению положительно заряженных ионов и свободных электронов. Выбитые электроны могут захватываться другими нейтральными атомами, образуя отрицательные ионы. Такой процесс в веществе, который приводит к возникновению противоположно заряженных ионов и свободных электронов, называется его **ионизацией**. Вследствие этого радиоактивные излучения относятся к **ионизирующим излучениям**.

Очевидно, что термин "ионизирующее излучение" более широкий, чем "радиоактивное излучение", поскольку в качестве **ионизатора** (внешнего либо внутреннего воздействия, способного ионизировать вещество) могут выступать не только вышеуказанные типы радиоактивных излучений. Так, ионизация газов может происходить под действием различных ионизаторов: сильного нагревания (быстрые молекулы в результате столкновений разбиваются на ионы), высокочастотного электромагнитного излучения (ультрафиолетового или рентгеновского), в результате воздействия пото-

ков электронов, протонов, нейтронов, α -частиц и т. д. Энергия, которая необходима для того, чтобы вырвать (выбить) электрон из атома или молекулы, называется **энергией ионизации**, значения которой для атомов различных веществ лежат в пределах от 4 до 25 эВ ($1 \text{ эВ} \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

Одновременно с процессом ионизации в газах всегда протекает и обратный процесс, называемый **рекомбинацией**, при котором в результате воссоединения друг с другом положительных ионов и электронов либо положительных и отрицательных ионов образуются нейтральные атомы и молекулы.

Для количественной оценки степени воздействия ионизирующего излучения на вещество вводят понятие **дозы ионизирующего излучения**. Различают следующие ее основные разновидности:

- **поглощенная доза излучения** — физическая величина, равная отношению энергии ионизирующего излучения, поглощенной веществом, к массе этого вещества;
- **экспозиционная доза излучения** — физическая величина, равная отношению суммы электрических зарядов всех ионов одного знака, созданных электронами, освобожденными в облученном воздухе (при условии полного использования ионизирующей способности электронов), к массе этого воздуха.

Мощностью поглощенной либо экспозиционной дозы излучения называют величину, равную соответствующей дозе излучения, полученной в единицу времени.

3. ОСНОВНОЙ ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Радиоактивный распад — это спонтанный процесс с участием большого числа радиоактивных ядер, поэтому для его описания используются законы статистики. Число радиоактивных ядер dN , распавшихся за бесконечно малый промежуток времени dt , в среднем пропорционально количеству нераспавшихся ядер $N = N(t)$ в произвольный момент времени t , т. е.

$$dN = -\lambda N dt, \quad (1)$$

где постоянная для данного распада величина λ называется **постоянной радиоактивного распада**. Знак минус в формуле (1) указывает на то, что число радиоактивных (нераспавшихся) ядер N с течением времени уменьшается.

Предположим, что в начальный момент времени (при $t = 0$) число радиоактивных ядер было равно N_0 . Тогда, разделив переменные в последнем равенстве и проинтегрировав обе его части на отрезке времени от 0 до t , приходим к соотношению

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

которое представляет собой **основной закон радиоактивного распада**: число радиоактивных (нераспавшихся) ядер $N(t)$ убывает со временем по экспоненциальному закону вида (2).

Одной из характеристик интенсивности процесса радиоактивного распада является период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного ядра.

Период полураспада $T_{1/2}$ — это время, за которое начальное число N_0 радиоактивных ядер в среднем уменьшится в два раза.

Согласно закону радиоактивного распада в виде (2) в момент времени $t = T_{1/2}$ должно выполняться равенство

$$N(T_{1/2}) = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2} N_0,$$

откуда после логарифмирования следует соотношение между периодом полураспада радиоактивного ядра $T_{1/2}$ и соответствующей этому же ядру постоянной радиоактивного распада λ , которое имеет вид:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda}. \quad (3)$$

Периоды полураспада для естественных радиоактивных изотопов могут составлять от десятимиллионных долей секунды (для короткоживущих радионуклидов) до многих миллиардов лет (у долгоживущих радионуклидов). В качестве примера долгоживущих радионуклидов можно привести изотопы ^{137}Cs и ^{40}K , периоды полураспада которых составляют соответственно 30 и $1,29 \cdot 10^9$ лет.

Другой характеристикой интенсивности радиоактивного распада является **среднее время жизни** τ радиоактивного ядра, которое равно величине, обратной постоянной радиоактивного распада λ , т. е. $\tau = 1/\lambda$.

Основной количественной характеристикой интенсивности излучения радиоактивного источника является его активность A .

Активностью A нуклида в радиоактивном источнике называют величину, равную числу актов радиоактивного распада, происходящих в этом источнике за единицу времени, или скорость убывания числа радиоактивных ядер. С учетом соотношения (2)

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

где $A_0 = \lambda N_0$ — активность источника в начальный момент времени (при $t = 0$). Согласно выражению (4), активность радиоактивного источника A , как и число радионуклидов N (см. (2)), уменьшается со временем по экспоненциальному закону.

Единицей измерения активности в системе СИ является **беккерель** (Бк). По определению, 1 Бк равен активности радиоактивного источника, в котором за 1 с происходит один акт радиоактивного распада, т. е. $1 \text{ Бк} = 1$ распад/с. Часто используются кратные беккерелю единицы: килобеккерель ($1 \text{ кБк} = 10^3 \text{ Бк}$) и мегабеккерель ($1 \text{ МБк} = 10^6 \text{ Бк}$). Традиционно в ядерной физике также используется старейшая внесистемная единица активности нуклида в радиоактивном источнике — **кюри** (Ки) и ее производные: нанокюри ($1 \text{ нКи} = 10^{-9} \text{ Ки}$), микрокюри ($1 \text{ мкКи} = 10^{-6} \text{ Ки}$), милликюри ($1 \text{ мКи} = 10^{-3} \text{ Ки}$) и др., причем $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ или $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ (активность около 1 Ки имеет 1 г радионуклида ^{226}Ra).

В дозиметрической практике для дополнительной характеристики интенсивности излучения радиоактивного источника наряду с активностью A используются:

- **удельная активность** $A_m = A/m$ — это активность единицы массы m источника (измеряется в Бк/кг или Ки/кг);
- **объемная активность** $A_V = A/V$ — это активность единицы объема V источника (измеряется в Бк/м³ или Ки/м³);
- **поверхностная активность** $A_S = A/S$ — это активность единицы поверхности S источника (измеряется в Бк/м² или Ки/м²).

Согласно равенству (4), значение активности A (а следовательно, и связанные с ней значения активностей A_m , A_V и A_S) пропорционально числу радионуклидов в исследуемом образце, поэтому можно установить соотношение между массой m_r радионуклида в источнике и, например, удельной активностью A_m этого радионуклида, которое имеет вид:

$$m_r = 7,5 \cdot 10^{-17} A T_{1/2} A_m, \quad (5)$$

где m_r — масса радионуклида (в килограммах), A_m — его удельная активность (в кБк/кг), A — массовое число данного радионуклида, $T_{1/2}$ — его период полураспада (в годах). Выбор других единиц измерения для величин, входящих в формулу (5), приводит к изменению только числовой константы.

Таким образом, активность A является мерой количества радиоактивного вещества в источнике, поэтому на практике в качестве основной характеристики радиоактивного источника принято указывать не количество радиоактивного вещества в единицах массы, а его активность. Объясняется это несколькими причинами. Во-первых, как правило, количество радиоактивного вещества очень мало, вследствие чего прямое измерение его массы представляет значительные трудности. Во-вторых, радиоактивные изотопы обычно находятся в смеси с нерадиоактивными изотопами одного и того же химического элемента, а химические свойства всех таких ядер одинаковы (их невозможно разделить химическими методами). В-третьих, число радиоактивных ядер N в образце, как и их активность A , со временем экспоненциально уменьшается.

4. МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ЧАСТИЦ

Практически все методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений (α , β , γ), атомных ядер и элементарных частиц основаны на их способности производить ионизацию и возбуждение атомов среды. Заряженные частицы вызывают эти процессы непосредственно, а воздействие γ -квантов и нейтронов обнаруживается по ионизации, вызываемой быстрыми заряженными частицами, которые возникают в результате взаимодействия этих γ -квантов и нейтронов с электронами и ядрами атомов среды. Вторичные эффекты, сопровождающие рассмотренные процессы (например, вспышка света, электрический ток, потемнение фотопластинки и др.), позволяют регистрировать пролетающие частицы, считать их, отличать друг от друга и измерять их энергию.

Для регистрации радиоактивных излучений и проведения необходимых количественных измерений приходится создавать приборы, представляющие собой технически сложные устройства, соединяющие в себе достижения различных областей современной физики и электроники. По своему функциональному назначению используемые в широкой практике приборы для контроля и измерения радиоактивных излучений делятся на три типа: дозиметры, радиометры и спектрометры.

Дозиметры — это приборы, измеряющие экспозиционную или поглощенную дозу излучения, либо мощность этих доз, интенсивность излучения, перенос энергии или передачу энергии объекту, находящемуся в поле излучений.

Радиометры — это приборы, позволяющие получать информацию об активности радиоактивного источника, в том числе удельной, объемной активности, радиоактивном загрязнении поверхности, потоке ионизирующих частиц или квантов.

Спектрометры — это приборы, измеряющие распределение радиоактивных излучений по энергии и другим параметрам, характеризующим ионизирующие частицы.

Несмотря на различное назначение, все эти приборы, в основном, устроены одинаково. В каждом из них первичным измерительным эффектом является взаимодействие радиоактивного излучения с веществом регистрирующей части (детектора) измерительного прибора.

Детектор является важнейшим элементом приборов для обнаружения и измерения количественных характеристик радиоактивных излучений. Принцип работы и устройство детектора определяются характером взаимодействия радиоактивного излучения с веществом детектора. Детектирование радиоактивного излучения основано на регистрации эффектов, которые вызывают излучение при его прохождении через вещество. Количественными характеристиками регистрируемых эффектов является число образовавшихся пар ионов, число образовавшихся фотонов и т. д.

Среди множества существующих типов детекторов радиоактивных излучений в качестве примера рассмотрим работу счетчика. Счетчики фиксируют прохождение регистрируемой частицы через чувствительный объем своего детектора. Результат воздействия этой частицы на вещество детектора в счетчиках преобразуется в соответствующий электрический сигнал.

Счетчики радиоактивных излучений можно условно разделить на три группы: газонаполненные, твердотельные и оптические.

В **газонаполненных счетчиках** при попадании регистрируемой частицы в чувствительный объем детектора, представляющий собой газовый промежуток, к которому приложено высокое напряжение, возникает газовый разряд. Этот разряд замыкает электрическую цепь счетчика, на выходе которого возникает импульс напряжения, регистрируемый электронной схемой. Различным видам развивающегося в газовом промежутке газового разряда соответствуют различные типы газонаполненных счетчиков: ионизационная камера, пропорциональный счетчик, счетчик Гейгера-Мюллера, искровая камера.

В **твердотельных счетчиках** чувствительный объем представляет собой монокристалл, к граням которого приложено электрическое напря-

жение. Попадание в детектор радиоактивных частиц вызывает изменение проводимости вещества детектора, которое регистрируется электронной схемой.

В рабочем веществе **оптических счетчиков** радиоактивные излучения порождают оптические фотоны, регистрируемые обычно с помощью фотоэлектронных умножителей (ФЭУ).

В качестве примера счетчика оптического типа рассмотрим работу **сцинтилляционного счетчика** (от лат. *сверкание, вспышка*). Сцинтилляционные методы регистрации радиоактивных излучений основаны на измерении интенсивности световых вспышек, возникающих в люминесцирующих веществах при прохождении через них ионизирующего излучения.

Вещества, испускающие свет под воздействием радиоактивных излучений, называются **сцинтилляторами**. Физическая основа сцинтилляционного метода — возбуждение и ионизация атомов и молекул вещества при прохождении через него заряженных частиц. Через некоторое время они переходят в основное состояние, испуская световое излучение. Вспышка света может появиться также и при прохождении через сцинтиллятор γ -квантов и нейтронов. Обычно в качестве сцинтилляторов используют кристаллы некоторых неорганических ($ZnS(Ag)$ — для α -частиц; $NaI(Tl)$, $CsI(Tl)$ — для β -частиц и γ -квантов) или органических (антрацен, пластмассы — для γ -квантов) веществ. Важнейшим требованием, предъявляемым ко всем сцинтилляторам, является прозрачность к собственному световому излучению.

Основными элементами сцинтилляционного счетчика являются сцинтиллятор и оптически соединенный с ним фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), позволяющий преобразовывать слабые световые вспышки в электрические импульсы, регистрируемые электронной аппаратурой. Для этого типа счетчиков эффективность регистрации — отношение числа зарегистрированных частиц к полному числу частиц, прошедших через счетчик, — составляет примерно 100% для заряженных частиц и 30% для γ -квантов. Так как для многих сцинтилляторов ($NaI(Tl)$, $CsI(Tl)$, антрацен, стибен) интенсивность световой вспышки в широком интервале энергий пропорциональна энергии первичной частицы, то счетчики на данных сцинтилляторах применяются для измерения энергии регистрируемых частиц. Это дает возможность создавать на базе сцинтилляционных детекторов не только радиометр, но и дозиметр или даже спектрометр. В настоящее время сцинтилляционный детектор является наиболее распространенным типом детекторов, используемых в профессиональных приборах радиомет-

рического и дозиметрического контроля.

5. γ -РАДИОМЕТР РУГ-91 "АДАНИ"

γ -Радиометр РУГ-91 "АДАНИ" предназначен для измерения удельной (объемной) активности радионуклидов ^{137}Cs и удельной (объемной) активности природного изотопа ^{40}K в образцах радиоактивных веществ, в том числе продуктов питания.

В качестве сцинтиллятора в γ -радиометре РУГ-91 используется кристалл $CsI(Tl)$ размерами 40×40 мм.

Диапазоны измеряемой γ -радиометром объемной активности:

- радионуклидов ^{137}Cs и ^{134}Cs не менее:
 - при времени измерения 20 мин — $0,018 \div 5,0$ кБк/л;
 - при времени измерения 2 мин — $0,06 \div 50,0$ кБк/л;
- радионуклида ^{40}K не менее:
 - при времени измерения 20 мин — $0,2 \div 50,0$ кБк/л;
 - при времени измерения 2 мин — $0,5 \div 50,0$ кБк/л.

Упрощенная функциональная схема, поясняющая принцип действия γ -радиометра, приведена на рис. 1.

Для повышения эффективности регистрации световых импульсов исследуемый образец (проба) 1 помещается в специальную кювету 2 (сосуд Маринелли объемом 0,5 л). Кювета с пробой устанавливается в свинцовый защитный экран (корпус) 3, уменьшающий влияние внешнего фонового излучения. Сверху экран закрывается свинцовой крышкой 4.

Световые вспышки, возникающие в сцинтилляторе 5, через световод 6 попадают на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) 7 и преобразуются в фотоэлектрические импульсы, которые после усиления поступают в устройство селекции.

Устройство селекции осуществляет отбор импульсов по двум уровням их амплитуд, соответствующим двум энергетическим зонам, в пределах которых изменяется энергия регистрируемых γ -квантов от радионуклидов цезия и калия. Устройство обработки подсчитывает число импульсов в каждой энергетической зоне и вычисляет активность γ -излучения. Устройство индикации и управления задает режим работы γ -радиометра и индицирует на табло результат измерения.

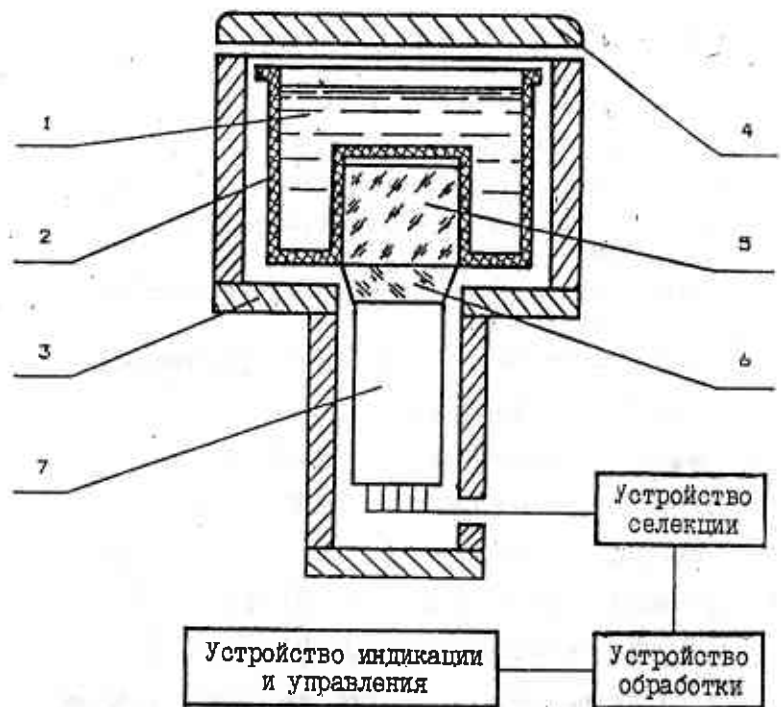


Рис. 1. Функциональная схема γ -радиометра РУТ-91 "АДАНИ".

- 1 — исследуемый образец (проба);
- 2 — кювета (сосуд Маринелли);
- 3 — защитный свинцовый экран (корпус);
- 4 — защитная свинцовая крышка;
- 5 — сцинтиллятор CsI(Tl);
- 6 — световод;
- 7 — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В чем состоит явление радиоактивности?
2. Перечислить основные виды радиоактивных излучений и их свойства.
3. Сформулировать основной закон радиоактивного распада.
4. Что такое период полураспада радиоактивного ядра и чему он равен для изотопов цезия-137 и калия-40?
5. Как связан период полураспада радиоактивного ядра с постоянной распада этого ядра?
6. Что такое активность нуклида в радиоактивном источнике и каковы единицы ее измерения?
7. Почему активность нуклида в радиоактивном источнике пропорциональна массе этого радионуклида?
8. Дать определения удельной, поверхностной и объемной активностей нуклидов в радиоактивном источнике и указать единицы измерения этих величин.
9. Пояснить принцип работы сцинтилляционного счетчика.
10. Объяснить устройство и назначение γ -радиометра РУТ-91 "АДАНИ".

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. — 5-е изд. — М.: Высшая школа, 1998. — Гл. 32.
2. Савельев И.В. Курс физики: В 3-х т. Т. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1989. — Гл. 9.
3. Наркевич И.И., Волмянский Э.И., Лобко С.И. Физика для ВТУЗов. Электричество и магнетизм. Оптика. Строение вещества. — Мн.: Вышэйшая школа, 1994. — Разд. 13.
4. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики: В 3-х т. Т. 3: Оптика, физика атомов и молекул, физика атомного ядра и микрочастиц. — 5-е изд. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1972. — Гл. 16.
5. Кужир П.Г., Сатиков И.А., Трофименко Е.Е. Радиационная безопасность / Под ред. В.И.Стражева. — Мн.: НП ООО "Пион", 1999. — Разд. 1-5.