



НИЯУ «МИФИ» - ИФИБ

Кафедра «*Медицинская физика*»

Мастер-класс для школьников инженерных классов

**Калий в организме человека и
определение его содержания с помощью
гамма-спектрометра**

к.ф.-м.н. Штоцкий Юрий Владимирович
yshtotsky@mail.ru

2018 г.

Радиоактивный Калий-40 (^{40}K)

Кроме урана и тория, существуют ещё несколько долгоживущих нуклидов, оставшихся на Земле со времён творения (элементов):

^{40}K ($T_{1/2} = 1.248 \times 10^9$ лет), ^{50}V , ^{87}Rb , ^{115}In , ^{123}Te , ^{138}La , ^{176}Lu .

Природная смесь изотопов калия содержит:

^{39}K (93,08%), ^{40}K (0,0117%), ^{41}K (6,91%);

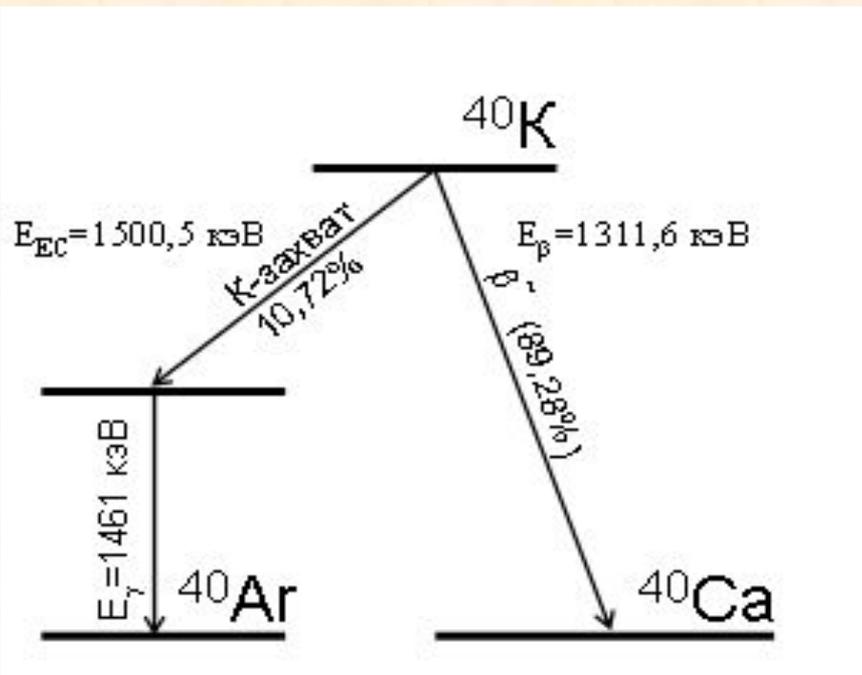
Удельная активность природного калия равна
 ~ 31 Бк/г

The image shows a standard periodic table entry for Potassium (K). It includes the atomic number 19, the element symbol K, the name 'КАЛИЙ' in Russian, the atomic weight 39,098, and the electron configuration 4s¹. The element is located in the 4th period and 1st group.

19	K
	КАЛИЙ
	39,098
1 8 8 2	4s ¹

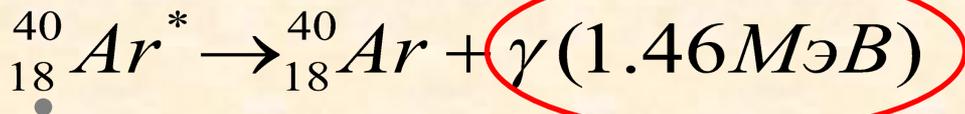
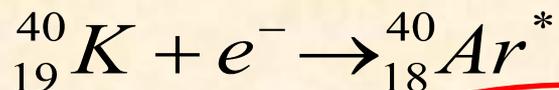
В теле человека с массой **70 кг** содержится ~ 140 г калия, т.е. **2 г/кг** веса. Следовательно, удельная активность тела составляет ~ 62 Бк/кг.

Распад ^{40}K



89 % β^- -распад \rightarrow ^{40}Ca

11 % K-захват \rightarrow ^{40}Ar



$$T_{1/2} = 1.25 \times 10^9 \text{ лет}$$

Закон радиоактивного распада

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

где λ - постоянная распада

$$\lambda = \ln(2) / T_{1/2} = 1.8 \cdot 10^{-17} \text{ с}^{-1}$$

Активность 1 грамма ^{40}K

$$A = N \cdot \lambda = 2,65 \cdot 10^5 \text{ Бк.}$$

Активность 1 грамма природного калия 31 Бк

т.е. 1 г калия испускает каждую секунду в среднем 27.6 электронов $E_{\text{max}} = 1.3 \text{ МэВ}$

3.4 γ -кванта $E_\gamma = 1.46 \text{ МэВ}$

⁴⁰K в продуктах питания

Удельная активность пищевых продуктов по К-40, Бк/г

Питьевая вода	0.1-0.3
Хлеб	30-70
Картофель (клубни)	100-150
Фрукты	50-100
Овощи	40-240
Бобовые культуры	До 370
Мясо	80-120
Рыба	90-110
Молоко	35-45

Удельная активность калия равна
~ 31 Бк/г

Из них 88% бета и 11% гамма

Измеряются только гамма-кванты с $E_{\gamma} = 1.46 \text{ МэВ}$, которые слабо поглощаются органическими веществами.

Для калибровки активности используются реперные образцы (с известной концентрацией К)

Далее активность продукта легко пересчитывается в содержание калия в граммах

Суточная норма потребления калия составляет **2 гр/день**.

Функции калия в организме человека

- ❖ поддерживает функционирование клеточных мембран;
- ❖ регулирует кислотно - щелочное равновесие крови, водный баланс межклеточной и клеточной жидкости, водно-солевой баланс, осмотическое давление;
- ❖ принимает участие в передаче нервных импульсов;
- ❖ активизирует работу некоторых ферментов, углеводный и белковый обмен;
- ❖ требуется для синтеза белка, преобразования глюкозы в гликоген;
- ❖ необходим для осуществления выделительной функции почек;
- ❖ улучшает деятельность кишечника;
- ❖ поддерживает нормальный уровень кровяного давления, принимает участие в нервной регуляции сердечных сокращений

Ядерно-физические методы регистрации содержания радиоизотопов

Вид радиоизотопа и его количество можно определить по виду и энергии излучения, испускаемого при распаде радионуклида.

Для регистрации ионизирующих излучений используются следующие основные типы детекторов:

- Газовые детекторы – регистрируют заряженные частицы**
- Сцинтилляционные детекторы - регистрируют гамма-излучение средних и больших энергий**
- Полупроводниковые детекторы на основе германия и кремния - регистрируют заряженные частицы и гамма-излучение с высоким энергетическим разрешением**

Сцинтилляционный гамма-спектрометр «МУЛЬТИРАД – гамма»

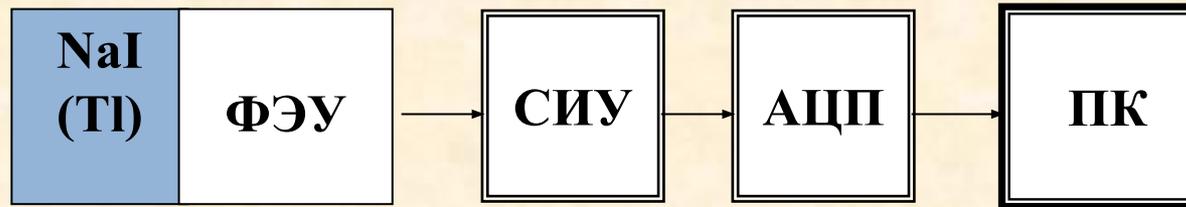
Назначение

Гамма-спектрометр предназначен для определения состава и измерения активности гамма-излучающих радионуклидов.

<i>Основные технические характеристики</i>	
Диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения	40÷3000 кэВ
Диапазон измерений активности радионуклидов	$(1÷5) \times 10^4$ Бк
Энергетическое разрешение на линии 662 кэВ	± 62 кэВ
Питание от USB-порта ПК постоянным напряжением	5 В
Средняя наработка на отказ	6000 час

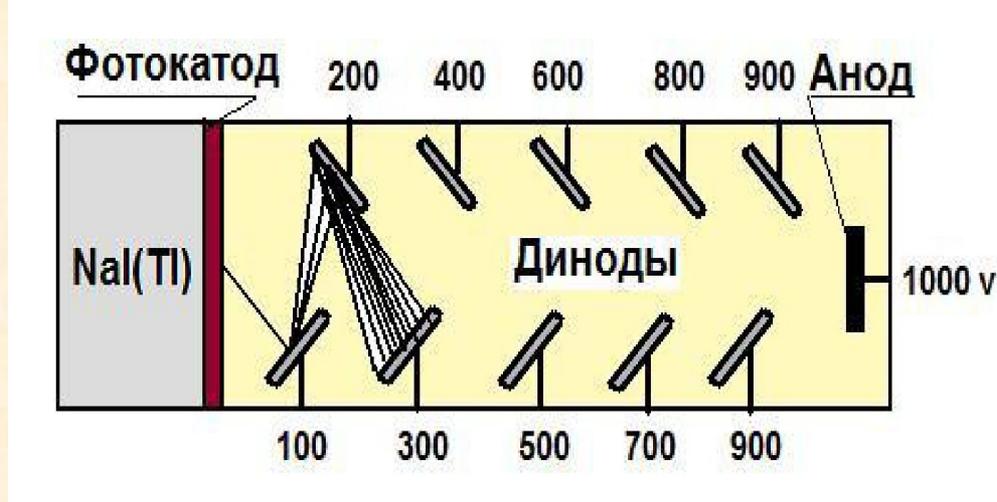
Устройство и работа

Назначение прибора заключается в измерении *спектра импульсов от детектора*, регистрирующего γ -излучение исследуемого образца.



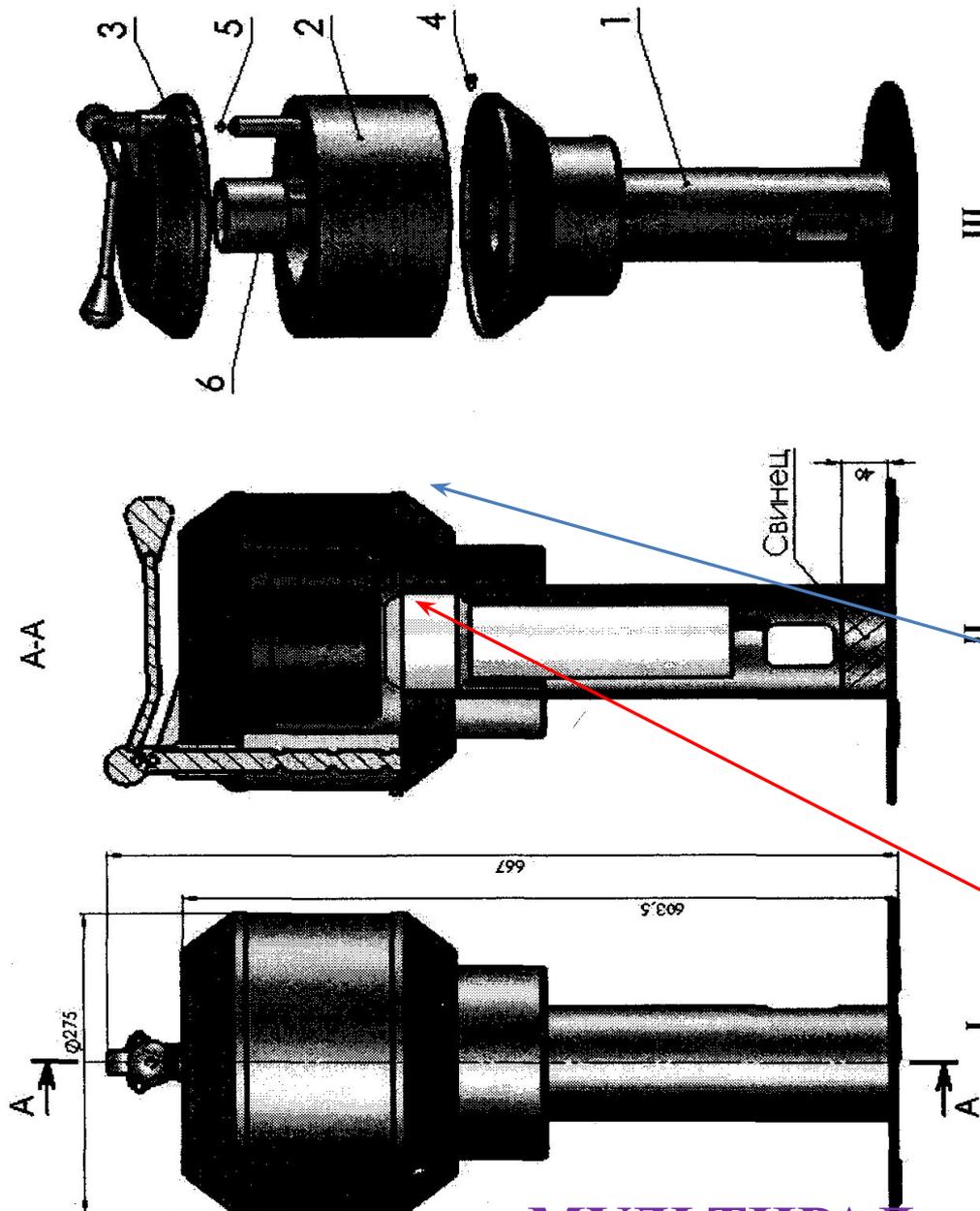
Сцинтилляционный блок детектирования включает в себя:

- **сцинтиллятор** - кристалл $\text{NaI}(Tl)$ – преобразует энергию $1,46 \text{ МэВ}$ (^{40}K) поглощённого гамма-кванта в ~ 2000 фотонов с энергией $\sim 1,5 \text{ эВ}$ (видимый свет);
- **фотоэлектронный умножитель** (ФЭУ) - преобразует фотоны в фотоэлектроны, увеличивает их количество в $\sim 10^6$ раз и формирует на выходе импульс тока, амплитуда которого пропорциональна энергии гамма-кванта ($1,46 \text{ МэВ}$);
- **усилитель** спектрометрический импульсный (СИУ);
- **аналого-цифровой преобразователь** (АЦП) – формирует цифровой код сигнала для передачи в ПК;
- **система светодиодной стабилизации** спектрометрического тракта.



Фотоны из синтиллятора NaI(Tl) попадают на **фотокатод** фотоэлектронного умножителя. При поглощении фотонов фотокатод испускает **фотоэлектроны**, которые под действием приложенного электрического поля попадают на первый динод, при этом каждый фотоэлектрон приобретает энергию ~ 100 эВ. При поглощении этой энергии в веществе динода из него вылетают несколько (2-5) **вторичных электронов**, которые направляются к следующему диноду, где происходит их дальнейшее умножение. После вылета из последнего динода электроны собираются на аноде и формируют **выходной сигнал**.

ЗАЩИТА СЗГ-1 «МУЛЬТИРАД-гамма»А



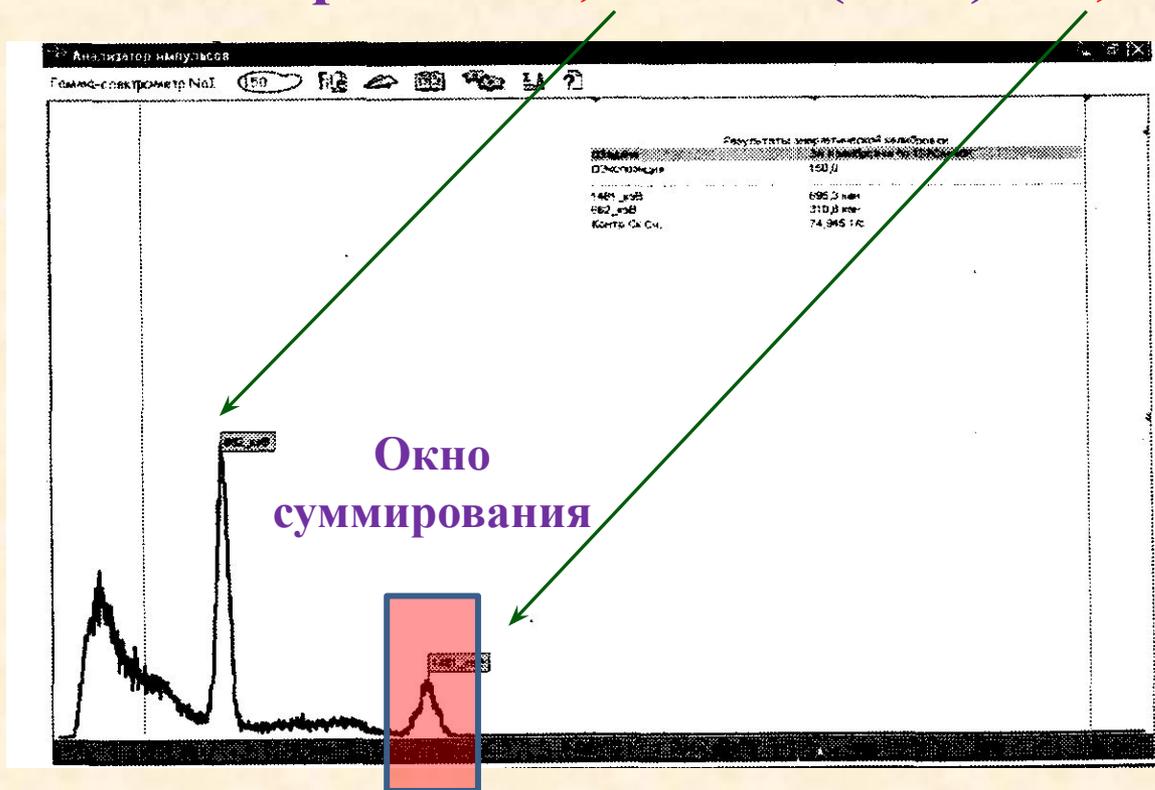
- 1 – стойка;
- 2 – цилиндр;
- 3 – крышка;
- 4 – винт
заземления;
- 5 – шарик;
- 6 – вставка.

**Сосуд
Маринелли
с образцом**

**гамма-
детектор**

Вид гамма-спектрометра «МУЛЬТИРАД – гамма»

Энергетический спектр от калибровочного источника гамма-квантов с энергиями **0,66 МэВ (^{137}Cs)** и **1,46 МэВ (^{40}K)**



- При каждом зарегистрированном гамма-кванте происходит добавление +1 в определённый канал ($0 \div 1999$) амплитудного анализатора (ось X). Чем выше энергия гамма-кванта, тем больше амплитуда импульса и больше номер канала

Определение содержания калия в продуктах питания с помощью гамма-спектрометра

1. *Измерить* энергетический спектр ^{40}K для эталонного образца KCl , содержащего $M_{\text{K}} = 550$ гр. калия. Вычислить сумму событий N_{KCl} , зарегистрированных в области пика 1,46 МэВ
2. *Измерить* энергетический спектр ^{40}K для исследуемого вещества. Вычислить сумму событий N_{X} , зарегистрированных в области пика 1,46 МэВ
3. *Измерить* энергетический спектр фона (без образца). Вычислить сумму событий $N_{\text{Фон}}$, зарегистрированных в области пика 1,46 МэВ
4. *Вычислить* массу калия M_{X} в исследуемом веществе:

$$M_{\text{X}} = \frac{N_{\text{X}} - N_{\text{Фон}}}{N_{\text{KCl}} - N_{\text{Фон}}} M_{\text{K}}$$

5. *Определить* ошибку измерений массы калия $\pm \Delta M_{\text{X}} \sim \sqrt{N}$

Критерии оценки выполнения работы на предпрофэкзамене (из 60 баллов)

1. Участник не понял в принципе как можно измерить концентрацию калия с помощью данного оборудования **0** баллов
2. Участник понял основную идею и провел необходимые измерения. **1-10** баллов
11-20 баллов
3. Измерения и расчеты выполнены, результат отличается от истинного более чем на 50% **20-40** баллов
(в зависимости от результата)
4. Измерения выполнены, результат отличается от истинного менее, чем на 50%, а также проведен грамотный анализ полученного результата. **40-50** баллов
5. Качество оформления: если по протоколу можно легко восстановить принципы измерений и расчетов (что измерялось и как вычислялось), **+10** баллов к оценке по п.п 3 и 4



НИЯУ «МИФИ» - ИФИБ

Кафедра «*Медицинская физика*»

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Штоцкий Юрий Владимирович,

yshtotsky@mail.ru