

Тестирование SpectraLineNM на возможность анализа ядерных материалов с использованием спектрометров среднего разрешения (CdZnTe и LaBr)

В. Даниленко⁽¹⁾, И. Кувыкин⁽²⁾

(1) ООО «ЛСРМ», г. Зеленоград

(2) ФГУП «ВНИИФТРИ», р.п. Менделеево



**LABORATORY
of spectrometry
and radiometry**

<http://www.lsrn.ru>
mail: lsrm@lsrm.ru
Phone: +7 495 660-16-14
Located in Moscow, Russia

Спектрометры среднего разрешения



CdZnTe

LaBr



Детектор	NaI	LaBr	CdZnTe	HPGe coax
ПШПВ 122 keV (keV)	15	8.3	4.3	0.8

Спектрометры среднего разрешения

Преимущества спектрометров среднего разрешения для измерения ЯМ:

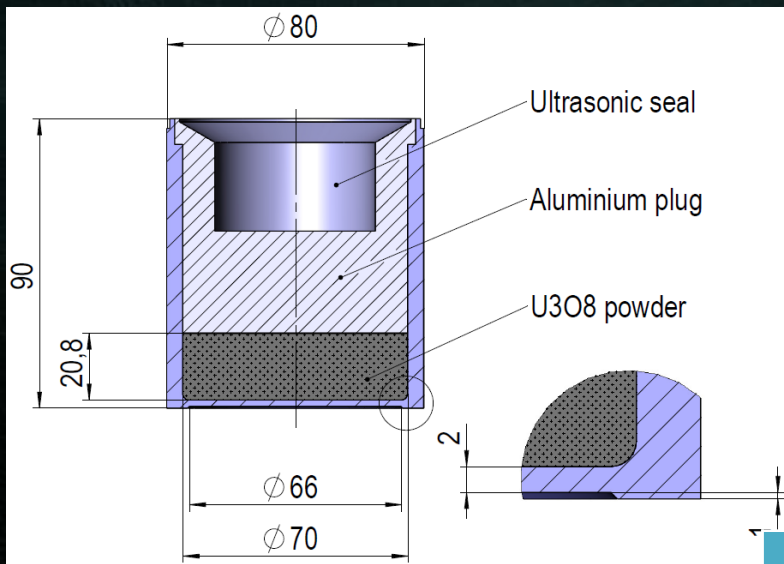
- работа при комнатной температуре
- большая компактность
- дешевизна

*Intercomparison Exercise on U and Pu Isotopic
Analysis with Medium Resolution Gamma-Ray
Spectrometers (MRGS)*

Спектры от неэкранированных образцов урана с обогащением от 0.3 % до 5 % и массой 170 г.

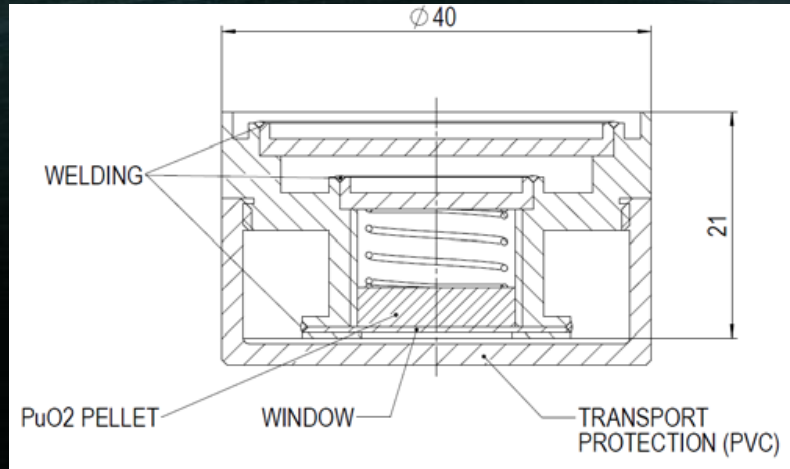
Спектры образцов плутония с содержанием ^{239}Pu от 60 до 93 %, массой от 0.5 г до 5 г. Образцы с высоким содержанием ^{241}Am экранировались 3 мм стали.

MRGS. Образцы урана ЕС NRM 171



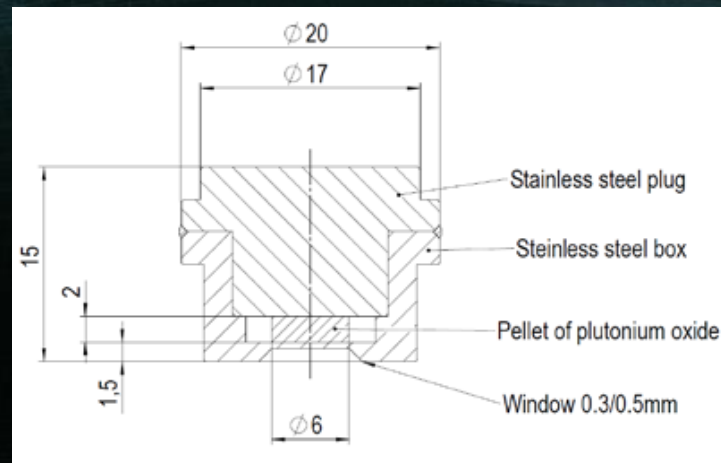
Reference sample	Isotope abundance, wt %			
	U-234	U-235	U-236	U-238
CBNM-031	0.0020(2)	0.3166(2)	0.0146(3)	99.6669(4)
CBNM-071	0.0052(2)	0.7119(5)	<0.00002	99.2828(4)
CBNM-194	0.0171(2)	1.9420(14)	0.0003(1)	98.0406(18)
CBNM-295	0.0279(4)	2.9492(21)	0.0033(2)	97.0196(29)
CBNM-446	0.0359(3)	4.4623(32)	0.0068(2)	95.4950(32)

MRGS. Образцы плутония СВНМ NRM 271



Sample	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241/Pu
Pu-93	0.0094	93.5837	6.3108	0.0565	0.0396	0.2633
Pu-84	0.0566	85.0293	14.2920	0.2612	0.3608	0.9637
Pu-70	0.7060	76.6090	19.0735	1.4395	2.1721	5.3259
Pu-61	1.0095	66.0166	26.7656	1.7783	4.4300	6.5938

MRGS. Образцы плутония СВНМ NRM 271

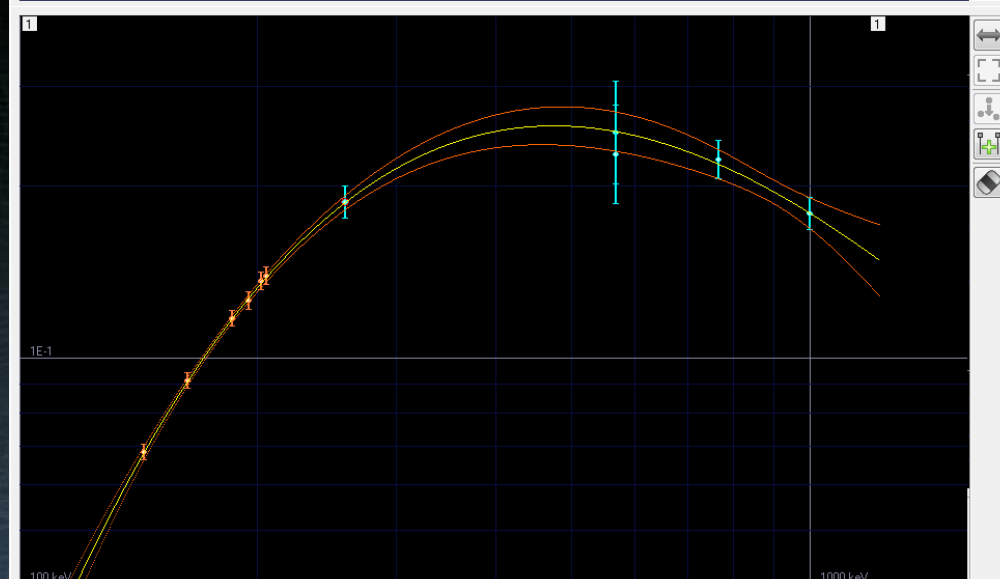
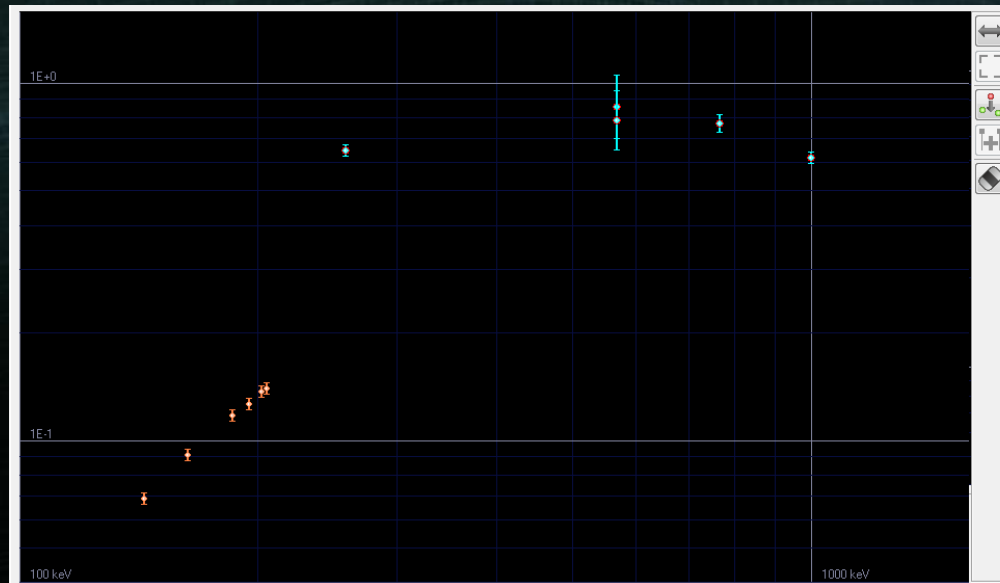


Sample	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241/Pu
PIDIE-1	0.0089	93.9151	5.9872	0.0542	0.0347	0.3626
PIDIE-3	0.0385	85.2301	14.2232	0.2723	0.2360	1.3189
PIDIE-5	0.1079	77.0980	21.5112	0.5694	0.7134	3.1940
PIDIE-7	1.0666	65.2602	26.8905	1.8560	4.9267	8.4182

Методы анализа изотопного состава SpectraLineNM

Метод изотопных соотношений или метод относительных эффективностей:

Относительная эффективность регистрации рассчитывается по хорошо разрешённым линиям радионуклидов образца с учётом их соотношения интенсивностей и согласования кривых эффективности от разных радионуклидов



Методы измерения изотопного состава

Метод физической эффективности

Модель источника неизвестной толщины за экраном

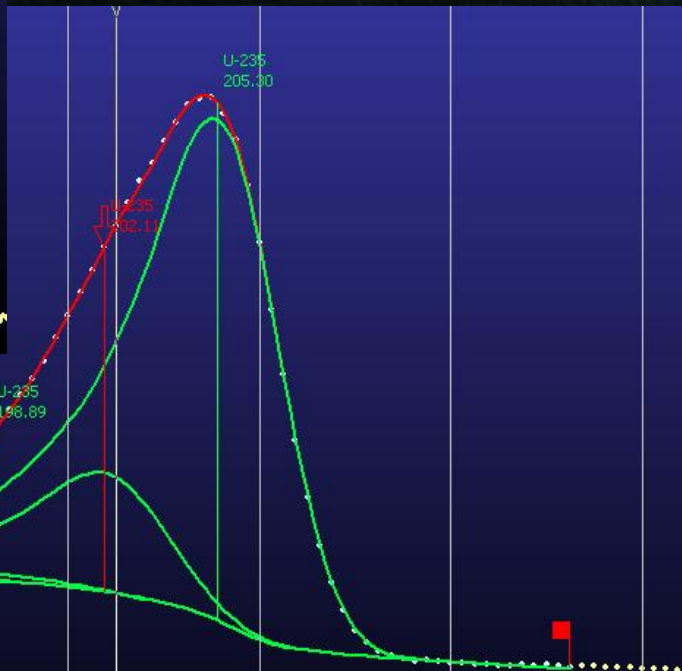
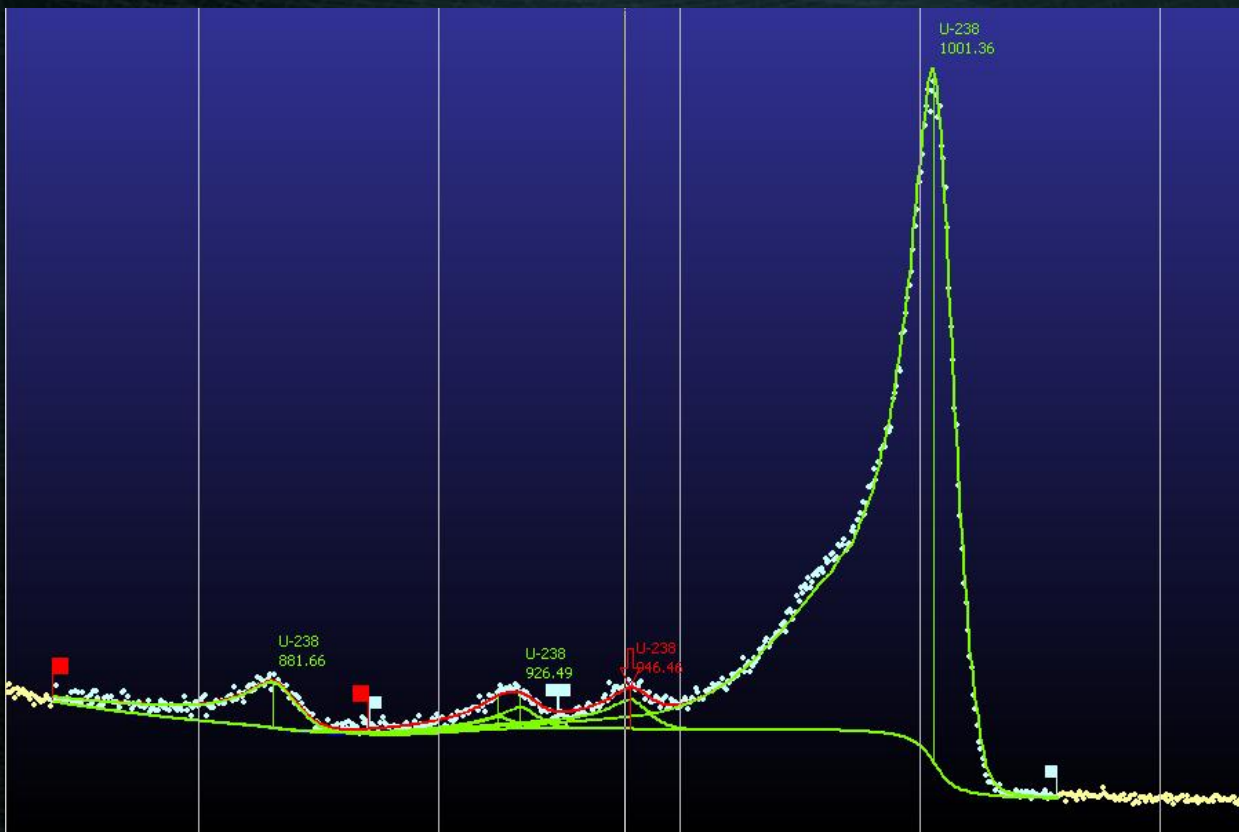
$$\varepsilon = \varepsilon_{point} \left(\frac{r_{point}}{r} \right)^2 e^{-\mu_c \rho_c t_c} \frac{1 - e^{-\mu_s \rho_s t_s}}{\mu_s \rho_s t_s}$$

μ_c, ρ_c, t_c - коэффициент массового ослабления, плотность и толщина экрана;

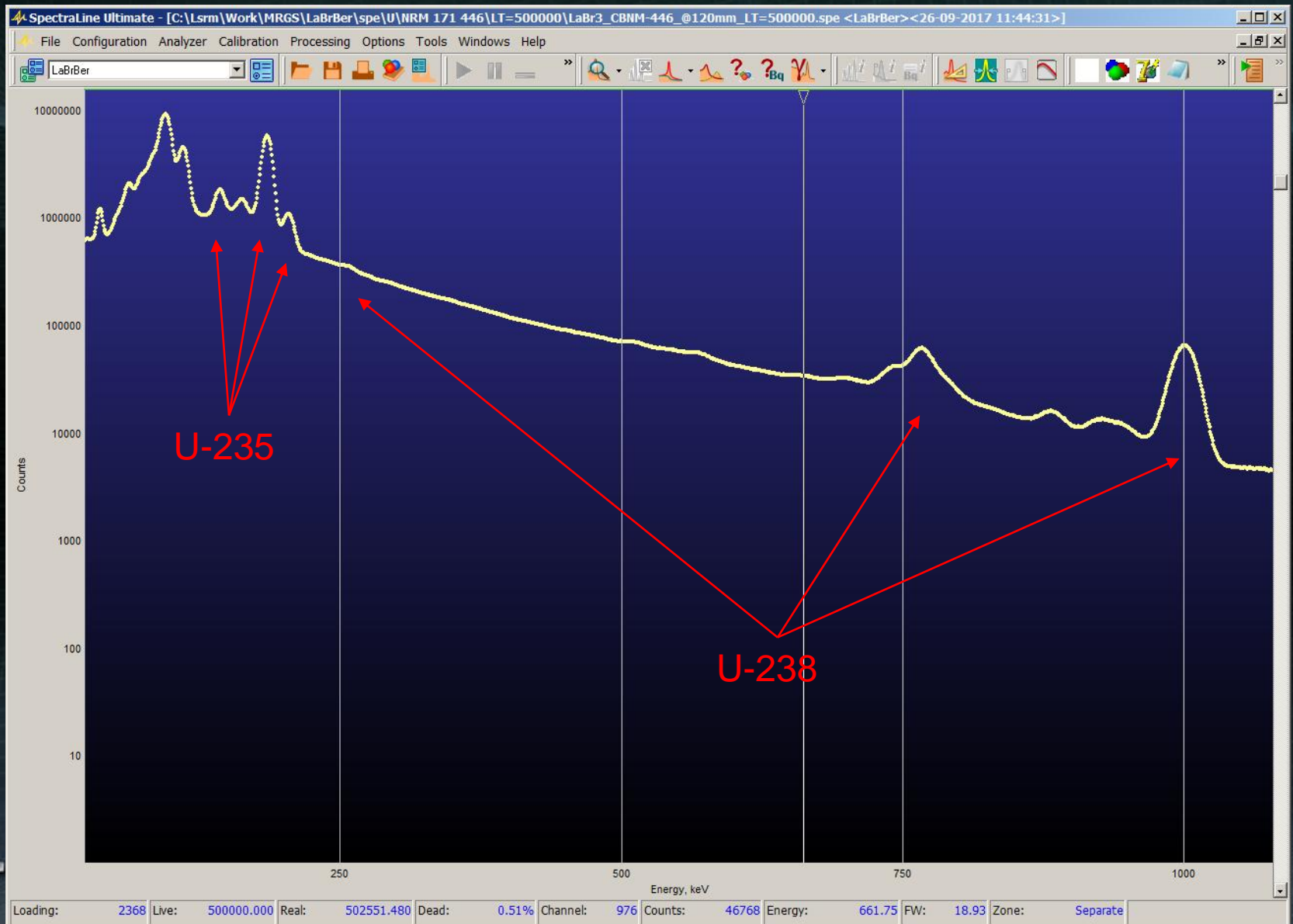
μ_s, ρ_s, t_s - коэффициент массового ослабления, плотность и толщина образца.

Спектр урана на CdZnTe

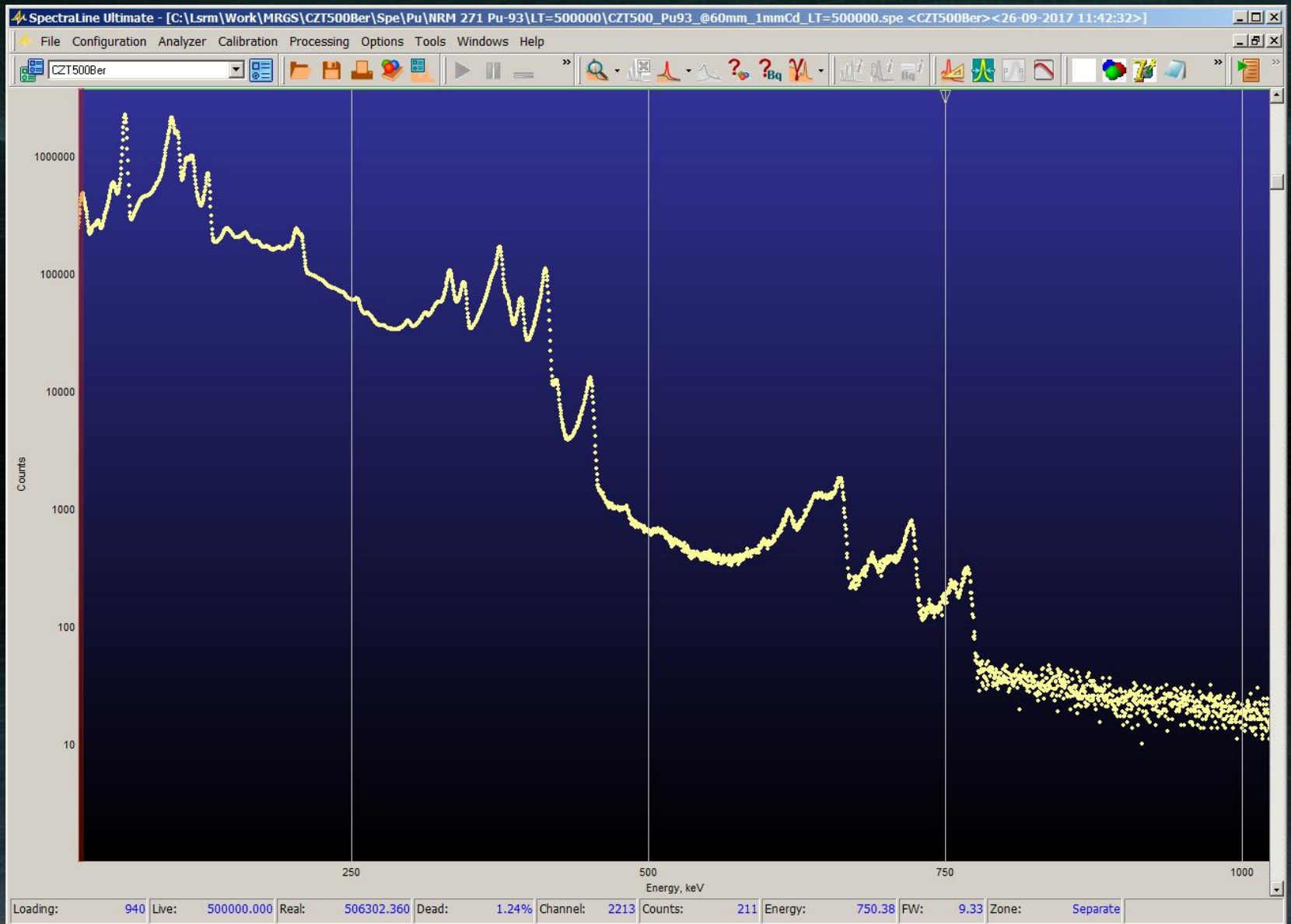




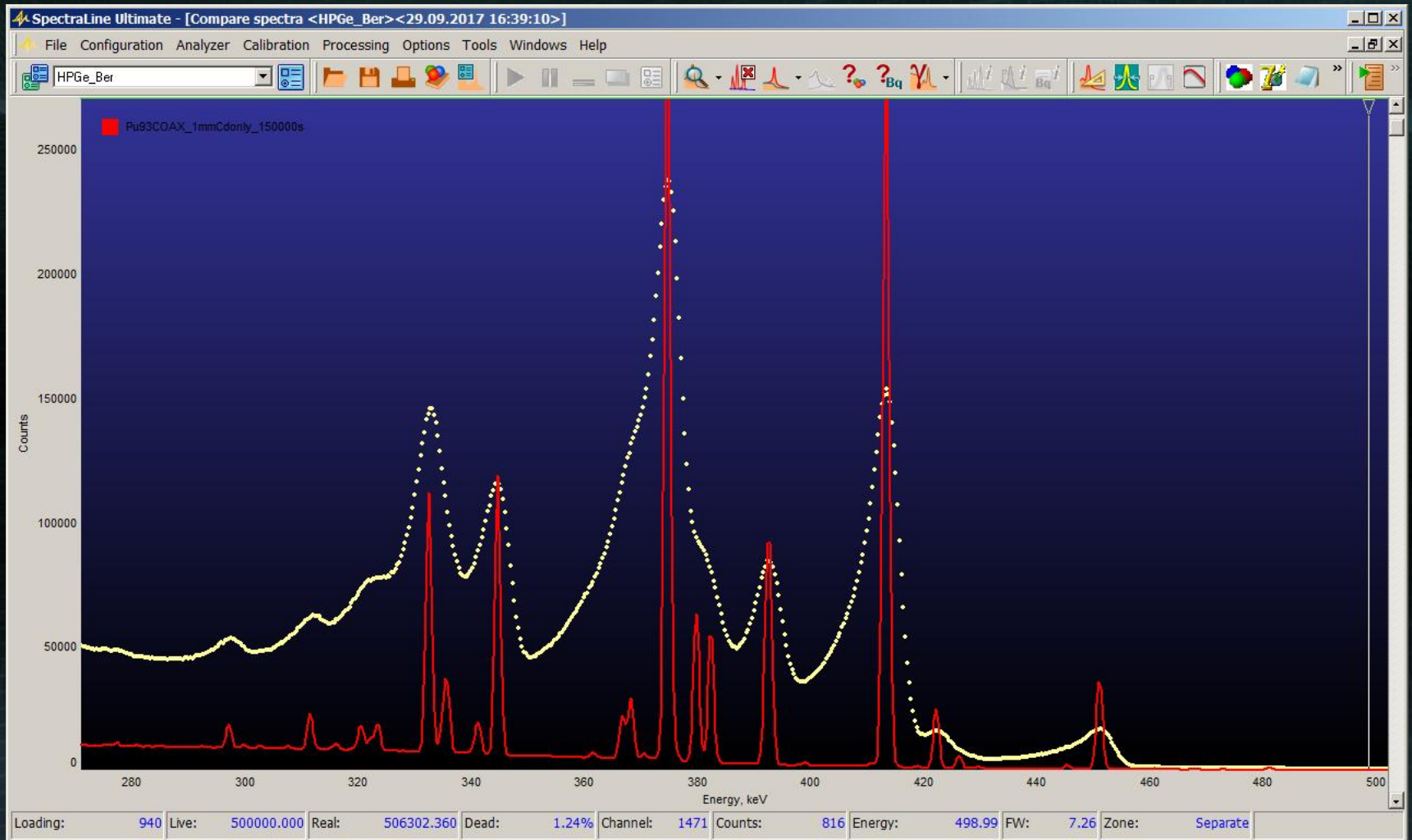
Спектр урана на LaBr



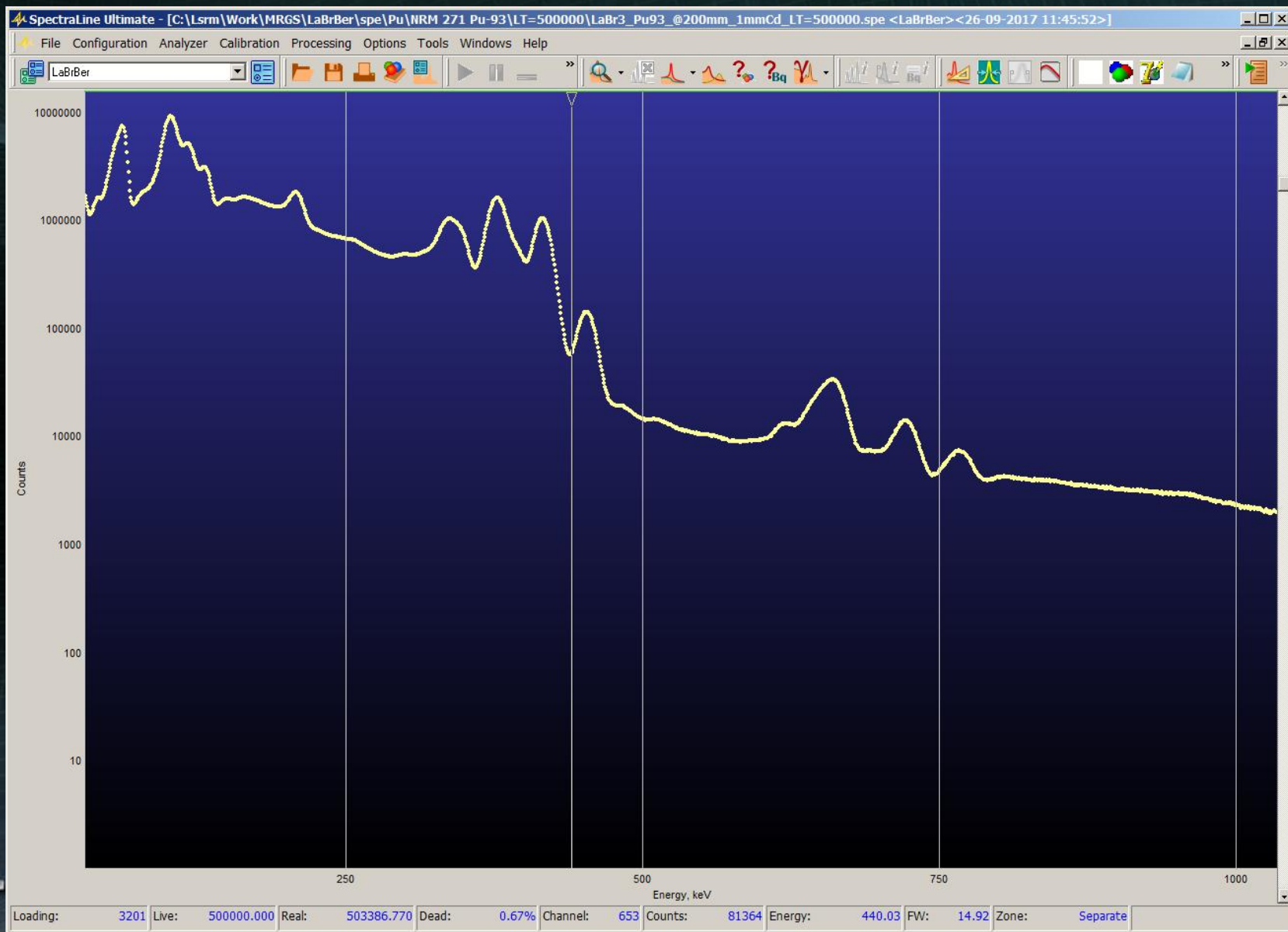
Спектр плутония на CdZnTe



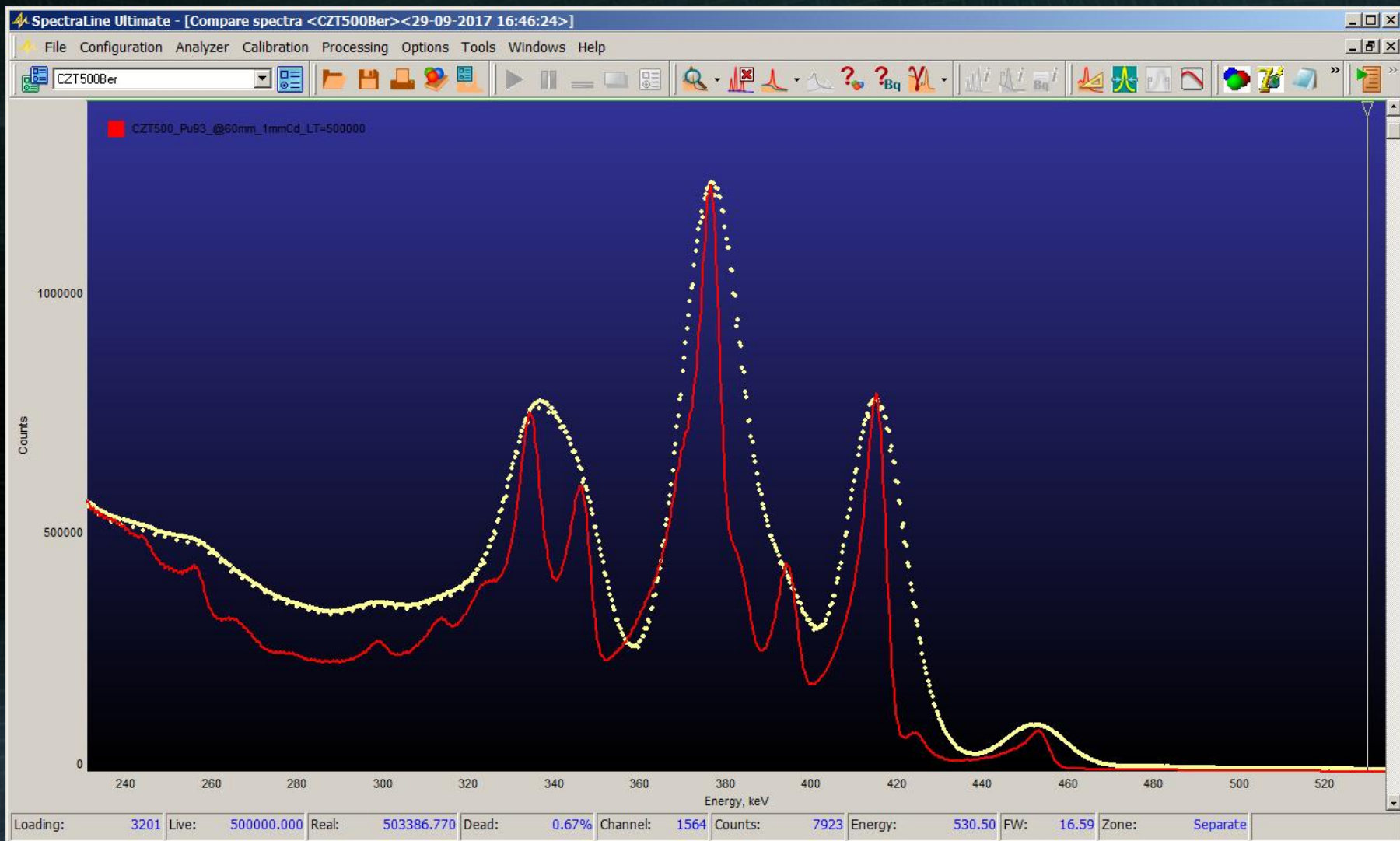
Спектр плутония на CdZnTe



Спектр плутония на LaBr



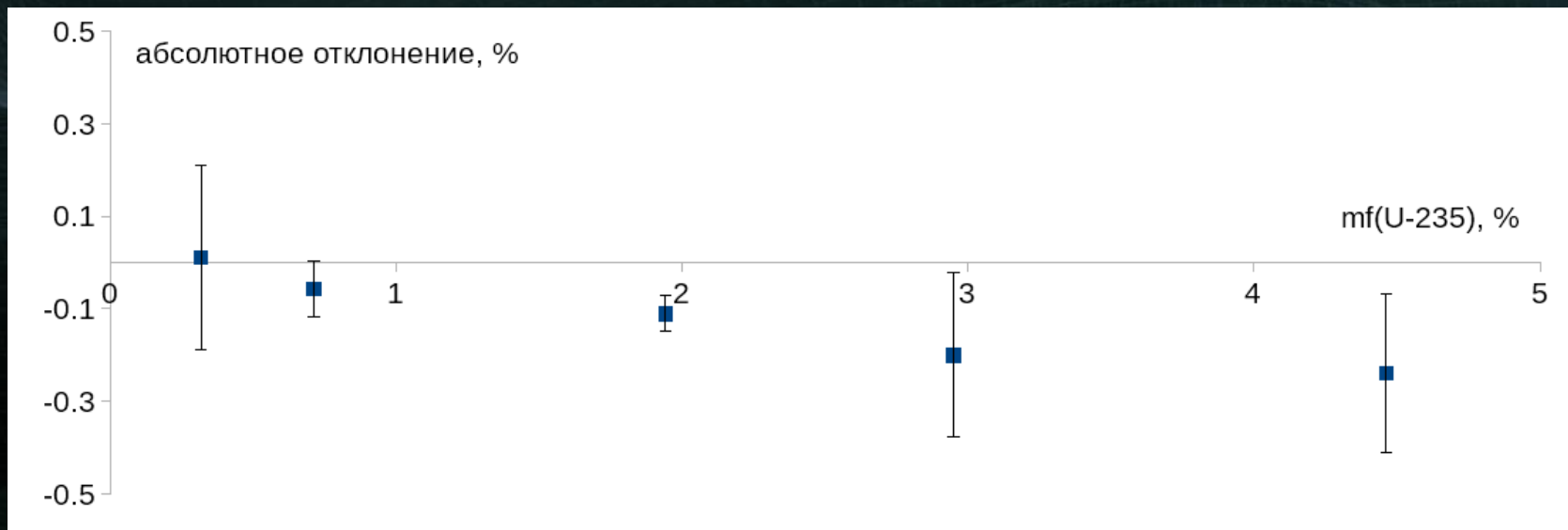
Спектр плутония на LaBr



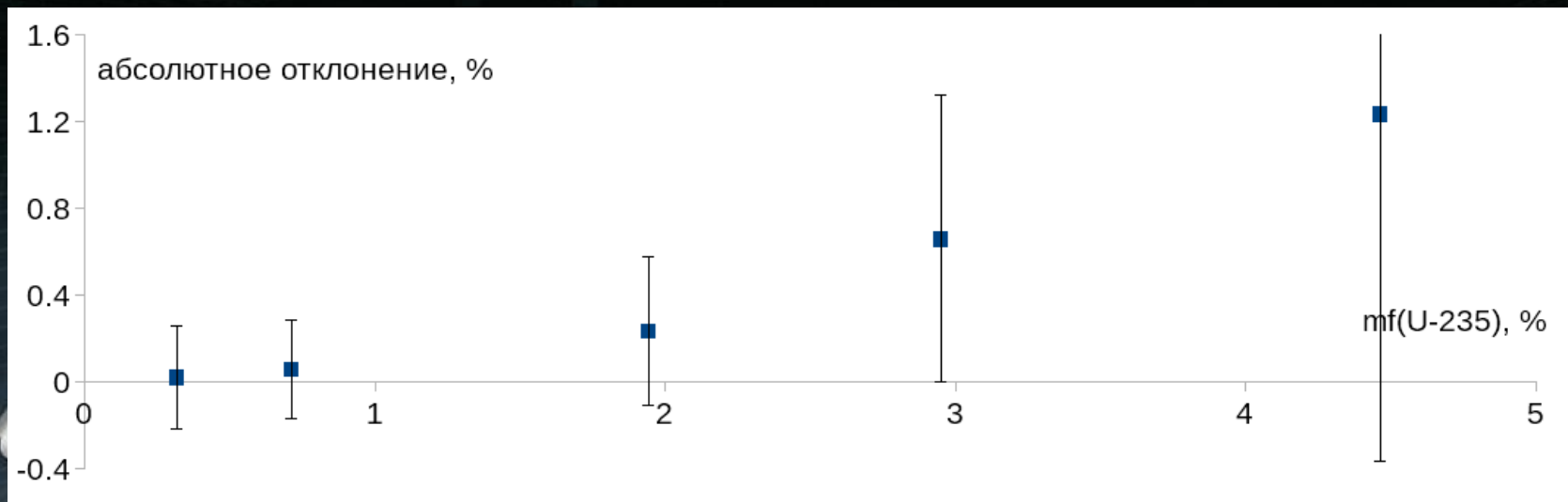
Результаты тестирования

Измерение обогащения урана

CZT



LaBr



Результаты тестирования Измерение обогащения

CdZnTe

Паспортное обогащение mf_p(U-235), %	Измеренное обогащение mf(U-235), %	Δmf , %	Отклонение diff, %
0.317	0.329	0.200	0.012
0.712	0.655	0.060	-0.057
1.942	1.832	0.038	-0.110
2.949	2.749	0.178	-0.200
4.462	4.223	0.172	-0.239

LaBr

Паспортное обогащение mf_p(U-235), %	Измеренное обогащение mf(U-235), %	Δmf , %	Отклонение diff, %
0.317	0.34	0.24	0.022
0.712	0.77	0.23	0.058
1.942	2.18	0.35	0.235
2.949	3.61	0.66	0.660
4.462	5.7	1.6	1.234



Результаты тестирования

Измерение массы урана

CdZnTe

Паспортная масса $m_p(U)$, г	Измеренная масса $m(U)$, г	Отклонение diff, %
169.32	103.1	-39
169.24	172.7	2
169.34	154.6	-9
169.26	171.7	1.4
169.48	194.8	15

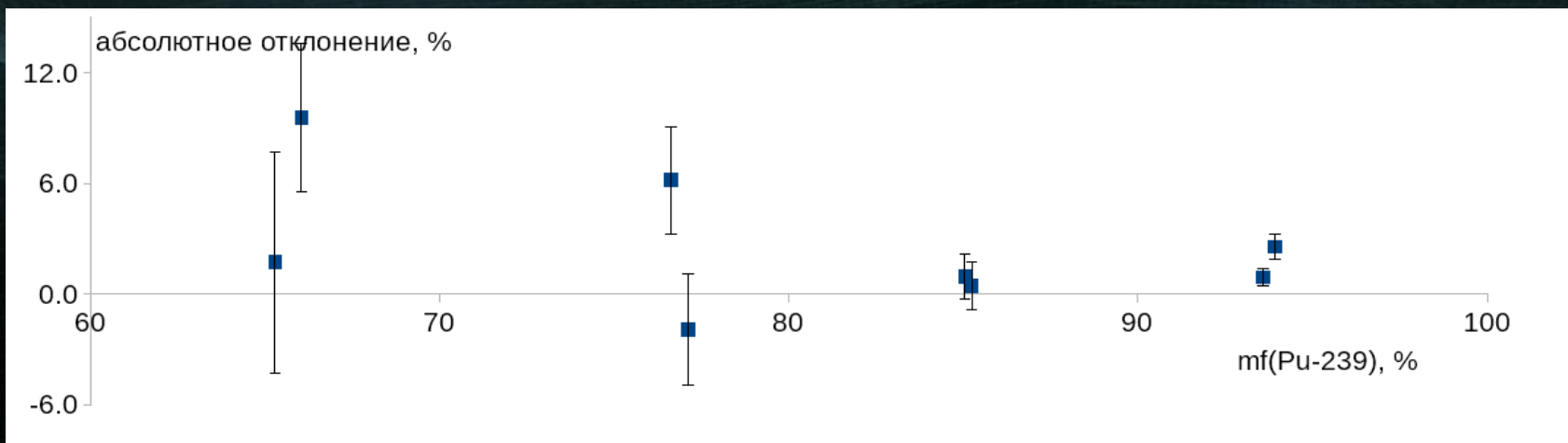
LaBr

Паспортная масса $m_p(U)$, г	Измеренная масса $m(U)$, г	Отклонение diff, %
169.32	120.34	-29
169.24	120.32	-29
169.34	122.26	-28
169.26	128.31	-24
169.48	139.19	-18

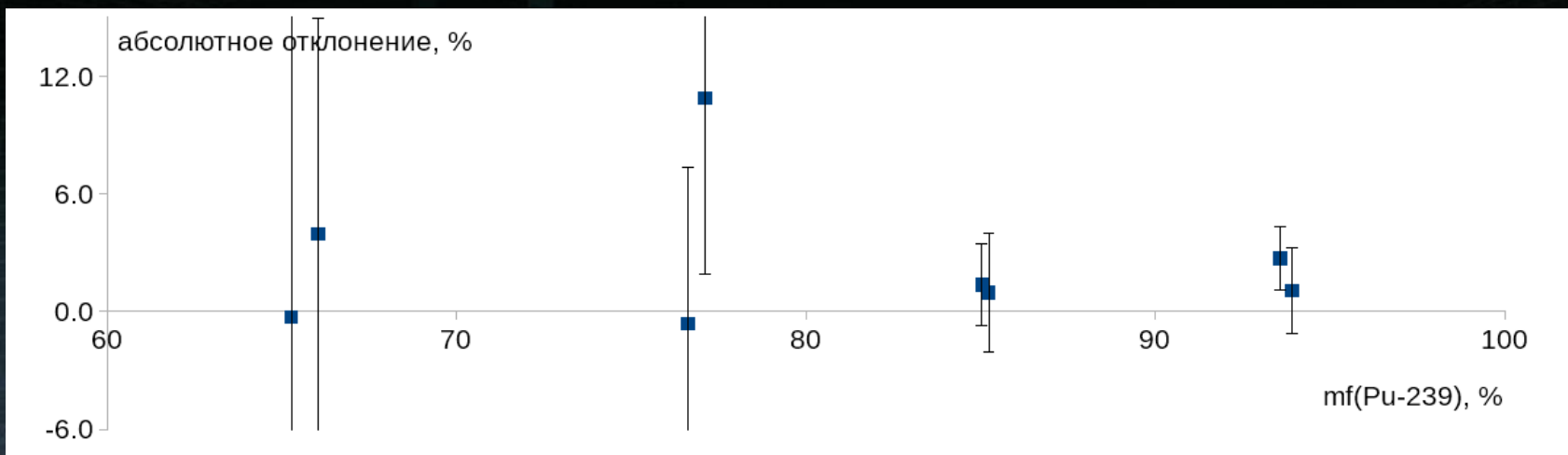
Результаты тестирования

Измерение изотопного состава плутония

CZT



LaBr



Результаты тестирования

Измерение изотопного состава плутония

CdZnTe

Паспортная м.д. mf_p(Pu-239), %	Измеренная м.д. mf(Pu-239), %	Δmf , %	Отклонение diff, %
66.0232	75.6	4	9.6
76.6151	82.8	2.9	6.2
85.0306	86	1.2	1.0
93.58	94.5	0.5	0.9
93.9154	96.5	0.7	2.6
85.2314	85.7	1.3	0.5
77.1004	75.2	3	-1.9
65.2667	67	6	1.7

Результаты тестирования.

Измерение изотопного состава плутония

LaBr

Паспортная м.д. mf _p (Pu-239), %	Измеренная м.д. mf(Pu-239), %	Δmf, %	Отклонение diff, %
66.0232	70	11	4.0
76.6151	76	8	-0.6
85.0306	86.4	2.1	1.4
93.58	96.3	1.6	2.7
93.9154	95	2.2	1.1
85.2314	86.2	3	1.0
77.1004	88	9	10.9
65.2667	65	22	-0.3

Результаты тестирования

Измерение массы плутония

CdZnTe

Паспортная масса $m_p(\text{Pu})$, г	Измеренная масса $m(\text{Pu})$, г	Отклонение diff, %
5.9	4.26	-27.7
5.9	4.70	-20.3
5.9	6.15	4.2
5.9	6.18	4.8
0.425	0.59	39.7
0.425	0.76	80.0
0.425	0.77	82.1
0.425	0.47	10.7

Результаты тестирования

Измерение массы плутония

LaBr

Паспортная масса $m_p(\text{Pu})$, г	Измеренная масса $m(\text{Pu})$, г	Отклонение diff, %
5.9	5.2	-11.8
5.9	5.5	-7.6
5.9	5.6	-5.9
5.9	5.6	-5.0
0.425	0.58	37.1
0.425	0.57	34.2
0.425	0.45	6.3
0.425	0.57	33.8

Выводы

Алгоритмы SpectraLineNM позволяют определять обогащение урана (без определения содержания U-234) и изотопного состава плутония с приемлемой точностью для проведения предварительного анализа неэкранированных и экранированных образцов неизвестной толщины. Возможно использовать как детекторы CdZnTe, так и детекторы LaBr.

SpectraLineNM позволяет делать оценку массы урановых и плутониевых образцов «конечной» толщины