

Национальный исследовательский
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Радиофизический факультет

Дозиметр-радиометр ДРГБ -01

Учебно-методическое пособие

Томск 2014

ОДОБРЕНО кафедрой космической физики и экологии
Зав. кафедрой, доцент _____ С.А. Колесник

РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО методической комиссией Радиофизического факультета
Протокол № 15 от «26» октября 2014 г.
Председатель комиссии, профессор _____ А.П. Коханенко

Данное учебно-методическое пособие посвящено вопросам организации и проведения измерений ионизирующих излучений и активности изотопов с позиции геофизики и экологии. Представлены основы измерения активности радионуклидов. Изложены основные способы обработки и анализа данных, полученных в процессе измерений. Дано описание проведения лабораторной работы.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов радиофизического факультета при выполнении практических работ по курсу «Ионизирующие измерения в экологии».

АВТОР: канд. физ.-мат. наук А.А. Колмаков

1. ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Различные виды ионизирующих электромагнитных и корпускулярных излучений – важнейший инструмент познания окружающего мира в масштабах от размеров вселенной до субатомных расстояний, в том числе и живой материи.

Ионизирующие излучения являются важным экологическим фактором, роль которого непрерывно возрастает с увеличением количества и мощности источников, встречающихся в природе или генерируемых искусственно, в результате деятельности человека.

Интерес физиков и биологов к различным типам ионизирующих излучений оформился в виде таких научных разделов, как радиационная биология ионизирующих излучений, рентгеноструктурный анализ, космические лучи и космофизические исследования и т.д.

Все перечисленные области знания подразумевают регистрацию, контроль и дозиметрию ионизирующих излучений. Целью работы является знакомство с работой дозиметра-радиометра и проведение измерений фоновое гамма-излучения и активности радионуклидов в окружающей среде.

2. СТРОЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА. ИЗОТОПЫ. РАДИОАКТИВНОСТЬ

Атом состоит из положительно заряженного ядра и электронов с отрицательным зарядом, вращающихся вокруг него. В целом атом является электрически нейтральным. Размер атома составляет $\sim 10^{-10}$ м, а его ядра – $\sim 10^{-15}$ м.

Ядра атомов всех химических элементов состоят из *нуклонов*, то есть из протонов Z и нейтронов N . Важной характеристикой любого ядра является *массовое число* $A=N+Z$ (разные химические элементы с одинаковыми A называют *изобарами*). Количество протонов определяет заряд ядра Z (порядковый номер химического элемента в периодической таблице Менделеева, и соответственно его название и химические свойства). У одного химического элемента может быть различное количество нейтронов в ядре. Такие ядра (атомы) называются *изотопами*. Конкретный элемент с фиксированными Z и N называется *нуклидом*.

Масса M любого ядра всегда меньше суммарной массы составляющих его протонов и нейтронов. Величина

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M(Z, N) \quad (1)$$

получила название *дефект массы*. Этот факт является следствием того, что ядро – это сильно связанная система нуклонов с минимально возможной энергией. Величина

$$\Delta W = (Zm_p + Nm_n - M(Z, N))c^2 \quad (2)$$

называется *энергией связи ядра*. То есть это минимальная энергия, которую необходимо затратить для разрыва ядра на все составляющие нуклоны. Если разделить энергию связи на массовое число (количество нуклонов в ядре), то можно определить *удельную энергию связи на нуклон* для каждого изотопа.

У каждого химического элемента существует изотоп с максимальной удельной энергией связи на нуклон – такие ядра названы β -стабильными. Если количество нейтронов в ядре оказывается больше, либо меньше, то такие ядра будут относиться к β^- или к β^+ -радиоактивными соответственно (рис. 1). В настоящее время установлено существование около 2000 нуклоностабильных изотопов.

Радиоактивность – способность некоторых изотопов самопроизвольно (спонтанно) превращаться в другие изотопы с испусканием элементарных частиц или излучения. Явление радиоактивности было открыто в 1896 г. А. Беккерелем.

Ядра изотопов, подверженные радиоактивным превращениям, называют радиоактивным, а не подверженные – стабильными. Указанное деление является по сути условным, так как все ядра могут самопроизвольно распадаться, но эти процессы идут с разной скоростью.

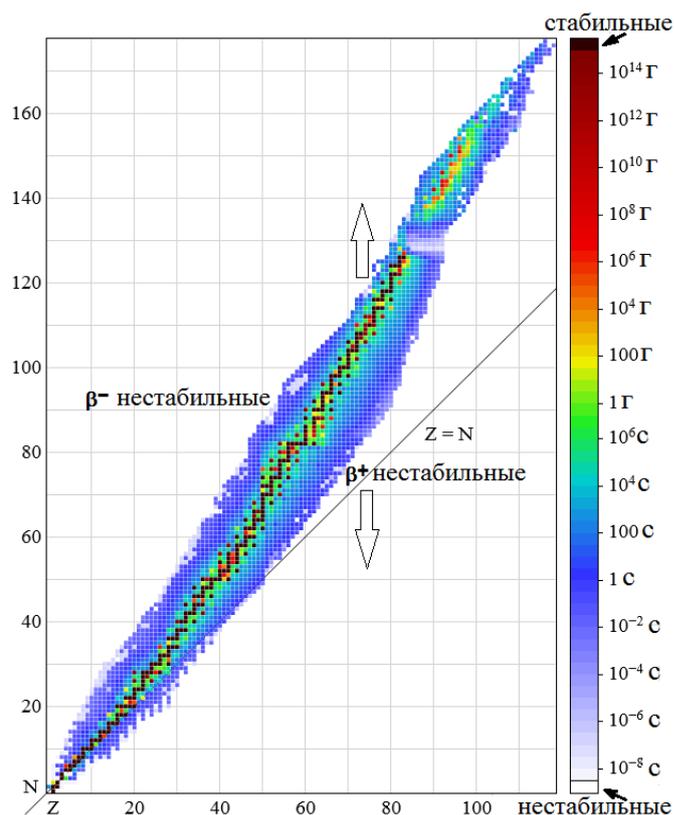


Рисунок 1 – Изотопы (цветовая шкала показывает среднее время жизни изотопа)

Различают два вида радиоактивности:

- естественную, которая встречается у природных неустойчивых ядер;
- искусственную, которая встречается у радиоактивных ядер, образованных в результате различных ядерных реакций.

Оба вида радиоактивности имеют общие закономерности.

Основные виды радиоактивных превращений изотопов приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Виды радиоактивных превращений

α -распад	Z^2	A^4
β^- -распад	Z^1	A
β^+ -распад	Z^1	A
Изомерный переход	Z	A
Деление тяжелых ядер	Z_1 и Z_2	A_1 и A_2

Во многих случаях радиоактивность изотопов приводит к образованию новых радиоизотопов, образуя так называемые *радиоактивные семейства*, которые, в конце концов, заканчиваются стабильным нуклидом. Цепочки превращений могут быть простыми (линейными) и сложными (с ветвлениями). Естественные ряды:

- ряд тория – начинается с нуклида ^{232}Th ;
- ряд радия – начинается с ^{238}U ;
- ряд актиния – начинается с ^{235}U .

Искусственный ряд:

- ряд нептуния – начинается с ^{237}Np .

3. ОСНОВНОЙ ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Радиоактивный распад – явление статистическое. Можно установить *вероятность* распада одного ядра за определенный промежуток времени. За равные промежутки времени распадаются

одинаковые доли наличных (т.е. еще не распавшихся к началу данного промежутка времени) ядер радиоактивного элемента.

Пусть за малое время dt распадается dN ядер. Это число пропорционально интервалу времени dt и общему числу радиоактивных ядер N :

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt, \quad (3)$$

где λ – *постоянная распада*, пропорциональная вероятности распада радиоактивного ядра и зависящая от природы элемента; знак « \rightarrow » указывает на *убывание* количества радиоактивных ядер.

Решением дифференциального уравнения (3) является экспоненциальная функция:

$$N = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t), \quad (4)$$

где N_0 – число радиоактивных ядер в момент $t=0$, а N – число не распавшихся ядер в текущий момент времени t .

Формула (4) выражает *основной закон радиоактивного распада*: число радиоактивных ядер изотопа убывает со временем по экспоненциальному закону.

На практике вместо постоянной распада часто используют другую величину, называемую периодом полураспада.

Период полураспада (T) – это время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.

Период полураспада может быть как очень большим, так и очень маленьким. Например, для урана $T_u = 4,5 \cdot 10^9$ лет, а для лития $T_{Li} = 0,89$ с.

Характеристики распада T и λ связаны соотношением: $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,69}{\lambda}$.

Закон радиоактивного распада с использованием периода полураспада записывается так:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (5)$$

На рисунке 2 изображены процессы радиоактивного распада для двух изотопов с различными периодами полураспада. В начальный момент времени количество изотопов было выбрано равным.

Учитывая, что исходный (*материнский*) радионуклид, как правило, является частью радиоактивной цепочки, то в процессе своего распада он рождает *дочерние* изотопы, а те в свою очередь следующие. И процессы распада будут идти до того момента, пока все нестабильные изотопы (как исходные так и образовавшиеся в процессе) не превратятся в конечный стабильный нуклид. Распады в линейной цепочке описываются системой уравнений:

$$\begin{cases} dN_1 / dt = -\lambda_1 N_1(t), \\ dN_2 / dt = -\lambda_2 N_2(t) + \lambda_1 N_1(t), \\ \dots \\ dN_i / dt = -\lambda_i N_i(t) + \lambda_{i-1} N_{i-1}(t) \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы (6) позволяет найти общее количество всех радионуклидов в заданный момент времени t :

$$\begin{aligned} N_1(t) &= N_1(0) \exp(-\lambda_1 t), \\ N_2(t) &= N_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} [\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)], \\ &\dots \\ N_i(t) &= N_1(0) \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{i-1} \left[\exp(-\lambda_1 t) / ((\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_i - \lambda_1)) + \dots + \right. \\ &\quad \left. + \exp(-\lambda_2 t) / ((\lambda_1 - \lambda_i)(\lambda_2 - \lambda_i) \dots (\lambda_{i-1} - \lambda_i)) \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $N_1(0)$ – количество материнского нуклида в начальный момент времени.

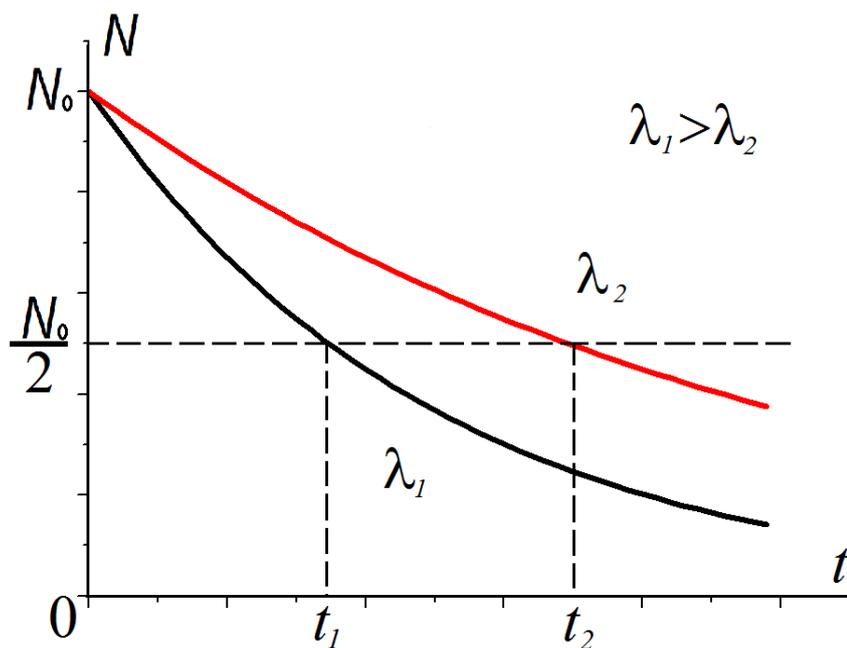


Рисунок 2 – Убывание количества ядер исходного количества двух изотопов при радиоактивном распаде

4. АКТИВНОСТЬ ИЗОТОПОВ

При работе с радиоактивным источником важно знать общее число частиц, вылетающих из препарата за единицу времени. Эта величина зависит от того, сколько частиц (включая γ -кванты) образуется при распаде одного ядра, и от числа распадов за время $t = 1$ с. Скорость радиоактивного распада называется *активностью*.

Активность – мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени, т.е. число ядер радиоактивного препарата, распадающихся за единицу времени:

$$A = \frac{dN}{dt}. \quad (8)$$

Единица измерения активности в СИ – *беккерель* (Бк), что соответствует одному акту распада в секунду.

На практике используется внесистемная единица активности – *Кюри* (Ки), 1 Ки соответствует активности 1 грамма ^{226}Ra : $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$. $1 \text{ Бк} = 0,27 \cdot 10^{-10}$.

По аналогии с количеством изотопа приведем еще одну полезную формулу, следующую из выражений (5), (8). Пусть в некоторый момент времени активность равна A_0 , тогда через время t активность радионуклида определяется соотношением:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (9)$$

Зная активность препарата и продукты, образующиеся при распаде одного ядра, можно вычислить, сколько частиц каждого вида испускает препарат за 1 секунду. Активность источника, как следует из (4) и (8), будет $A = \lambda N$. Тогда активность всех образовавшихся изотопов:

$$A_1(t) = A_1(0) \exp(-\lambda_1 t),$$

$$A_2(t) = A_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} [\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)]$$

и так далее в соответствии с (7) и (8).

5. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РАДИОАКТИВНОМ РАСПАДЕ

Радиоактивные вещества испускают 3 вида излучения: α , β и γ .

5.1. α -РАСПАД

Главными характеристиками α -радиоактивных ядер и испускаемых ими α -частиц являются период полураспада T , кинетическая энергия E_α и пробег R_α .

В эксперименте выявлены следующие основные закономерности и особенности α -распада. В 1911 г. Гейгер и Нетолл установили, что для всех α -радиоактивных элементов трех естественных радиоактивных семейств постоянная распада λ α -радиоактивного ядра и пробег R_α испускаемой им α -частицы связаны соотношением:

$$\lg \lambda = a \lg R_\alpha + b,$$

где постоянная a одинакова для всех радиоактивных семейств, а b меняется в пределах 5%.

Выявлена сравнительная узость границ возможных значений энергии α -частиц радиоактивных ядер и очень большой разброс в значениях их периодов полураспада. За очень небольшими исключениями энергия α -частиц E_α и периоды полураспада T для всех известных в настоящее время α -радиоактивных ядер заключены в пределах:

$$\begin{aligned} 4\text{МэВ} < E_\alpha < 9\text{МэВ}; \\ 10^{10} \text{ лет} > T > 10^{-7} \text{ с}. \end{aligned}$$

Как правило, α -радиоактивностью обладают ядра с зарядом > 82 (тяжелее свинца), причем энергия α -частиц растет с ростом ядра. Исключениями являются несколько ядер редкоземельных элементов (например, ^{146}Sm и ^{190}Pt и др.), а также некоторые искусственно полученные ядра с большим недостатком нейтронов.

Для редкоземельных элементов энергия α -частиц значительно меньше, а период полураспада больше, чем для тяжелых (например, ^{144}Nd имеет $E_\alpha = 1,8 \text{ МэВ}$ и $T = 5 \cdot 10^{15} \text{ лет}$).

При сравнении энергии α -распада (E_α) различных изотопов одного и того же элемента наблюдается закономерное уменьшение энергии с ростом массового числа. Особенно четкая картина получается для четно-четных (относительно протонов и нейтронов) ядер. Детальный анализ этой закономерности показывает, что она справедлива при $A > 215$ и $A < 209$ и нарушается при промежуточных значениях массового числа. Эта закономерность помогает предсказать энергию α -частиц для неизвестных изотопов данного элемента.

Открыта так называемая тонкая структура α -спектров. Обычно ядра испускают α -частицы не с одним, а с несколькими близкими значениями кинетической энергии.

Механизм α -распада заключается в следующем. Как было показано в п.2, мерой прочности (устойчивости) ядра относительно разделения его на какие-либо составные части является величина энергии связи ядра относительно этих частей. Чем больше энергия связи, тем труднее произвести разделение (если энергия связи отрицательна, ядро может разделиться самопроизвольно), причем этот процесс будет сопровождаться выделением энергии, равной модулю энергии связи. В соответствии с этим условие энергетической возможности α -распада записывается следующим образом:

$$E_\alpha = (M(A-4, Z-2) + M({}_2^4\text{He}) - M(A, Z))c^2 < 0.$$

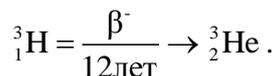
Здесь c – скорость света в вакууме. Масса (энергия) исходного ядра должна быть больше суммы масс (энергий) ядра-продукта и α -частицы. Избыток энергии исходного ядра выделяется при α -распаде ядра в виде кинетической энергии, которая распределяется между α -частицей и ядром-продуктом таким образом, чтобы выполнялся закон сохранения импульса. Таким образом, подавляющую часть кинетической энергии, выделяющейся при α -распаде, уносит α -частица, и лишь незначительная ее доля (~2% для тяжелых α -радиоактивных ядер) приходится на ядро-продукт.

5.2. β - РАСПАД

β -распадом называется процесс самопроизвольного превращения нестабильного ядра в ядро с зарядом, отличным на $\Delta Z = \pm 1$ (см. таблицу. 1), в результате испускания электрона (позитрона) или захвата электрона. Период полураспада β -радиоактивных ядер меняется от $\sim 10^{-2}$ с до $\sim 2 \cdot 10^{15}$ лет. Энергия β -распада заключена в пределах от 18 кэВ (для ${}^3\text{He}$) до 16,6 МэВ (для ${}^{12}\text{N}$).

Известны три вида β -распада: β^- -распад, β^+ -распад и e -захват (K -захват).

Простейшим примером электронного β^- -распада является (если не считать β -распад нейтрона) β^- -распад трития:



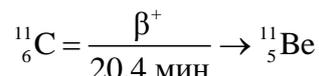
В конечном итоге β -распад трития сводится к превращению одного нейтрона в протон. Энергетическое условие возможности β^- -распада ядра с массовым числом A и зарядом Z записывается так:

$$M(A, Z) > M(A, Z + 1) + m_e. \quad (10)$$

Масса исходного (β -радиоактивного) ядра должна быть больше суммы масс конечного ядра и электрона. Это условие можно выразить через массы атомов $M_{\text{ат}}$, если учесть массы всех свободных электронов. Энергия, выделяемая при β^- -распаде:

$$E_{\beta^-} = (M_{\text{ат}}(A, Z) - M_{\text{ат}}(A, Z + 1))c^2$$

Для рассмотренного примера $E_{\beta^-} = 0,018$ МэВ. Примером позитронного β -распада является β^+ -распад ядра ${}^{11}\text{C}$, сопровождающийся испусканием положительного электрона – позитрона:



В этом случае β^+ -распад ядра сводится как бы к превращению одного протона в нейтрон. Разумеется, это превращение надо понимать условно, так как масса протона меньше массы нейтрона, вследствие чего позитронный распад свободного протона невозможен.

Энергетическое условие β^+ -распада по аналогии с условием β^- -распада имеет вид:

$$M(A, Z + 1) > M(A, Z) + m_e \quad (11)$$

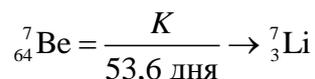
Энергия, выделяемая при β^+ -распаде для полных масс атомов:

$$E_{\beta^+} = (M_{\text{ат}}(A, Z) - M_{\text{ат}}(A, Z - 1) - 2m_e)c^2.$$

Для β^+ -распад ядра ${}^{11}\text{C}$ она составляет $E_{\beta^+} = 1$ МэВ.

Третий вид β -радиоактивности – электронный захват (e -захват) – заключается в захвате ядром электрона из электронной оболочки собственного атома. Природа e -захвата была раскрыта при изучении сопровождающего его рентгеновского излучения. Оказалось, что оно соответствует переходу электронов на освободившееся место в электронной оболочке образующегося после e -захвата атома ($A, Z - 1$). e -захват имеет существенное значение для тяжелых ядер, у которых K -оболочка расположена близко к ядру. Наряду с захватом электрона из K -оболочки (K -захват) наблюдается также захват электрона из L -оболочки (L -захват), из M -оболочки (M -захват) и т. д.

Примером легкого K -радиоактивного ядра является ядро ${}^7\text{Be}$, захватывающее K -электрон и превращающееся в ядро ${}^7\text{Li}$:



Энергетическое условие возможности K -захвата можно записать, как

$$M(A, Z) + m_e > M(A, Z - 1). \quad (12)$$

Энергия, выделяемая при K -захвате для полных масс атомов:

$$E_{\beta^+} = (M_{\text{ат}}(A, Z) - M_{\text{ат}}(A, Z - 1) - 2m_e)c^2.$$

При выполнении неравенства (11) автоматически выполняется и неравенство (12), поэтому переходы между соответствующими ядрами возможны как посредством β^+ -распада, так и с помощью K -захвата. Примером может служить ядро марганца ^{52}Mn , которое переходит в ядро хрома ^{52}Cr в 35% случаев за счет β^+ -распада и в 65% случаев за счет K -захвата.

Для некоторых ядер (A, Z) может одновременно выполняться как условие (10) по отношению к изобару ($A, Z-1$), так и условие (12) по отношению к изобару ($A, Z+1$). В этом случае ядро (A, Z) будет одновременно испытывать все три вида β -превращений. Примером является ядро меди ^{64}Cu , которое в 40% случаев испускает электрон, в 40% случаев испытывает электронный захват и в 20% случаев испускает позитрон.

При β^+ , β^- -распаде ядра с большим избытком (недостатком) нейтронов конечное ядро может образоваться в возбужденном состоянии с энергией возбуждения, превышающей энергию отделения нейтрона (протона). В таком случае конечное ядро будет испускать запаздывающий (на время β -распада) нейтрон (протон).

Измерения β -спектров показали, что в процессе β -распада испускаются электроны всех энергий – от нуля до энергии $(E_e)_{\text{макс}}$, приблизительно равной (в случае β^- -распада) разности энергетических состояний исходного и конечного атомов.

5.3 γ -ИЗЛУЧЕНИЕ ЯДЕР

Гамма-кванты испускаются ядрами, образующимися после α - или β -распада в возбужденном состоянии. После α -распада обычно испускаются γ -лучи невысокой энергии ($E_\gamma < 0,5$ МэВ), так как α -распад, сопровождающийся образованием дочернего ядра в сильно возбужденном состоянии ($W > 0,5$ МэВ), затруднен малой прозрачностью потенциального барьера для α -частиц с пониженной энергией. Энергия γ -лучей, испускаемых дочерним ядром после β -распада, может быть выше и достигает 2–2,5 МэВ. В обоих рассмотренных примерах ядро, испускающее γ -лучи, имеет сравнительно небольшую энергию возбуждения, недостаточную для испускания нуклона.

Испускание γ -лучей ядрами, возбужденными значительно выше энергии отделения частицы, также бывает возможно. В процессе испускания γ -кванта ядро переходит из возбужденного состояния в состояние с меньшей энергией (радиационный переход). Радиационный переход может быть однократным, когда ядро, испустив один квант, сразу переходит в основное состояние, или каскадным, когда снятие возбуждения происходит в результате последовательного испускания нескольких γ -квантов.

По своей физической природе γ -излучение представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение ядерного происхождения. Обычно энергия ядерных квантов бывает заключена в пределах примерно от 10 кэВ до 5 МэВ.

Величина энергии γ -кванта E_γ определяется разностью энергий уровней ядра ΔE , между которыми происходит радиационный переход.

Кроме процессов испускания γ -лучей и явления внутренней конверсии переходом возбужденного ядра в низшее состояние могут происходить также за счет испускания электронно-позитронной пары (если энергия перехода $\Delta E > 1,02$ МэВ). Однако вероятность этого механизма не превышает 10^{-3} от вероятности γ -излучения.

6. ИСКУССТВЕННЫЕ ИЗОТОПЫ ^{90}Sr и ^{137}Cs

В процессе искусственных радиоактивных превращений появляются изотопы, отсутствующие в естественной среде. Наиболее опасными для окружающей среды и биологических объектов считаются долгоживущие радионуклиды Цезий (^{137}Cs), Стронций (^{90}Sr), а так же Йод (^{129}I , ^{131}I) и ряд других (см. прил. 3).

Цезий (^{137}Cs) – блестящий золотистый мягкий металл, бурно взаимодействующий, взрываясь с кислородом и водой, по химическим свойствам близкий к калию. Содержание стабильного изотопа (^{133}Cs) в среде крайне незначительно ($3 \cdot 10^{-6}$ % в земной коре, костной ткани человека и

животных и $3 \cdot 10^{-8}\%$ в морской воде). В среде до становления ядерной энергетики радиоактивный изотоп отсутствовал полностью. Естественных биологических функций не несет.

Наибольшее радиационно-экологическое значение имеет ^{137}Cs , суммарный выброс которого от АЭС мира в 2000 г. составлял $22,2 \cdot 10^{19}$ Бк ($6,0 \cdot 10^9$ Ки) в год (во время аварии на ЧАЭС выброс этого изотопа составил $22,9 \cdot 10^2$ Ки); образуется при делении ядер урана, плутония в ядерных реакторах, при ядерных взрывах; используется (выделяясь из осколочных продуктов АЭС) как γ -излучатель в медицине, металлургии, сельском хозяйстве; в настоящее время (в незначительных количествах) обнаруживается во всех объектах внешней среды.

Изотопы цезия при любом поступлении в организм полностью (коэффициент резорбции 100 %) включаются в метаболизм, конкурируя с калием, в том числе и ^{40}K . Скорость миграции в организме в 25 раз меньшая (см. прил. 3), что при более жестком γ -излучении изотопа ведет к формированию больших (по сравнению с ^{40}K) микролокальных (мембранных) лучевых нагрузок, при несколько ином (смещенном в сторону ионизации) характере поглощения энергии. В организме в отличие от естественного аналога миграции накапливается до предела насыщения, превышающего величину ежедневного поступления в 30 раз. Содержание в организме жителей с современной фоновой загрязненностью среды составляет (по расчетам) $0,4\text{--}0,5$ Бк/кг, но при стотысячекратном росте в группах населения территорий, прилегающих к АЭС, пострадавших от радиационных аварий.

Стронций (^{90}Sr) — серебристый кальциеподобный металл, покрытый оксидной оболочкой, плохо вступает в реакции, включаясь в метаболизм экосистем по мере формирования сложных Ca–Fe–Al–Sr-комплексов. Естественное содержание стабильного изотопа в почве, костных тканях, среде достигает $3,7 \cdot 10^{-2}\%$, в морской воде, мышечных тканях $7,6 \cdot 10^{-4}\%$. Биологические функции не выявлены; нетоксичен, может замещать кальций. Радиоактивный изотоп в среде отсутствует. Радиационные характеристики стронция приведены в приложении 3. Источники поступления в среду те же, что и цезия. Содержание радионуклида от ядерно-энергетических источников в почвах и последующих звеньях миграции соответствуют содержанию ^{137}Cs .

Поступление стронция в организм зависит от степени и характера включенности метаболита в почвенные органические структуры, продукты питания и колеблется от 5 до 30 %, при большем проникновении в детский организм. Независимо от пути поступления излучатель накапливается в скелете (в мягких тканях задерживается не более 1 %). Выводится крайне плохо (см. прил. 3), что ведет к постоянному накоплению дозы при хроническом поступлении в организм. В отличие от естественных (α -активных аналогов (урана, тория и др.) стронций является эффективным β -излучателем, что меняет спектр радиационных воздействий, в том числе и на гонады, эндокринные железы, красный костный и головной мозг. Накапливаемые дозы (фон) колеблются в тех же пределах, что и от поступления цезия (до $0,2 \cdot 10^{-6}$ мкКи/год в костях при дозах порядка $4,5 \cdot 10^{-2}$ мЗв/год).

7. ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР ДРГБ-01 «ЭКО-1»

7.1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Дозиметр-радиометр ДРГБ-01 «ЭКО-1» предназначен для контроля радиационной обстановкой в помещениях и территориях производственного, общественного и жилого назначения; на рабочих местах и т.д., а также для контроля за загрязненностью радионуклидами сырья, металлов, производственных отходов, транспорта, продуктов питания, воды.

Прибор используется персоналом радиологических и изотопных лабораторий, сотрудниками аварийных служб, гражданской обороны, охраны, строительных организаций и т.д.

Прибор имеет три режима измерений:

F – мощность эквивалентной дозы (МЭкД) гамма излучения (однократное измерение и циклическое с обновлением результата измерения каждые 20 секунд). Процесс измерения МЭкД сопровождается характерным звуком (щелчками), частота следования которых пропорциональна измеряемой МЭкД. Превышение значения $0,60$ мкЗв/ч сопровождается тревожной сигнализацией.

A – удельная радиоактивность.

B – плотность потока бета частиц.

Состав комплекта поставки приведен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Состав комплекта поставки

Технические характеристики «ЭКО-1» представлены в приложении 2.

7.2. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ДОЗИМЕТРА-РАДИОМЕТРА

Дозиметр-радиометр включает в себя следующие основные устройства:

- детектор излучения (счетчик СБТ10А);
- блок обработки измерительной информации на основе микроконтроллера;
- жидкокристаллический дисплей (ЖК-дисплей).

Принцип действия дозиметра-радиометра ЭКО-1 основан на преобразовании детектором (счетчик СБТ10А) потока фотонного и бета-излучения в импульсную последовательность электрических сигналов, частота следования которых (скорость счета) после соответствующей обработки преобразуется в результат измерения, выводимый на ЖК-дисплей.

Счетчик Гейгера-Мюллера СБТ10А имеет чувствительность к гамма-излучению: МЭкД – $4,0\text{мкР}\cdot\text{с}^{-1}$; $362,5\text{мкР}^{-1}\pm 40\text{мкР}^{-1}$; $1450,0\text{с}^{-1}\pm 160\text{с}^{-1}$;

Максимально рабочая МЭкД – 6500с^{-1} , $30\text{мкР}\cdot\text{с}^{-1}$, к.н. $\pm 20\%$;

Максимально допустимая МЭкД – $300\text{Р}\cdot\text{ч}^{-1}$;

СБТ10А предназначен для регистрации бета- и гамма- излучения в широком диапазоне энергий от 60кэВ до 2МэВ.

Конструктивно все узлы дозиметра-радиометра «ЭКО-1» размещены в корпусе из ударопрочного полистирола, на который надевается корректирующий фильтр. На фильтре нанесена метка, указывающая на эффективный центр детектора, относительно которого проводится градуировка и поверка дозиметра-радиометра (рисунок 3).

На лицевой панели дозиметра-радиометра расположены ЖК-дисплей и пленочная клавиатура с кнопками - «ВКЛ/ОТКЛ» «ЗВУКОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ», «РЕЖИМ».

Кнопка «ВКЛ/ОТКЛ» предназначена для включения (выключения) питания прибора.

Кнопка «ЗВУКОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ» предназначена для включения (выключения) звуковой сигнализации и освещения ЖК-дисплея в дозиметре-радиометре «ЭКО-1».

Кнопка «РЕЖИМ» предназначена для выбора режима работы.

Питание дозиметра-радиометра осуществляется от аккумуляторов, размещенных внутри прибора, или от сетевого адаптера (рисунок 3). Конструкция дозиметра-радиометра предусматривает контроль за состоянием аккумуляторов и обеспечивает их заряд без извлечения из прибора.

7.3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Меры безопасности

7.1.1 Все работы по настройке, ремонту, техническому обслуживанию и поверке дозиметра-радиометра, связанные с использованием радионуклидных источников, должны проводиться в соответствии с требованиями следующих нормативных документов: «Нормы радиационной безопасности - НРБ-99»; «Основные санитарные правила работ с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений - ОСПОРБ-99».

7.1.2 Во время эксплуатации дозиметра-радиометра в условиях, когда возможно его загрязнение или загрязнение внешнего детектора радиоактивными веществами, необходимо избегать попадания радиоактивной пыли и влаги на корпус прибора. Допускается использование дозиметра-радиометра в защитном полиэтиленовом пакете.

7.2 Подготовка к работе дозиметра-радиометра «ЭКО-1»

7.2.1 Перед началом работы с дозиметром-радиометром необходимо внимательно изучить все разделы данного руководства.

7.2.2 Дозиметр-радиометр поставляется с установленной батареей аккумуляторов.

7.2.3 Включите дозиметр-радиометр нажатием кнопки «ВКЛ/ОТКЛ». На ЖК-дисплее появится сообщение «F0.00» и через 20с появится результат первого измерения, например «F0.15». После этого дозиметр-радиометр готов к работе.

7.2.4 Если после включения дозиметра-радиометра имеет место мигание цифр на ЖК-дисплее, то необходимо произвести заряд аккумуляторов.

7.2.5 Управление дозиметром-радиометром «ЭКО-1» осуществляется при помощи кнопки «РЕЖИМ». Каждое нажатие этой кнопки, сопровождающееся звуковым сигналом, меняет режим работы прибора в следующей циклической последовательности:

1-е нажатие - F0,00 - измерение МЭкД (однократное)

2-нажатие - A00.0 - измерение фона при измерении удельной активности ^{137}Cs

3-нажатие - A00.0 - измерение пробы при измерении удельной активности ^{137}Cs

4-нажатие - A.00.0 - измерение фона при измерении удельной активности ^{90}Sr

5-е нажатие – A00.0- измерение пробы при измерении удельной активности ^{90}Sr

6-е нажатие- B.00.0 - измерение фона при измерении плотности потока

7-е нажатие - B00.0 - измерение плотности потока объекта

8-е нажатие - E0.00 - измерение МЭкД (циклическое)

9-е нажатие - H.00 - измерение МЭкД (однократное) и т.д.

7.3 Работа дозиметра-радиометра «ЭКО-1» в режиме измерения МЭкД

7.3.1 Измерение МЭкД фотонного излучения выполняется после завершения подготовительных работ по пп. 7.2.1-7.2.4, непосредственно после включения питания устанавливается режим-измерение МЭкД (циклическое). В этом режиме результат измерения обновляется каждые 20с.

7.3.2 Однократное нажатие кнопки «РЕЖИМ» переведет прибор в режим-измерение МЭкД (однократное). В этом режиме через 20с после его установки на ЖК-дисплей будет выведен единственный результат измерения МЭкД. Окончание измерения сопровождается звуковым сигналом.

В режимах измерения МЭкД процесс измерения сопровождается характерным звуком (щелчками) частота следования которых пропорциональна измеряемой МЭкД. Превышение измеряемой МЭкД значения 0.60 мкЗв/ч сопровождается тревожной сигнализацией.

Звуковая сигнализация отключается нажатием кнопки «ЗВУКОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ»

7.4 Работа дозиметра-радиометра «ЭКО-1» в режиме измерения удельной активности ^{137}Cs

7.4.1 Залейте жидкий или засыпьте предварительно мелкоизмельченный продукт в стандартную бытовую стеклянную банку емкостью 0.5л, с горловиной диаметром 8см и площадью основания не менее 40 см² так чтобы верхняя граница продукта не доходила до края горловины на 3-5мм.

7.4.2 Включите прибор. Удалите банку с продуктом на 1-1.5 м от прибора, Дважды нажмите кнопку «РЕЖИМ». В течение 520с будет идти процесс измерения фонового значения, сопровождающийся выводом на ЖК-дисплей убывающей последовательности чисел. По истечении времени измерения фона прибор выдаст звуковой сигнал, сопровождающийся миганием левого символа.

7.4.3 Банка с продуктом возвращается в место расположения прибора. Дозиметр-радиометр размещается на горловине банки так, чтобы экран прибора полностью перекрывал ее, Однократно нажмите кнопку «РЕЖИМ». В течение 520с будет идти процесс измерения удельной активности, сопровождающийся выводом на ЖК-дисплей возрастающей последовательности чисел. По истечении времени измерения удельной активности на ЖК-дисплей будет выведен результат измерения, сопровождающийся миганием левого символа и подачей звукового сигнала.

7.4.4 Для проведения следующего измерения следуйте положениям п.7.2.5.

7.5 Работа дозиметра-радиометра «ЭКО-1» в режиме измерения плотности потока бета-частиц

7.5.1 Включите прибор. Удалите прибор от исследуемого объекта на 0.3-0.5м. Снимите с прибора корректирующий фильтр. Шесть раз нажмите кнопку «РЕЖИМ». В течение 80с будет идти процесс измерения фонового значения, сопровождающийся выводом на ЖК-дисплей очень медленно убывающей последовательности чисел. По истечении времени измерения фона прибор выдаст звуковой сигнал, сопровождающийся миганием левого символа.

7.5.2 Расположите дозиметр-радиометр на расстоянии 2-3 мм от исследуемого объекта. Однократно нажмите кнопку «РЕЖИМ». В течение 80 с будет идти процесс измерения плотности потока бета-частиц, сопровождающийся выводом на ЖК-дисплей возрастающей последовательности чисел. По истечении времени измерения плотности потока бета-частиц на ЖК-дисплей будет выведен результат измерения, сопровождающийся миганием левого символа и подачей звукового сигнала.

7.5.3 Для проведения следующего измерения следуйте положениям п.7.2.5

8. ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Познакомиться с работой дозиметра-радиометра ДРГБ-01 «ЭКО-1».
2. Провести измерения мощности амбиентной эквивалентной дозы фонового фотонного излучения и вблизи различных источников.
3. Определить активность радионуклидов по измеренным гамма- и бета-излучениям.
4. Оформить отчет о проделанной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.А. Александров. Основы радиационной экологии: Учебное пособие /Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2007. – 268 с.
2. Ю.П. Пивоваров, В.П. Михалев. Радиационная экология.– М: Изд. Центр Академия, 2004.– 240 с.
3. А.Г. Колесник, С.А. Колесник, С.В. Побаченко. Электромагнитная экология: Учебное пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2009.– 336 с.
4. Ю.Б. Кудряшов. Радиационная биофизика. – М: Наука, 2003.– 448 с. 2004.– 320 с.
5. Давыдов М.Г. и др. Радиоэкология: учебник для вузов – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – 635 с.
6. Дозиметр-радиометр ДРГБ -01. Техническое описание.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Форма отчета

Отчет по выполненной работе оформляется в виде протокола с отражением следующих пунктов:

1. Название лабораторной работы.
2. Ф.И.О. студента, факультет, группа.
3. Время и место проведения работы.
4. Цель проведения лабораторной работы.
5. Измерительный прибор и его краткое описание.
6. Краткое изложение методик проведения экспериментов.
7. Таблицы и графики результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных.
8. Выводы из результатов измерений.
9. Подпись исполнителя.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Технические характеристики дозиметра-радиометра ДРГБ-01 «ЭКО-1»

Диапазон энергий гамма-излучений, МэВ	0,03...3,0
Энергия регистрируемого бета излучения, МэВ	более 0,15
Диапазон измерения мощности эквивалентной дозы, мкЗв/ч	0,10...1000
Основная погрешность измерения МЭкД, %	±15
Диапазон измерения удельной активности, кБк/кг	4,0 ... 100
Диапазон измерения плотности потока бета частиц, 1/схсм ²	0,2 ... 100
Основная погрешность измерения плотности потока, %	±20
Габаритные размеры, мм	180x85x45
Масса прибора не более, г	350
Время измерения:	
- в режиме измерения МЭкД, с	20
- в режиме измерения плотности потока, с	80 + 80 (фон + объект)
- в режиме измерения удельной активности, с	520 + 520 (фон + объект)
Рабочие условия эксплуатации:	
- температура окружающего воздуха, °С	- 20 ... +50
- относительная влажность при температуре +25 °С, %	до 95
- атмосферное давление, кПа	84 ... 106,7
Электропитание от аккумуляторов или от сети переменного тока 220В, частотой 50Гц.	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Радионуклид	Период периода полураспада	Всасываемость, %	Место наибольшего накопления в организме	Время двукратного снижения активности в организме	Средняя энергия излучателей, МэВ			Средняя фоновая нагрузка, сЗв
					α	β	γ	
Калий (^{40}K)	$1,3 \cdot 10^9$ лет	100	Все тело, головной мозг, эритроциты	58 сут	-	0.5	0.16	<20 в год во всем теле
Углерод (^{14}C)	5730 лет	100	Жировая, костная ткань	Не накапливается	-	$4.9 \cdot 10^{-2}$	-	1.02 во всем теле, 4.2 в жировой ткани
Радон (^{222}Rn)	3,8 сут	Не всасывается	Не накапливается. Облучает верхние дыхательные пути по типу внешнего облучателя	Не накапливается	5.5	10^{-5}	10^{-4}	0.002, (<50 на легкие)
Торон 220	54,5 сут							
Радий (^{226}Ra)	1620 лет	0,5-1	До 80% в скелете	17 лет	4.7	$3.6 \cdot 10^{-3}$	$6.7 \cdot 10^{-3}$	<14
Торий (^{232}Th)	$1.4 \cdot 10^{10}$ лет	1	Костные ткани, печень	22 года	4.07	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	0.007-0.7
Стронций (^{90}Sr) Иттрий (^{90}Y)	29,1 года	5	Все тело, скелет	5700 сут	-	0.2-0.9, 1.1 в костной ткани	-	Фоновое содержание в среде 0.005 Ки/км^2
Йод (^{131}I)	8,06 сут	100	Щитовидная железа	7 сут	-	0.2	0.4	-
Йод (^{129}I)	$1.57 \cdot 10^7$ лет						$2.5 \cdot 10^{-2}$	
Цезий (^{137}Cs)	30 лет	76	Все тело, почки, печень	138 сут	-	0.2	0.6	Фоновое содержание в среде 0.005 Ки/км^2
Цезий (^{134}Cs)	2.06 года						1.6	