

# Исследование естественной радиоактивности конструкционных материалов нейтринного детектора

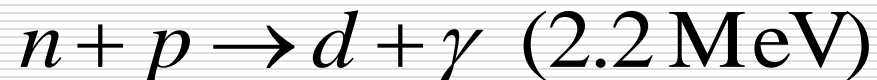
---

И.А.Митропольский  
Лаборатория ядерной спектроскопии

# Нейтринный детектор

---

- Стерильные нейтрино. Коротко-периодические осцилляции нейтринного потока.
- Детектор электронных анти-нейтрино, образующихся в бета-распадах нейтронно-избыточных ядер-осколков деления.
- Реакция обратного бета-распада  $\tilde{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$  (порог 1.8 МэВ) с регистрацией термализованных нейтронов в реакциях:



---

Ожидаемая скорость счета – 300 сут<sup>-1</sup>



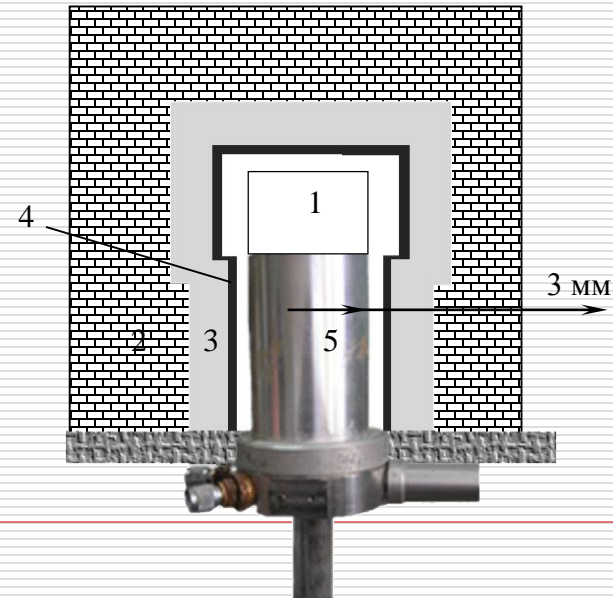
# Источники фона:

---

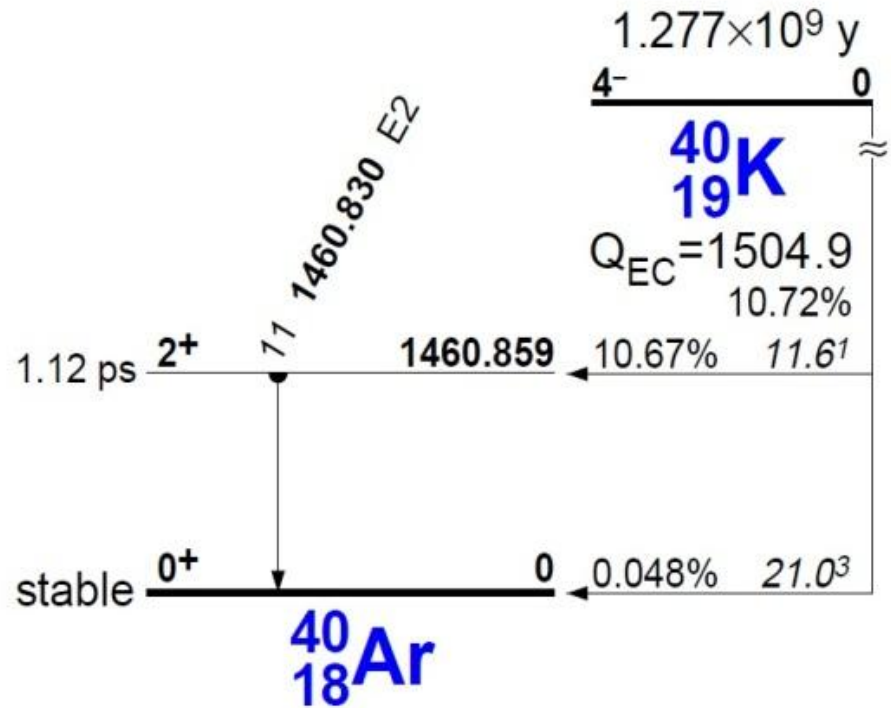
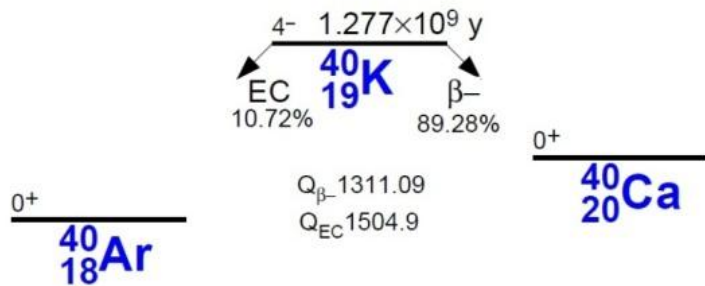
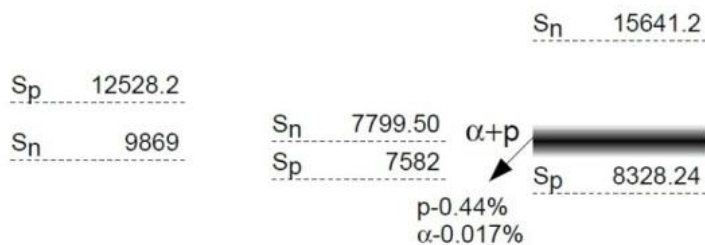
- ❑ Бета-распад  $^{14}\text{C}$ :  $E_{\beta} = 156 \text{ keV}$
- ❑ Естественная радиоактивность  $^{40}\text{K}$  и тяжелых элементов
- ❑ Спонтанное деление  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$

## Образцы:

- ❑ Алюминий, 1800 г.,
- ❑ Титан, 1871 г.,
- ❑ Стекло, 771 г.



# $^{40}\text{K}$ , $E_\gamma = 1460.8$ keV



# Радиоактивные семейства

Естественные ряды:

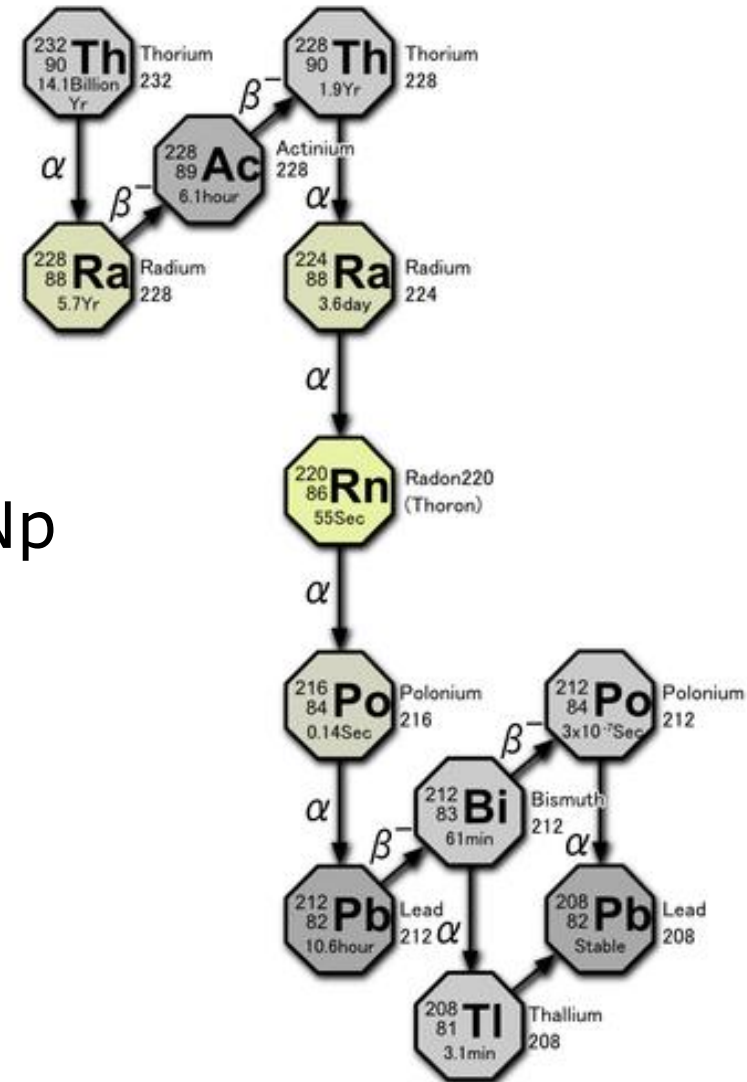
- Ряд тория ( $4n$ ), с  $^{232}\text{Th}$
- Ряд радия ( $4n+2$ ), с  $^{238}\text{U}$
- Ряд актиния ( $4n+3$ ), с  $^{235}\text{U}$

Искусственный

- Ряд нептуния ( $4n+1$ ), с  $^{237}\text{Np}$

Вековое равновесие:

$$N_1 / T_{1/2}^{(1)} = N_2 / T_{1/2}^{(2)}$$



# Характеристики ядер из цепочек

Цепочка	Нуклид	$T_{1/2}$	SF (%)	$n_{SF}$
$^{238}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$4.47 \cdot 10^9 \text{ y}$	$5.45 \cdot 10^{-5}$	1.98
	$^{234}\text{Th}$	24.1 d		
	$^{234m}\text{Pa}$	1.16 min	$<1 \cdot 10^{-9}$	
	$^{234}\text{Pa}$	6.70 h	$<3 \cdot 10^{-10}$	
	$^{234}\text{U}$	$2.46 \cdot 10^5 \text{ y}$	$1.6 \cdot 10^{-9}$	1.63
$^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}$	$7.54 \cdot 10^4 \text{ y}$	$<4 \cdot 10^{-12}$	
	$^{232}\text{Th}$	$1.40 \cdot 10^{10} \text{ y}$	$1.1 \cdot 10^{-9}$	2.13
	$^{228}\text{Ac}$	6.15 h		
	$^{212}\text{Pb}$	10.6 h		
$^{235}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$7.04 \cdot 10^8 \text{ y}$	$7.0 \cdot 10^{-9}$	1.86
	$^{231}\text{Th}$	25.5 h		

# Основные аналитические линии гамма-излучения равновесных цепочек распада $^{238}\text{U}$ и $^{235}\text{U}$

Table 3. Main gamma-rays of the radioactive equilibrium  $^{238}\text{U}$  and  $^{235}\text{U}$  decay chains.

Decay chain	Analytical isotope	Gamma-ray energy(keV)	Absolute emission intensity (%)
$^{238}\text{U}$	$^{214}\text{Th}$	63.29(2)	4.4(9)
	$^{214\text{m}}\text{Pa}$	766.36(2)	0.207(30)
	$^{214\text{m}}\text{Pa}$	1001.03(3)	0.59(8)
	$^{214}\text{U}$	53.20(2)	0.123(2)
$^{235}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	185.715(5)	57.2(8)
	$^{231}\text{Th}$	84,214(3)	6.71(10)

# Аналитические линии гамма-излучения равновесных цепочек распада $^{232}\text{Th}$

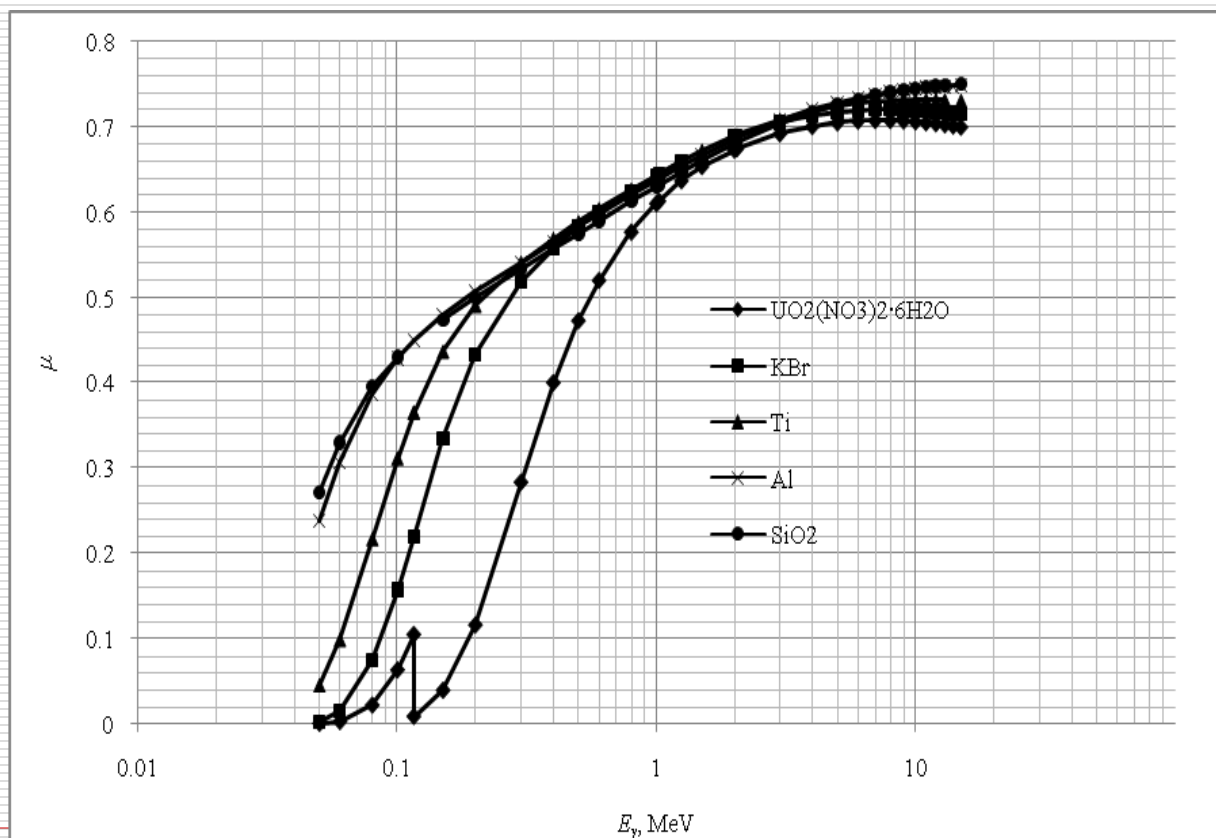
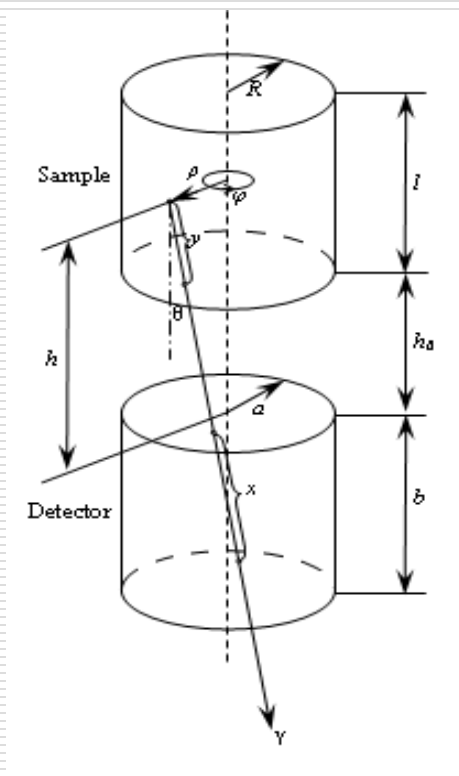
Table 4. Main gamma-rays of the radioactive equilibrium  $^{232}\text{Th}$  decay chain.

Isotope	Energy(keV)	Absolute emissionintensity (%)
$^{212}\text{Pb}$	238.625(6)	43.4(3)
$^{212}\text{Pb}$	300.09(1)	3.3(1)
$^{228}\text{Ac}$	338.322(2)	11.25(3)
$^{208}\text{Tl}$	583.191(2)	84.4(7)
$^{228}\text{Ac}$	911.205(4)	26.6(7)
$^{228}\text{Ac}$	968.971(10)	16.1(3)
$^{228}\text{Ac}$	1588.210(30)	3.27(10)
$^{208}\text{Tl}$	2614.532(13)	99.9(4)

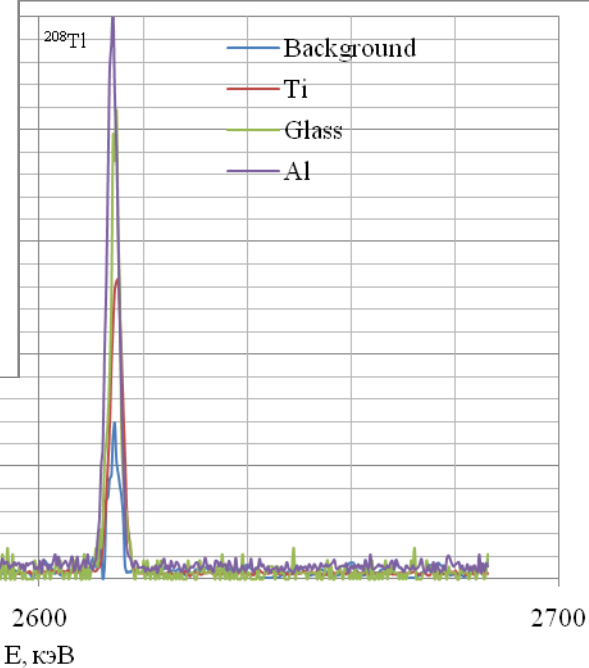
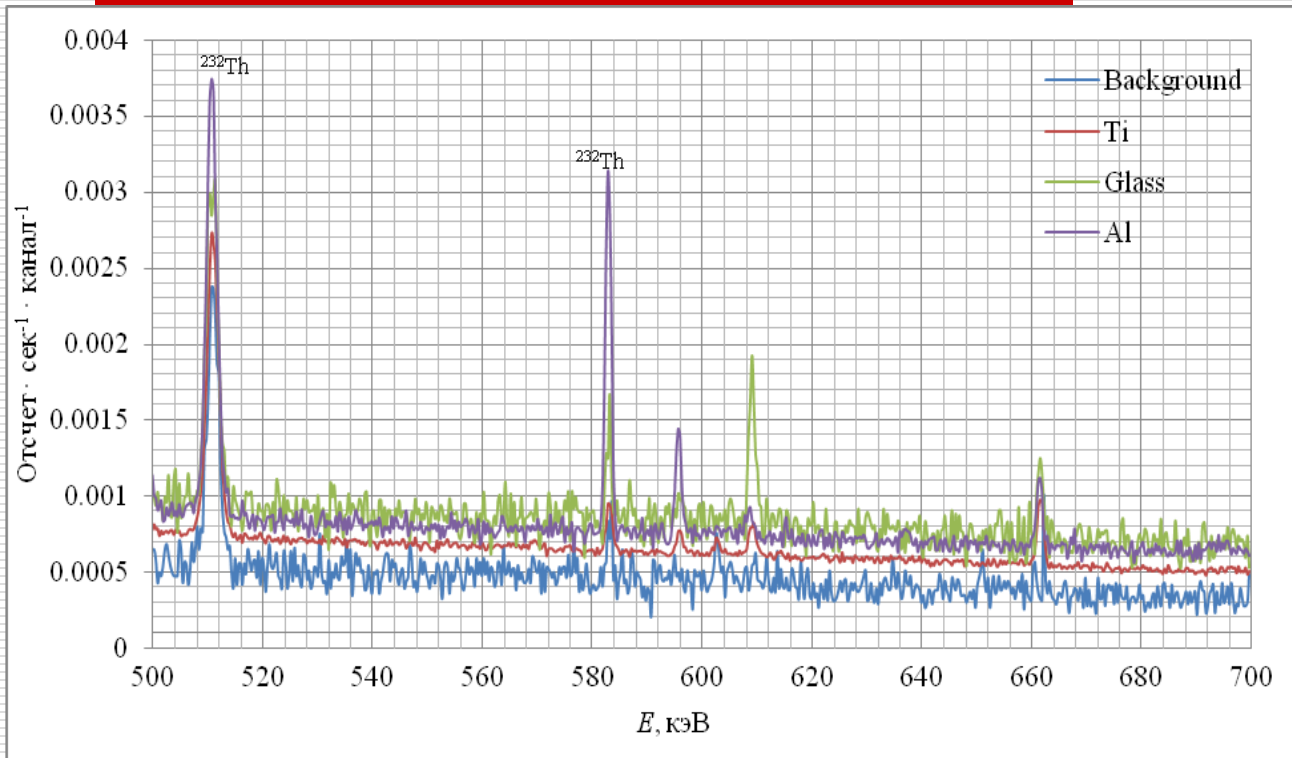


# Методика работы с большими образцами

## Эффективность детектора



# Спектры гамма-излучения



# Концентрации примесных элементов в образцах Al, Ti и стекла

Table 8. Mass concentrations of elements determined measured with NAA technique in Al, Ti and glass samples.

Element	Nuclide	$E_\gamma$ (keV)	$\gamma$ -ray abundance	$T_{1/2}$ (d)	$C_{Al}$ (%)	$C_{Ti}$ (%)	$C_{glass}$ (%)
As	$^{76}As$	559.1	45	1.078		$1.9(1) \times 10^{-3}$	
Ce	$^{140}Ce$	145.44	48.29	32.5	$2.3(3) \times 10^{-4}$		
Co	$^{60}Co$	1332.49	99.98	1925	$2.2(1) \times 10^{-4}$	$7.2(8) \times 10^{-5}$	
Cr	$^{51}Cr$	320.08	9.91	27.7	$2.31(2) \times 10^{-2}$	$1.95(2) \times 10^{-2}$	
Fe	$^{59}Fe$	1099.25	56.5	44.5	$2.2(2) \times 10^{-1}$	$6.8(7) \times 10^{-2}$	
Hf	$^{180}Hf$	482.18	80.5	42.39	$3.9(4) \times 10^{-5}$		
La	$^{140}La$	1596.21	95.4	1.68	$3.2(3) \times 10^{-4}$	$1.6(4) \times 10^{-4}$	
Na	$^{24}Na$	1368.63	99.99	0.623	$1.14(2) \times 10^{-2}$		
Sb	$^{124}Sb$	602.73	97.79	60.2	$1.5(6) \times 10^{-5}$	$9.7(6) \times 10^{-5}$	
Sc	$^{46}Sc$	889.28	99.98	83.79	$3.3(1) \times 10^{-5}$		
Sm	$^{152}Sm$	103.18	29.25	1.928	$9.7(8) \times 10^{-4}$		
Th	$^{232}Th$	311.90	38.50	26.97	$6.1(9) \times 10^{-4}$		
U	$^{235}U$	106.12	26.3	2.357	$3.1(6) \times 10^{-5}$	$4.7(3) \times 10^{-4}$	$7.3(7) \times 10^{-4}$
Zn	$^{65}Zn$	1115.54	50.6	244.3	$4.66(9) \times 10^{-2}$		
K	$^{40}K$						$9.7(2) \times 10^{-2}$

# Заключение

---

В работе были выполнены оценка гамма- и нейтронного излучения для 8 радионуклидов из естественных радиоактивных цепочек распада  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в алюминии, титане и стекле.

Интегральный радиоактивный фон, нормированный на массу образца, в диапазоне от 40 кэВ до 2.7 МэВ был определен как 0.34, 0.084 и 0.81  $\text{с}^{-1} \text{кг}^{-1}$  для алюминия, титана и стекла, соответственно.

Установлено, что удельная интенсивность излучения быстрых нейтронов определяется в основном интенсивностью спонтанного деления  $^{238}\text{U}$  и составляет  $7.3(11) \cdot 10^{-6}$ ,  $1.19(46) \cdot 10^{-5}$  и  $6.3(5) \cdot 10^{-7}$   $\text{с}^{-1} \text{кг}^{-1}$  для алюминия, стекла и титана, соответственно.

---

---

Спасибо за внимание!

[mitrplsk@pnpi.spb.ru](mailto:mitrplsk@pnpi.spb.ru)

---