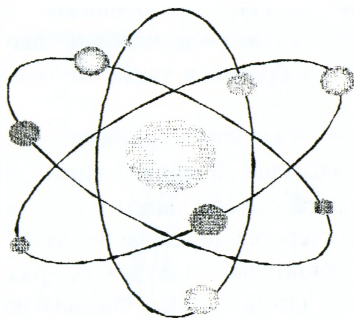


Министерство образования Республики Беларусь  
Брестский политехнический институт  
Кафедра физики

Лаборатория радиационной безопасности



Определение удельной активности  
калийных удобрений

Лабораторная работа Р-3  
(Модуль 3)

Брест - 1998

УДК 53-+614.876 (075.8)

Методические указания по выполнению лабораторной работы Р-3 (Модуль3)  
"ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ".  
Брест БПИ, 1998.

В методических указаниях приведено описание лабораторной работы Р-3 "Определение удельной активности калийных удобрений", в которой изучается зависимость удельной активности проб грунта по  $K_{19}^{40}$  от концентрации калийных удобрений а также методы обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа составлена в соответствии с временной программой по дисциплине "Защита населения в чрезвычайных ситуациях и экологическая безопасность", утвержденной Советом института (Протокол №8 от 2.07.96) на основании приказа Министерства образования Республики Беларусь №226 от 14.09.90 "О введении обязательного курса по радиационной экологии" и предназначена для студентов всех специальностей технического и экономического профилей БПИ.

Автор: Ю.П. Ракович , доцент.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Р-3 (Модуль 3)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

#### Методические указания

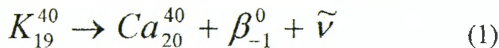
**1. Цель работы:** изучение основных закономерностей радиоактивного распада ядер  $K_{19}^{40}$  и зависимости удельной активности проб грунта от концентрации калийных удобрений.

**2. Приборы и принадлежности:** радиометр РКГ-01, предназначенный для измерения удельной активности по  $K_{19}^{40}$ , пробы грунта с различной концентрацией калийного удобрения.

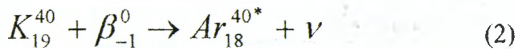
#### 3. Введение

При добыче и использовании сельскохозяйственных удобрений в природный кругооборот вовлекаются такие радиоактивные изотопы как  $Ra_{88}^{226}$ ,  $U_{92}^{238}$ ,  $K_{19}^{40}$ . Из них наибольший вклад в суммарную дозу, обусловленную естественным радиоактивным фоном вносит  $K_{19}^{40}$ . Этот нестабильный изотоп наряду с другими, не радиоактивными изотопами калия входит в состав<sup>1</sup> природной калийной соли.

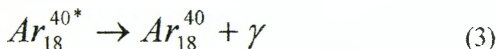
89 % ядер  $K_{19}^{40}$  испытывают  $\beta^-$  распад, испуская электроны ( $\beta^-$  - частицы) с энергией 1325 кэВ (Рис.1) по следующей схеме:



Оставшиеся 11% ядер  $K_{19}^{40}$  захватывают электроны электроны из К-оболочки атома<sup>1</sup>:



Ядро  $Ar_{18}^{40*}$ , является возбужденным и переходит в основное состояние с испусканием  $\gamma$ -кванта с энергией 1460 кэВ (Рис.1.):



Измеряя с помощью радиометра РКГ-01 число  $\gamma$ -квантов, испускаемых в единицу вре-

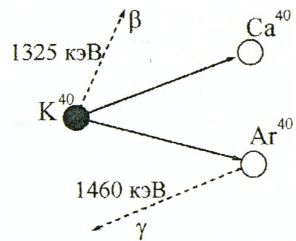


Рис.1. Схема распада  $K^{40}$

<sup>1</sup> Подробнее о К-захвате электронов см. Приложение 4.

мени, можно рассчитать удельную активность пробы грунта, содержащего удобрение, в качестве которого в данной работе используется хлористый калий - самое концентрированное и наиболее распространенное удобрение, с содержанием  $K_2O$  - 60%.

**4. Описание установки.** Радиометр РКГ-01 предназначен для измерения удельной активности гамма-излучающих нуклидов, содержащихся в пробах почв, донных отложений, продуктов питания, растениеводства и животноводства и имеет два канала. Один канал настроен на энергию  $\gamma$ -квантов в диапазоне 150÷900 кэВ и предназначен для измерения удельной активности по  $Cs_{55}^{137}$ , а второй регистрирует гамма-кванты с энергией 900 ÷ 1600 кэВ. Таким образом, используя второй канал радиометра можно измерять удельную активность проб, содержащих  $K_{19}^{40}$ . Переключение каналов осуществляется с помощью клавиши **Ф**.

В состав радиометра входят электронный блок и спектрометрический детектор со свинцовой защитой. В качестве датчика в радиометре используется сцинтиляционный кристалл йодистого натрия, активированный таллием.<sup>2</sup> Общий вид передней панели управления электронным блоком с соответствующими пояснениями представлен на рис.2.

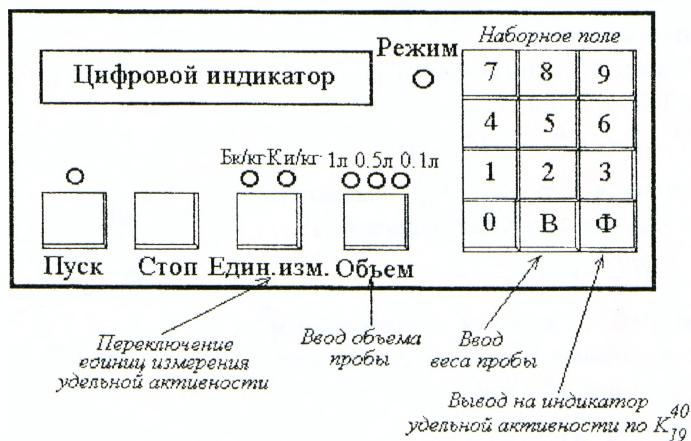


Рисунок 2. Общий вид панели управления электронным блоком.

<sup>2</sup> Подробнее о сцинтиляционном методе дозиметрии см. в Приложении 5.

## 5. Порядок работы с радиометром РКГ- 01.

### 5.1. Измерение фона.

1. Если радиометр уже включен, узнайте у преподавателя, измерялся ли фон на предыдущем занятии. В случае, если фон уже измерен, пропустите параграф 5.1 и переходите сразу к п.1 параграфа 5.2.

2. Если фон ещё не измерен, переходите к п.4, а если радиометр выключен, включите его тумблером «Сеть», который расположен на задней панели электронного блока. Контрольный индикатор «Режим» должен мигать.

3. Выдержите радиометр во включенном состоянии 30 мин.

4. Нажмите кнопку «Сброс» за задней панели прибора. Откройте блок свинцовой защиты и убедитесь, что он пуст. Плотно закройте блок защиты.

5. Нажмите клавишу «Пуск». После этого начнется измерение фона гамма-излучения, относительно которого будет регистрироваться удельная активность всех следующих проб. Во время измерения фона на цифровом индикаторе выводится:

- слева - скорость счета фонового излучения;
- справа - статистическая погрешность измерения (в %).

Измерение фона заканчивается после достижения точности ~ 3%, о чем свидетельствует звуковой сигнал. Значение скорости счета запоминается в памяти электронного блока и автоматически используется в дальнейшем при измерении удельной активности проб, поэтому данное значение можно не записывать.

### 5.2. Измерение удельной активности пробы.

1. Откройте блок свинцовой защиты и установите измеряемую пробу непосредственно над местом расположения спектрометрического детектора (бирка желтого цвета). Проверьте, чтобы крышка свинцовой защиты была плотно закрыта.

2. Нажимая на клавишу «Объем», добейтесь, свечения индикатора, соответствующего объему 0.1л.

3. Введите вес измеряемой пробы в граммах с помощью цифровых клавиш наборного поля.<sup>3</sup>

4. Для записи в память электронного блока веса пробы нажмите клавишу «В» - при этом должен прозвучать звуковой сигнал. В случае ошибочного ввода - нажмите клавишу «В» и повторите пункты 3 и 4.

5. Для начала измерения удельной активности нажмите клавишу «Пуск». На индикаторе должны появиться:

---

<sup>3</sup> Веса всех измеряемых проб приведены в Таблице 1.

- слева - изменяющееся значение удельной активности  $C_{55}^{137}$  в пробе (в Бк/кг);
- справа - абсолютное значение статистической погрешности (в тех же единицах измерения).

Активность  $K_{19}^{40}$  измеряется параллельно с активностью  $C_{55}^{137}$  но на индикатор не выводится.

6. Измерение в автоматическом режиме продолжается пока горит индикатор над клавишей «Пуск» и заканчивается после достижения точности ~ 3%, что требует около 15 минут времени. Для ускорения измерений рекомендуется после того как индикатор над клавишей «Пуск» начнет мигать - нажать клавишу «Стоп» и убедиться, что индикатор над клавишей «Пуск» погас.

7. После прекращения измерения удельной активности пробы нажмите клавишу «Ф» и, не отпуская её, запишите показания цифрового индикатора в таблицу 1. Цифровой индикатор показывает:

- слева - удельную активность  $A_{уд}$  пробы грунта по  $K_{19}^{40}$  (в Бк/кг);
- справа - абсолютное значение погрешности измерений  $\Delta A_{уд}$  (в тех же единицах).

8. Извлеките измеренную пробу из блока свинцовой защиты. Для измерения удельной активности следующей пробы грунта повторите все действия с п.1 по п.7.

### 6. Задания для самостоятельной работы.

1. Проведите измерения удельной активности проб грунта с известным процентным содержанием удобрения.

2. Измерьте удельную активность пробы грунта с неизвестным процентным содержанием удобрения.

3. Результаты занесите в таблицу:

Таблица 1.

| № пробы | Масса пробы $m_{пр}$ (кг) | Содержание удобрений Р (%) | $A_{уд}$ (Бк/кг) | $\Delta A_{уд}$ (Бк/кг) |
|---------|---------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------|
| 1       | 0.198                     | 0                          |                  |                         |
| 2       | 0.180                     | неизвестное                |                  |                         |
| 3       | 0.160                     | 50                         |                  |                         |
| 4       | 0.200                     | 40                         |                  |                         |
| 5       | 0.180                     | 22,22                      |                  |                         |
| 6       | 0.180                     | 10                         |                  |                         |

4. Постройте график, на котором по вертикальной оси отложите в выбранном масштабе значения измеренных величин удельной активности  $A_{уд}$ , а по горизонтальной - соответствующее процентное содержание удобрения в пробе  $P_i$ , где  $i$  - порядковый номер пробы грунта (см. рис.3)

5. Укажите на графике погрешности измерений, отложив  $\Delta A_{уд i}$  в виде отрезка в обе стороны от соответствующих значений  $A_{уд i}$  (см. рис.3).

6. Применяя метод наименьших квадратов (см. Приложение 1), рассчитайте коэффициенты  $a$  и  $b$  линейной зависимости  $A_{уд} = a \cdot P + b$  и проведите согласно этой формуле оптимальную прямую, соответствующую экспериментальным данным.

7. Используя уравнение прямой  $A_{уд} = a \cdot P + b$ , рассчитайте процентное содержание удобрения в пробе №2.

8. Используя уравнение прямой  $A_{уд} = a \cdot P + b$ , рассчитайте какой будет удельная активность пробы, содержащей 100% калийного удобрения.

9. Для всех измеренных проб грунта по известной удельной активности и массе пробы рассчитайте активность  $A$  изотопа  $K_{19}^{40}$  и массу данного радионуклида.<sup>4</sup>

10. Рассчитайте какая масса изотопа  $K_{19}^{40}$  потребуется для создания активности 1Ки.<sup>4</sup>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

### Обработка результатов измерений.

#### (Метод наименьших квадратов)

На рисунке 3 показан примерный график, на котором отложены экспериментально измеренные значения удельной активности  $A_{уд}$  в зависимости от концентрации удобрения  $P$ . Анализируя этот график, можно предположить, что зависимость  $A_{уд}$  от  $P$  должна быть линейной, т.е. должно выполняться равенство

$$A_{уд} = a \cdot P + b,$$

которое представляет собой уравнение прямой. Для нахождения коэффициентов  $a$  и  $b$  определяющих наиболее оптимальную прямую, воспользуемся методом наименьших квадратов.

Для каждого значения  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) найдем величину  $(a \cdot P_i + b - A_{уд i})^2$ , которая представляет собой квадрат разности между экспериментальным значением величины  $A_{уд i}$  и значением  $(a \cdot P_i + b)$ , вычисленным по формуле, выражающей предполагаемую линейную зависимость.

Образует далее сумму:

<sup>4</sup> Методика расчета изложена в Приложении 2 и 3.

$$S = \sum_{i=1}^5 (a \cdot P_i + b - A_{y\partial i})^2$$

Согласно методу наименьших квадратов, наилучшей прямой соответствует минимум этой суммы. Условия минимума выражаются двумя уравнениями:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial b} = 0$$

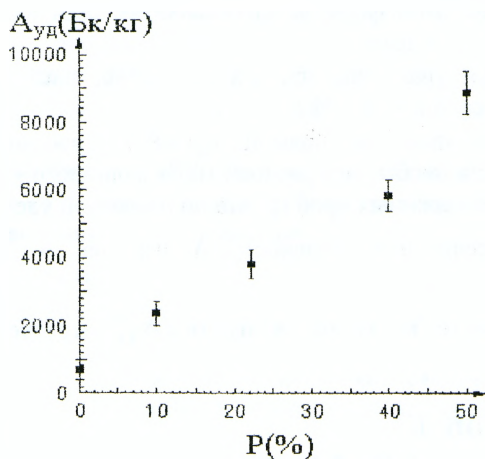


Рисунок 3.

что дает систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^5 P_i \cdot (a \cdot P_i + b - A_{y\partial i}) = 0; \\ \sum_{i=1}^5 (a \cdot P_i + b - A_{y\partial i}) = 0. \end{cases}$$

и после преобразования приводит к следующей системе из двух уравнений для определения неизвестных  $a$  и  $b$ :

$$\begin{cases} a \cdot X + b \cdot Y = Z_1 \\ a \cdot Y + b \cdot 5 = Z_2 \end{cases}$$

где  $X = \sum_{i=1}^5 P_i^2$ ;  $Y = \sum_{i=1}^5 P_i$ ;  $Z_1 = \sum_{i=1}^5 P_i \cdot A_{y\partial i}$ ;  $Z_2 = \sum_{i=1}^5 A_{y\partial i}$ .

Решая систему, находим



$$a = \frac{5 \cdot Z_1 - Y \cdot Z_2}{5 \cdot X - Y^2} \quad b = \frac{X \cdot Z_2 - Y \cdot Z_1}{5 \cdot X - Y^2}$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

### Активность радионуклида.

**Активностью** радиоактивного вещества (радионуклида)  $A$  называется отношение числа  $dN$  самопроизвольных распадов ядер, происходящих в образце за интервал времени  $dt$  к величине этого интервала времени.

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Единицей измерения активности радионуклида является беккерель (Бк)<sup>5</sup> Беккерель равен активности радионуклида в образце, в котором за 1 секунду происходит распад одного ядра. Внесистемная единица измерения активности - кюри (Ки)<sup>6</sup> Кюри - активность радионуклида в образце, в котором за время 1с. происходит  $3,700 \cdot 10^{10}$  распадов ядер<sup>7</sup>. Таким образом:

$$1\text{Ки} = 3,700 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

Отношение активности радионуклида  $A$  в пробе к массе пробы  $m$  называют **удельной активностью** пробы  $A_{\text{уд}}$ .

$$A_{\text{уд}} = A/m$$

Удельная активность измеряется либо в Бк/кг, либо в Ки/кг.

Активность радионуклида  $A$  или число радиоактивных атомов нуклида  $N$  уменьшается во времени  $t$  по экспоненциальному закону:

$$A(t) = A_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t) = A_0 \cdot \exp(-\ln 2 / T_{1/2}) \quad (2.1)$$

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t) = N_0 \cdot \exp(-\ln 2 / T_{1/2})$$

где  $A_0$  и  $N_0$  - активность радионуклида и число радиоактивных атомов нуклида в пробе в начальный момент времени  $t=0$ ;

$\lambda$  - постоянная распада - отношение доли ядер  $dN/N$  радионуклида, распадающихся за время  $dt$ , к этому интервалу времени:  $\lambda = (1/N) \cdot (dN/dt)$ ;

<sup>5</sup> Антуан Анри Беккерель (1852÷1908 гг.) - французский физик, открыл радиоактивность солей урана, лауреат Нобелевской премии.

<sup>6</sup> Названа в честь французских ученых - лауреатов Нобелевской премии супругов Пьера Кюри (1859÷1906 гг.) и Марии Склодовской-Кюри (1867 ÷ 1934 гг.), открывших радиоактивность полония и радия, основоположников учения о радиоактивности.

<sup>7</sup> Именно такова активность 1 грамма изотопа  $\text{Ra}^{226}$ .

$T_{1/2}$  - период полураспада радионуклида - время, в течение которого число ядер радионуклида в результате радиоактивного распада уменьшается в два раза (Период полураспада  $K^{40}$  составляет  $1.25 \cdot 10^9$  лет).

Изменение  $A(t)$  или  $N(t)$ , определяемое формулой (2.1) называется законом радиоактивного распада.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

#### Расчет массы радионуклида по известной активности.

Из закона радиоактивного распада следует, что активность радионуклида  $A$  связана с числом радиоактивных атомов  $N$  в источнике в заданный момент времени соотношением:

$$A = \lambda \cdot N = \ln 2 \cdot N / T_{1/2} \quad (3.1)$$

Свяжем массу  $M$  радионуклида в граммах (без учета массы нерадиоактивного грунта) с его активностью  $A$  в беккерелях. Число радиоактивных атомов  $N$ , создающих активность  $A$  (в Бк), определяется из формулы (3.1), где  $T_{1/2}$  выражен в секундах. Масса одного атома в граммах

$$m_a = A_m / N_A,$$

где  $A_m$  - атомная масса (в а.е.м.);  $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> - число Авогадро. Следовательно,

$$M = N \cdot m_a = (A \cdot T_{1/2} / \ln 2) \cdot (A_m / N_A) = k \cdot A_m \cdot T_{1/2} \cdot A \quad (3.2)$$

где активность  $A$  подставляется в беккерелях или кюри,  $k$  - константа, зависящая от единиц, в которых выражены период полураспада и активность. Так, если  $T_{1/2}$  выражен в секундах, то при активности, измеренной в беккерелях:  $k = 2.4 \cdot 10^{-24}$ .

Используя уравнение (3.2) можно также рассчитать, какая масса изотопа  $M^*$  потребуется для создания активности 1 Ки.

$$M^* = 8.56 \cdot 10^{-14} \cdot T_{1/2} \cdot A_m$$

### ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

#### Основные закономерности $\beta$ -распада ядер.

$\beta$ -радиоактивность объединяет три типа радиоактивных превращений:

- электронный распад ( $\beta^-$ -радиоактивность);
- позитронный распад ( $\beta^+$ -радиоактивность);
- электронный захват (К-захват).

В настоящее время известно свыше семисот естественных и искусственных  $\beta$ -изотопов, период полураспада которых охватывает интервал от  $\sim 10^{-2}$  с до  $\sim 2 \cdot 10^{15}$  лет при энергии  $\beta$ -частиц в пределах от 18 кэВ до 16.6 МэВ. Все эти многочисленные нестабильные ядра обладают одной общей особенностью:

энергия испускаемых ими электронов (или позитронов) имеет непрерывный спектр, простирающийся до некоторого предельного значения энергии  $E_{\max}$ :

$$E_{\max} = (M_1 - M_2 - m_e) \cdot c^2$$

где  $M_1$  - масса материнского ядра;  $M_2$  - масса дочернего ядра;  $m_e$  - масса электрона или позитрона;  $c$  - скорость света.

На рисунке 4 изображен  $\beta$ -спектр электронов (позитронов), где по оси  $x$  отложена энергия электронов, а по оси  $y$  - их число  $N$ .

Как показали эксперименты, при  $\beta$ -распаде атомное ядро одного и того же изотопа всегда теряет одинаковое количество энергии. Поэтому наличие всевозможных энергий у электронов, выбрасываемых данным ядром, приводит казалось бы к нарушению закона сохранения энергии, так как не ясно, куда уходит остальная часть энергии ядра.

Явление  $\beta$ -радиоактивности поставило перед ядерной физикой трудные проблемы: откуда берутся вылетающие электроны (или позитроны), почему их энергии могут принимать всевозможные значения энергии вплоть до  $E_{\max}$ ?

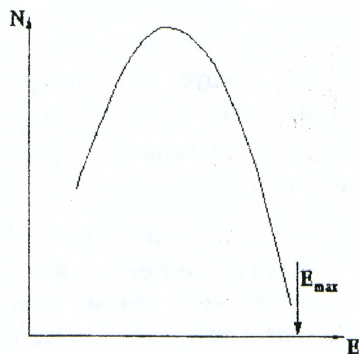


Рисунок 4. Энергетический спектр  $\beta$ -частиц

Выход был найден В.Паули<sup>8</sup>, который высказал гипотезу: при каждом акте  $\beta$ -распада одновременно с электроном вылетает еще одна частица, обладающая нулевым зарядом, ничтожно малой массой и спином, равным  $h/2$ . Э.Ферми<sup>9</sup>, разработавший на основе гипотезы Паули теорию  $\beta$ -распада ядер, назвал эту частицу нейтрино. В настоящее время установлено двух сортов таких частиц - нейтрино ( $\nu$ ) и антинейтрино ( $\bar{\nu}$ ). Название нейтрино было присвоено частице, испускаемой при  $\beta^+$ -распаде, а антинейтрино - частице, участвующей в  $\beta^-$ -распаде ядер. Различие нейтрино и антинейтрино состоит в

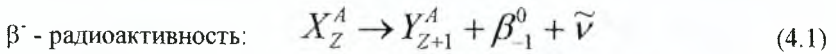
<sup>8</sup> Вольфганг Паули (1900÷1958 гг.) - австрийский физик, лауреат Нобелевской премии 1945 года за открытие квантовомеханического принципа запрета (Принцип Паули).

<sup>9</sup> Энрико Ферми (1901÷1954 гг.) - итальянский физик, лауреат Нобелевской премии 1938 года за теоретические и экспериментальные исследования реакций деления ядер нейтронами и создание атомного реактора на нейтронах.

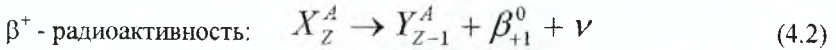
том, что у нейтрино направление спина совпадает с направлением движения, а у антинейтрино - противоположно направлению движения.

Введение нейтрино и антинейтрино позволило сразу объяснить наличие сплошного энергетического спектра у  $\beta$ -радиоактивных излучателей. Полная энергия  $E_{\text{max}}$ , теряемая ядром при испускании электрона и антинейтрино, распределяется между ними случайно, т.е. распределение энергии совершается по статистическим законам. Однако, сумма энергий этих частиц все время равна  $E_{\text{max}}$ .

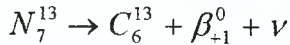
Схемы  $\beta$ -распада ядер:



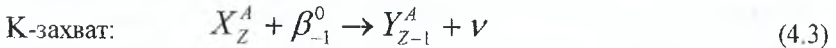
Как следует (4.1), дочернее ядро  $Y$  имеет атомный номер на единицу больший, чем у материнского ядра  $X$ , массовые числа обоих ядер одинаковы. В качестве примера  $\beta^-$  - распада можно привести распад ядра  $K_{19}^{40}$  (см. уравнение (1)).



Из (4.2) следует, что атомный номер дочернего ядра в данном случае на единицу меньше, чем материнского. Процесс сопровождается выделением позитрона и нейтрино. В качестве примера можно привести превращение азота в углерод:



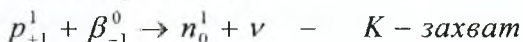
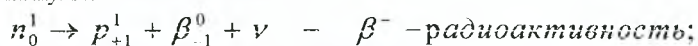
Позитрон является античастицей для электрона (масса и заряд позитрона по величине равны массе и заряду электрона, но знак заряда у электрона и позитрона противоположный). Следовательно, обе частицы, испускаемые при  $\beta^+$  - распаде представляют собой античастицы по отношению к частицам, испускаемым при  $\beta^-$  - распаде ядер.



При К-захвате ядро захватывает электрон из электронной оболочки атома. Наиболее вероятен захват электрона из К-оболочки атома. После захвата ядром К- (а иногда и L- или M- электрона) вакантное место в оболочке заполняется одним из более удаленных электронов, вследствие чего испускается характеристическое рентгеновское излучение (К-L-), (M-N-серии). При К-захвате, также как и при  $\beta^+$ -распаде ядра, зарядовое число  $Z$  уменьшается на единицу. Примером К-захвата может служить превращение калия в аргон (см. уравнение (2)).

Процесс  $\beta$ - распада в теории Ферми рассматривается как результат взаимодействия нуклона ядра с протон-нейтронным полем. В ядре нет ни

электронов, ни протонов. Они возникают в момент  $\beta$ -распада в результате превращения нуклонов по схемам:



Бета-распад ядер может сопровождаться также испусканием  $\gamma$ -квантов. Причина состоит в том, что дочернее ядро возникает не только в нормальном, но и в возбужденном состоянии. Переходя затем в состояние с меньшей энергией, ядро испускает гамма-кванты (см. уравнения (2) и (3)).

Некоторые ядра могут испытывать все три вида  $\beta$ -превращений. Примером может служить ядро  $Cu_{29}^{64}$ , которое в 40% случаев испускает электрон, в 40% случаев испытывает К-захват, и в 20% случаев испускает позитрон.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5.

### Сцинтилляционный метод детектирования.

Физическая основа сцинтилляционного метода - возбуждение и ионизация атомов и молекул вещества при прохождении через него заряженных частиц. Через короткое время ( $\sim 10^{-6} \div 10^{-9}$  с) возбужденные атомы переходят в основное состояние, испуская световое излучение (это явление называется люминесценцией). Сцинтилляторы представляют собой монокристаллы органических (антрацен, нафталин, толан) и неорганических (NaI, CsI, ZnS) соединений. При выращивании таких кристаллов в них вводятся специальные примеси (активаторы), которые увеличивают плотность центров люминесценции. Принципиальная схема детектора показана на рисунке 5.

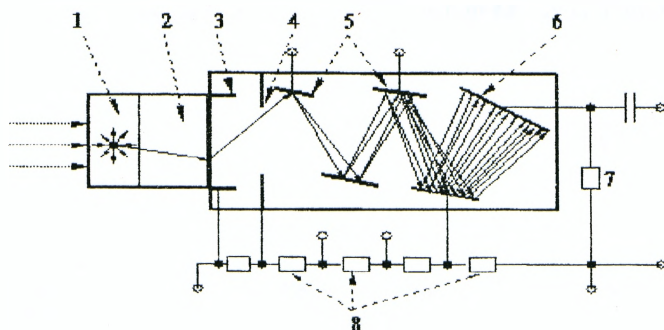


Рисунок 5. Схема сцинтилляционного детектора.

Ионизирующее излучение, взаимодействуя с веществом сцинтиллятора 1, создает в нем вспышку света. Некоторая часть фотонов через светопровод 2 попадает на фотокатод 3 фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и вырывает из него фотоэлектроны. Фотоэлектроны проходят через фокусирующую диафрагму 4 и ускоряются электрическим полем, существующим между умножающими электродами (динодами) 5. Каждый ускоренный электрон, тормозясь в диноде, выбивает из него несколько вторичных электронов, которые благодаря специальной геометрии динодов направляются на следующий динод.

Поток электронов собирается на последнем диноде 6, который называется анодом. Питание ФЭУ осуществляется с помощью высокого стабилизированного напряжения с делителем 8. В цепь анода 6 включается сопротивление нагрузки 7, на котором выделяется импульс напряжения. Этот импульс усиливается с помощью линейного усилителя и поступает на счетное устройство.

### **Контрольные вопросы.**

1. Дать определение активности, удельной активности. В каких единицах измеряются эти величины?
2. Основной закон радиоактивного распада.
3. Дать определение постоянной распада и периода полураспада. В каких единицах они измеряются?
4. Бета-распад ядер и его основные закономерности.
5. Объяснить, какую роль играют нейтрино и антинейтрино в бета-распаде ядер.
6. Как, зная активность радионуклида, рассчитать его массу?
7. Принцип работы сцинтилляционного детектора.
8. Метод наименьших квадратов.

## УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составитель: Ракович Юрий Петрович

### " ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ "

Методические указания по выполнению  
лабораторной работы Р-3 (Модуль 3).

Ответственный за выпуск Ракович Ю.П.  
Редактор Строкач Т.В.

---

Подписано к печати 02.06.98 г. . Формат 60×34/16. Бумага писчая № 1. Усл.  
п. л. 0,93 . Уч. изд. л. 1,0 . Заказ № 264 . Тираж 100 экз. Бесплатно.  
Отпечатано на ризографе Брестского политехнического института. 224017,  
г. Брест, ул. Московская, 267.