



РОСАТОМ



Компетенции

**АО «Радиевый институт им В.Г. Хлопина»
в области метрологии ионизирующих излучений**

И.Е. Алексеев

Основные задачи метрологической службы РИ

Аттестация и государственная поверка средств измерений (СИ) активности и удельной активности радионуклидов (*аттестат аккредитации РОСС СОБ 3.00127.2013*):

более 5000 СИ в 2014-2016 гг.:

ОСГИ

ОСАИ

ОРР

ОМАСН

Экспериментальная
верификация
радионуклидных данных

Схемы и периоды
полураспада

Сечения взаимодействия
в ядерных реакциях

Электронная и структурная
идентификация ультрамалых
концентраций в материалах,
претерпевших критические воздействия
(облучение и самооблучение)

Конструкционные материалы
(металлы и сплавы)

Матрицы для иммобилизации
ВАО (стекла, керамики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ

В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

№ РОСС СОБ 3.00127.2013

Действителен до

« 18 » ноября 2018 г.

Настоящий аттестат удостоверяет, что

Открытое акционерное общество «Радиовый институт

(наименование юридического лица (индивидуального предпринимателя), адрес

имени В.Г. Хлопина»

(ОАО «Радиовый институт имени В.Г. Хлопина»

194021, г. Санкт-Петербург, 2-ой Муринский пр., д. 28

аккредитовано в соответствии с Приказом от 27 февраля 2014 г. № 223 и официально признана его компетентность выполнять работы при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства по поверке средств измерений, в соответствии с прилагаемой областью аккредитации, являющейся неотъемлемой частью настоящего аттестата.

Заместитель Руководителя
Федерального агентства



Ф.В. Булыгин

Серия АК

№ 001023

ОБЛАСТЬ АККРЕДИТАЦИИ

Открытого акционерного общества
 «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»

(ОАО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»)

194021, г. Санкт-Петербург, 2-ой Муринский пр., д. 28

(наименование и адрес юридического лица)

(шифр поверительного клейма)

поверка средств измерений

(сфера действия аттестата аккредитации)

№ п/п	Вид поверки (первичная при выпуске из производства, первичная при ввозе по импорту, первичная после ремонта, периодическая)	Наименование групп средств измерений	Метрологические характеристики		Примечание
			Диапазон измерений	Класс, разряд, погрешность	
1	2	3	4	5	6
Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант					
1	Первичная при выпуске из производства, первичная при ввозе по импорту, периодическая	<u>Рабочие эталоны 1 разряда:</u> - источники альфа-излучения радионуклидные спектрометрические эталонные ОСАИ - растворы альфа-излучающих радионуклидов эталонные - радионуклидные источники альфа-излучения специального назначения	40-1·10 ⁵ Бк 20-5·10 ⁴ с ⁻¹ 1·10 ³ -1·10 ⁷ Бк·г ⁻¹ 40-1·10 ⁵ Бк 20-5·10 ⁴ с ⁻¹	ПГ ±(3 - 4)% ПГ ±(4 - 5)% ПГ ±(1 - 4)% ПГ ±(3 - 4)% ПГ ±(4 - 5)%	

Приложение к аттестату аккредитации

№ РосС 0063.00127.2013

от 23.02.14

1	2	3	4	5	6
2	Первичная при выпуске из производства, первичная при ввозе по импорту, периодическая	<u>Рабочие эталоны 2 разряда:</u> - источники альфа-излучения радионуклидные спектрометрические эталонные ОСАИ - растворы альфа-излучающих радионуклидов эталонные - источники фотонного излучения радионуклидные закрытые спектрометрические эталонные ОСГИ-3 - радионуклидные источники альфа-, бета-, гамма-излучений специального назначения	$40 \cdot 10^5$ Бк $20 \cdot 5 \cdot 10^4$ с⁻¹ $1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^7$ Бк·г⁻¹ $1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^6$ Бк $40 \cdot 10^5$ Бк	ПГ ±(4 - 6)% ПГ ±(5 - 6)% ПГ ±(1 - 6)% ПГ ±(4 - 6)% ПГ ±(1 - 6)%	

Заместитель Руководителя
Ростехрегулирования



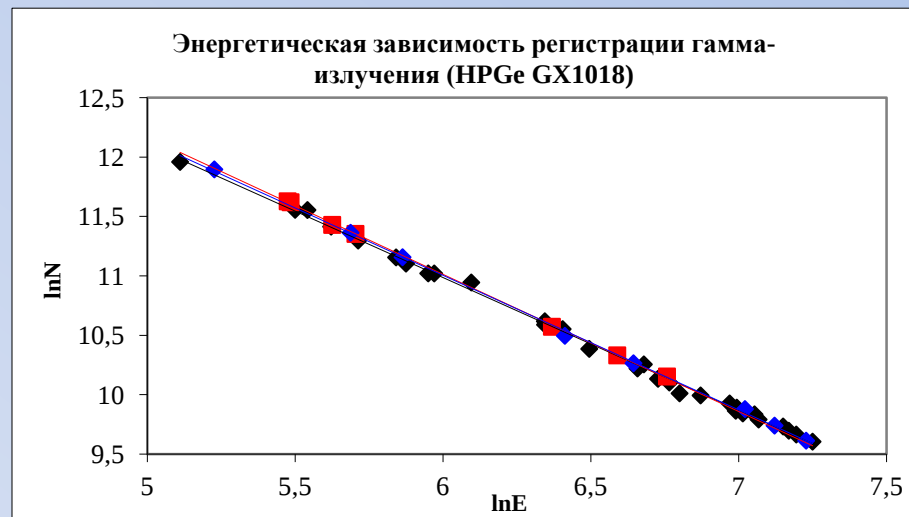
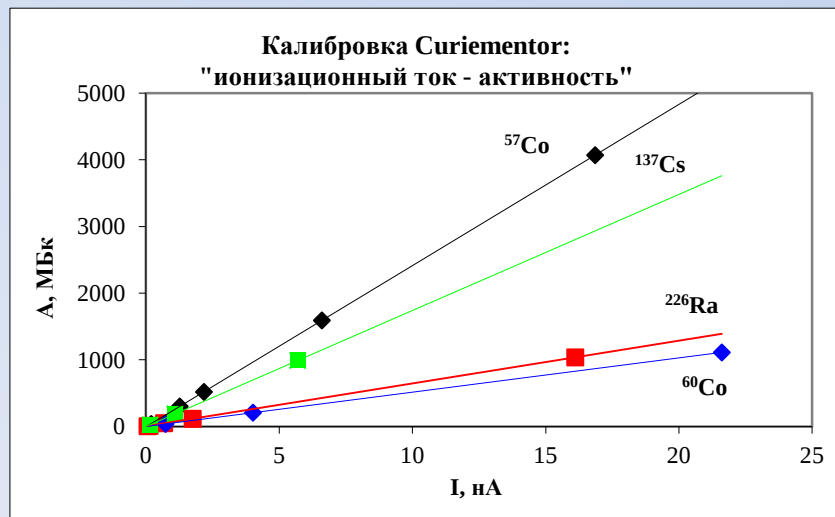
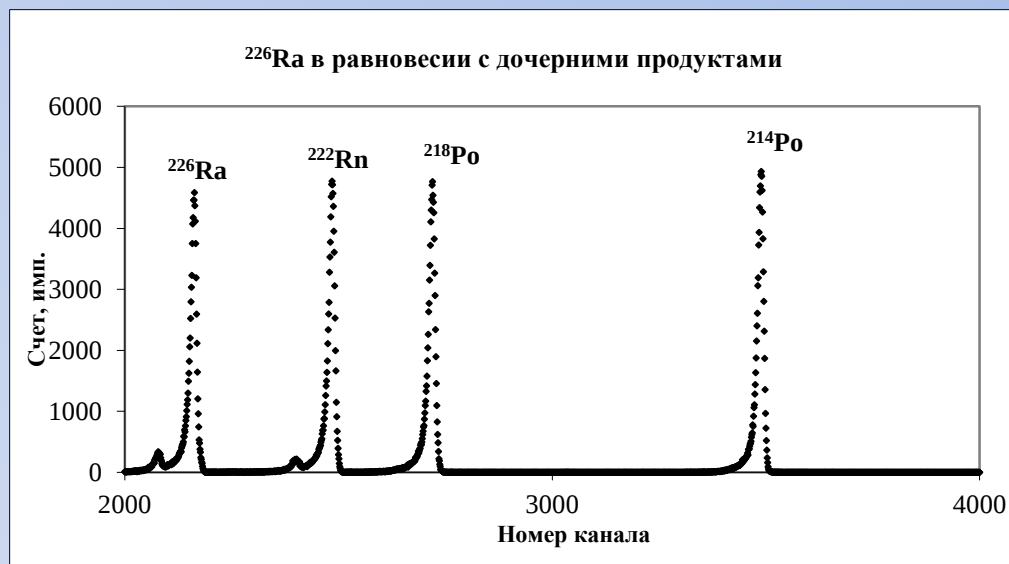
Ф.В. Булыгин

Для решения поставленных задач используется многофункциональный измерительный комплекс (МФИК), позволяющий реализовать различные вариации прецизионной альфа-, бета- и гамма-спектрометрии, эмиссионную мессбауэровскую спектроскопию, метод возмущенных угловых корреляций.



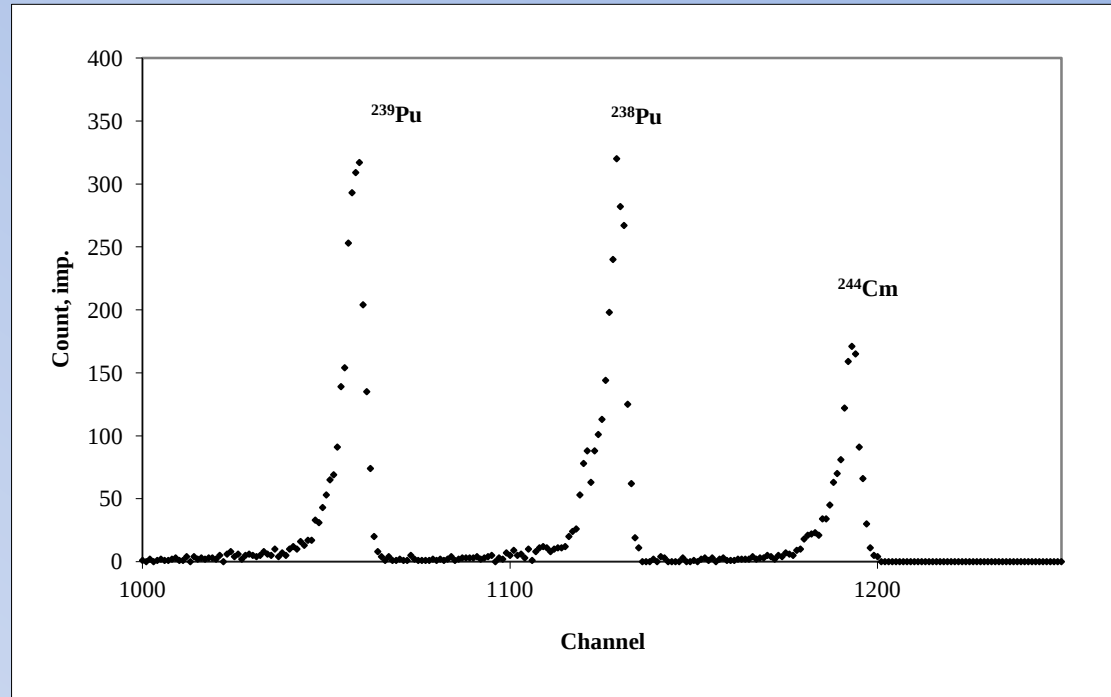
Калибровка измерительной аппаратуры (рентгеновский, бета-, гамма-спектрометры, ионизационная камера) проведена с высокой точностью с использованием источников, активность которых была определена абсолютными методами:

- 2 π -счета: точечные источники радия-226 и тория-228,
- совпадений рентгеновского, бета- и гамма-излучений.



Вторичный эталон единицы активности альфа-излучения

1. Эффективность регистрации альфа-излучения в телесный угол 2π с.р. – **не менее 49%**;
2. Диапазон измерений:
 - внешнее излучение в телесный угол 2π с.р.:
 $2\text{--}5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$
 - активность источника – **$4\text{--}1 \cdot 10^5$ Бк**
3. Энергетическое разрешение – **от 25 кэВ.**



Спектр источника

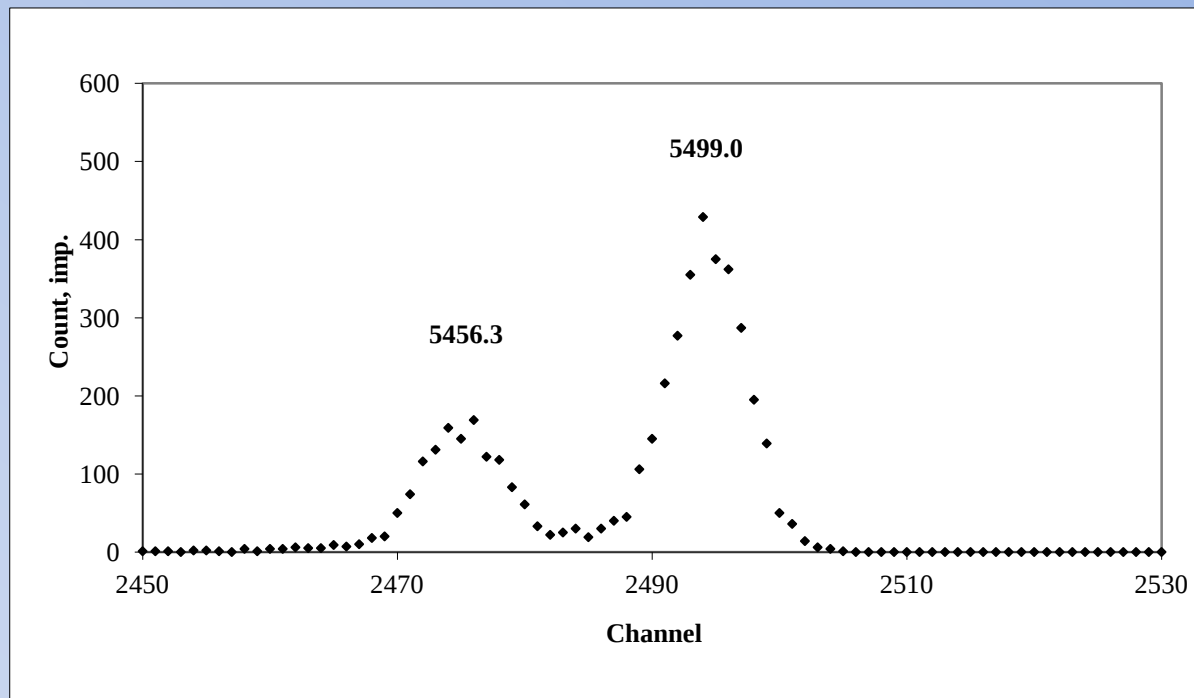
$^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu} + ^{244}\text{Cm}$ (13.85 Бк):

энергетическое разрешение по линиям 5499.0 кэВ ^{238}Pu , 5156.6 кэВ ^{239}Pu и 5804.8 кэВ ^{244}Cm – 27, 27 и 25 кэВ соответственно.



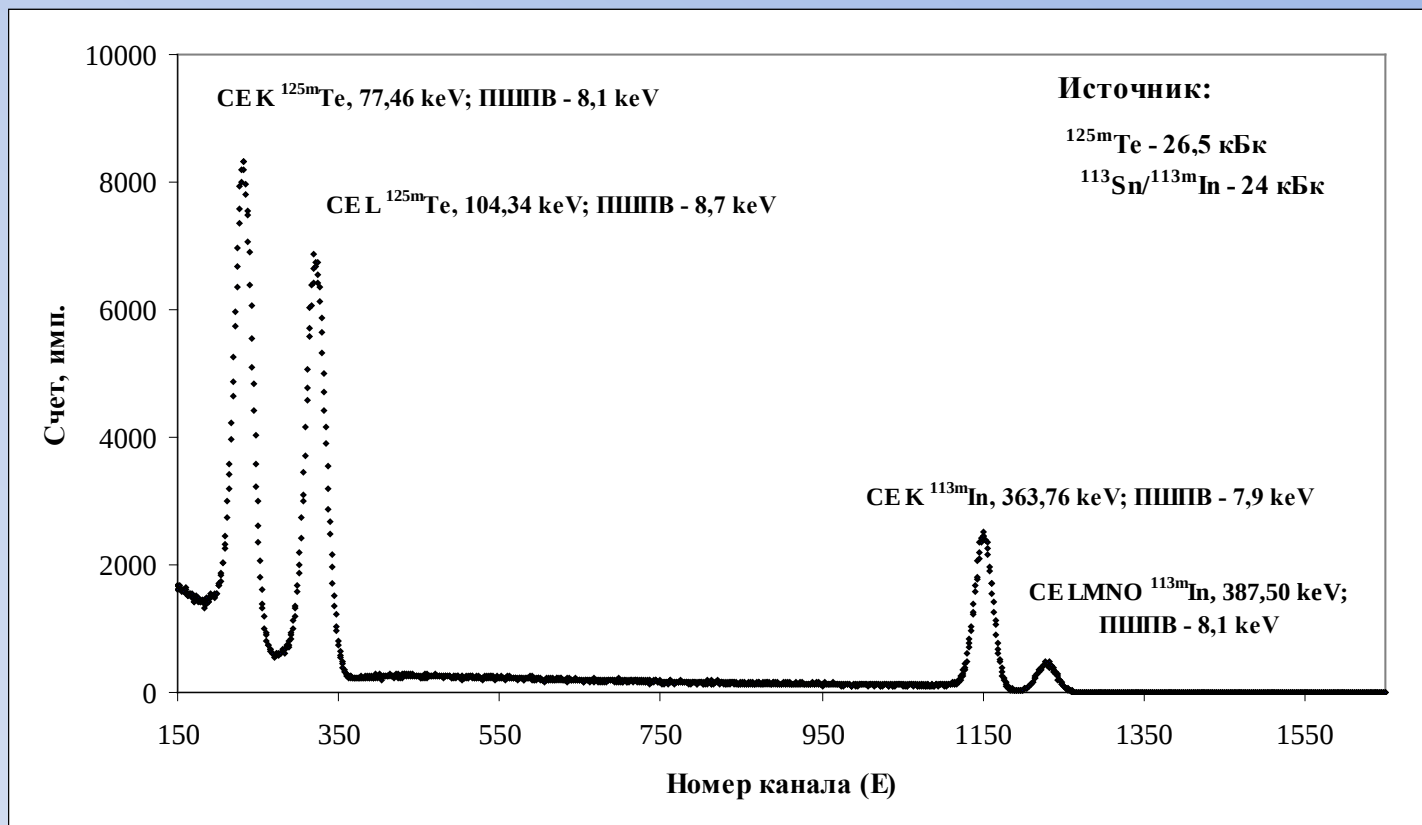
**Альфа-бета спектрометр с
анализатором импульсов
Multiport II и PIPS-
детекторами:**

- диапазон энергий:
18 кэВ – 9 МэВ;
- энергетическое
разрешение для альфа-
частиц – **от 15 кэВ;**
- разрешение для электронов
конверсии –
от 7.5 кэВ.



*Спектр источника ^{238}Pu (903.6 Бк):
Энергетическое разрешение по линиям 5456.3
и 5499.0 кэВ –
15.5 кэВ, площади пиков - 29 и 71 %
соответственно.*



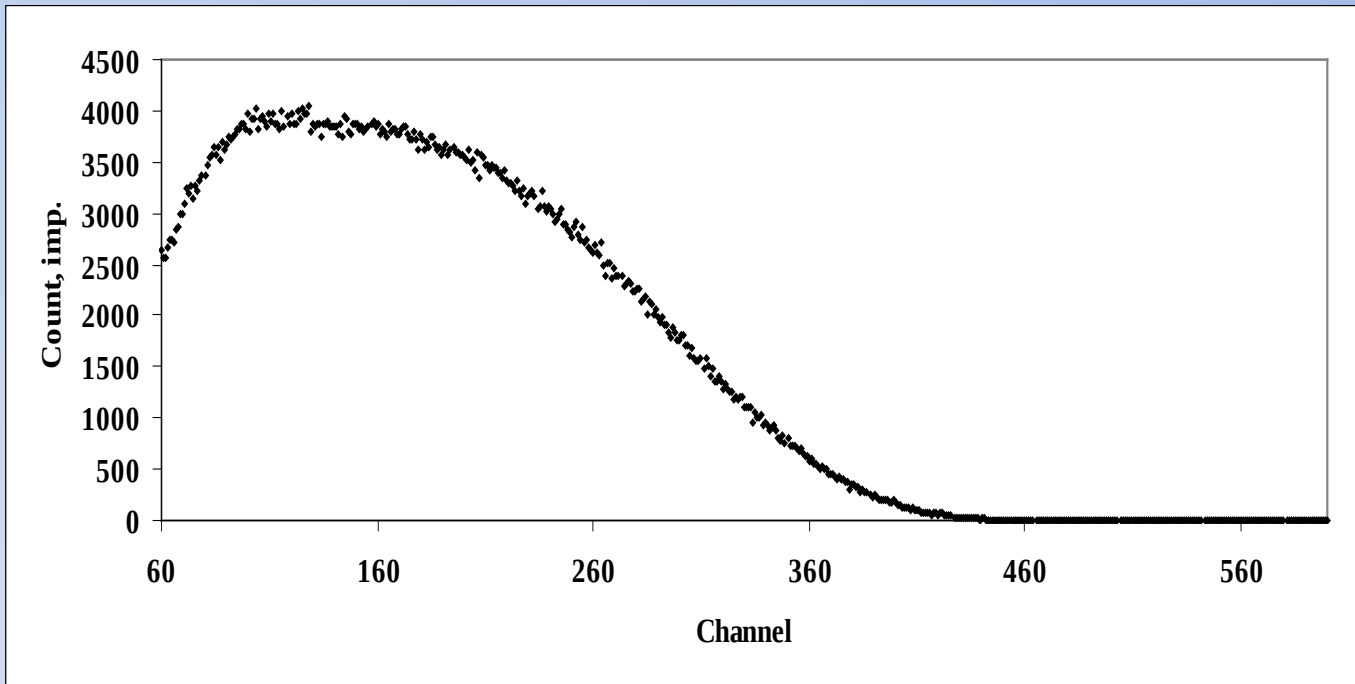


Спектр источника электронов конверсии:

- ^{125m}Te (удельная активность – 0.8 мКи/мг),
- $^{113}\text{Sn}/^{113m}\text{In}$ (без носителя: реакция $^{113}\text{In} (p,n) ^{113}\text{Sn}$),
- суммарная активность 30.5 кБк,
- материал подложки – оксид бериллия.

Энергетическое разрешение – не более 8.5 кэВ.





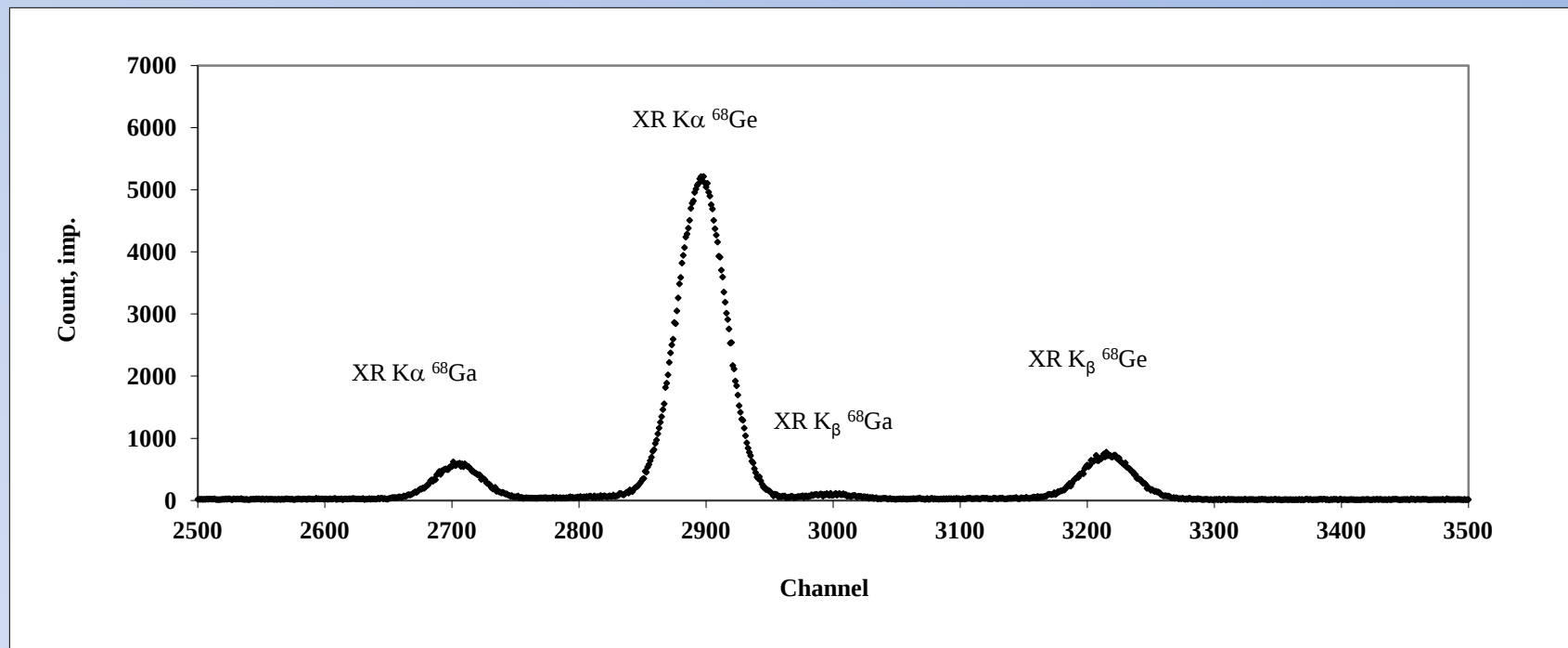
Бета-спектр источника на основе ^{35}S :

- максимальная энергия бета-частиц - 48.758 кэВ;*
- граничная энергия бета-спектра - 167.33 кэВ.*

Рентгеновский и гамма-спектрометр с цифровым анализатором импульсов LYNX-MCA и полупроводниковыми детекторами коаксиального и планарного типов на основе HPGe (GX1018 и GUL0035)

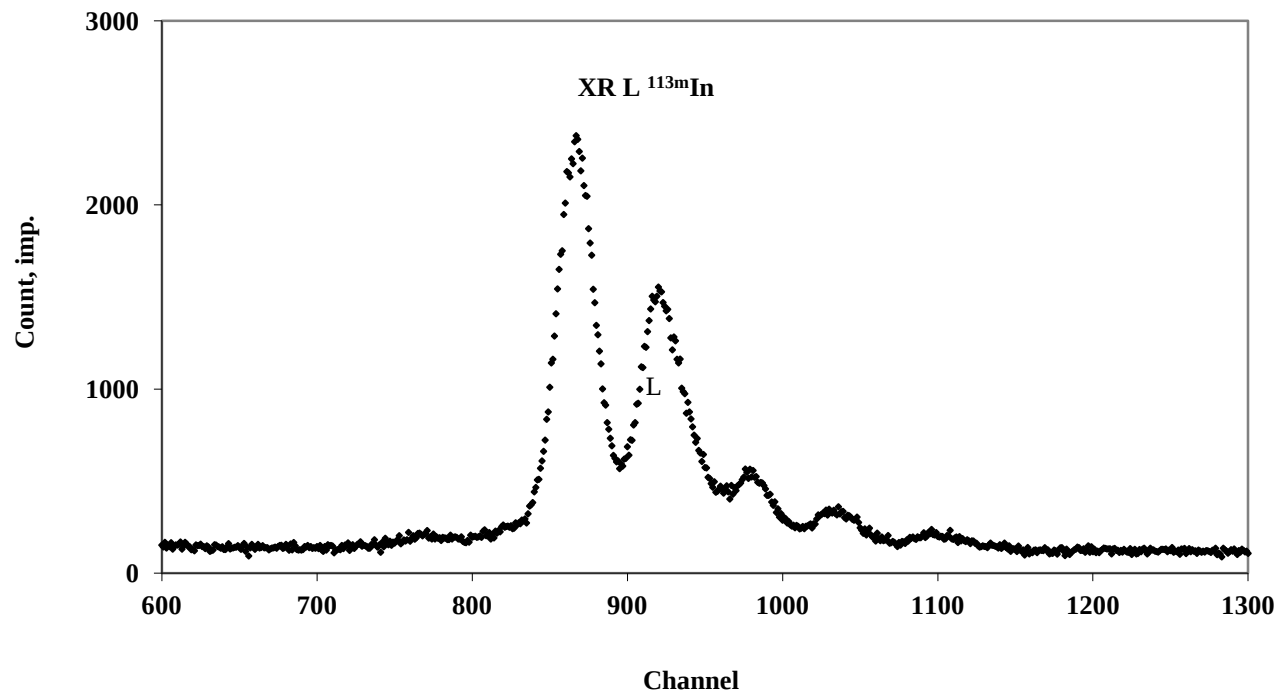
- диапазон энергий: **300 эВ – 10 МэВ;**
- разрешение по фотопикам:
5.9 кэВ ^{55}Fe – не хуже 110 эВ;
122 кэВ ^{57}Co – не более 700 эВ;
1 332 кэВ ^{57}Co – не более 1600 эВ;
- загрузка тракта – **до 100000 имп./с;**
- уширение пика с энергией 1332 кэВ при увеличении загрузки спектрометрического тракта в 50 раз - **не более 6%;**
- возможность проведения временных измерений в мкс временном диапазоне.





Рентгеновский спектр источника на основе радиоактивной пары $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$, активностью 900 кБк; энергетическое разрешение - 135 эВ.





Рентгеновский спектр (L-серия) источника на основе $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$, активностью 900 кБк (материал подложки – оксид берилля); энергетическое разрешение – не более 100 эВ.



Экспериментальные возможности измерительного комплекса подтверждены успешным решением различных метрологических задач, в частности:

Определение содержания ^{241}Pu в плутониевых смесях

I. Alekseev, T. Kuzmina
Determination of ^{241}Pu by the Method of Disturbed Radioactive Equilibrium Using 2 π a-counting and Precision Gamma-spectrometry // Applied Radiation and Isotopes, 2016, Vol. 110, pp. 212-217

В кооперации
с отделом радионуклидных источников и препаратов РИ

Измерение сечений реакции $^{119}\text{Sn}(p,n)^{119}\text{Sb}$

V. I. Zhrebchevsky, I.E. Alekseev, K. A. Gridnev, e.a.
The Study of the Nuclear Reactions for the Production of Antimony Isotopes // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2016, Vol. 80, No. 8, pp. 888–893

В кооперации :
- с циклотронной лабораторией РИ;
- с кафедрой ядерно-физических методов исследования физического факультета СПбГУ.

Идентификация форм стабилизации примесных атомов ^{57}Co , образовавшихся в результате облучения

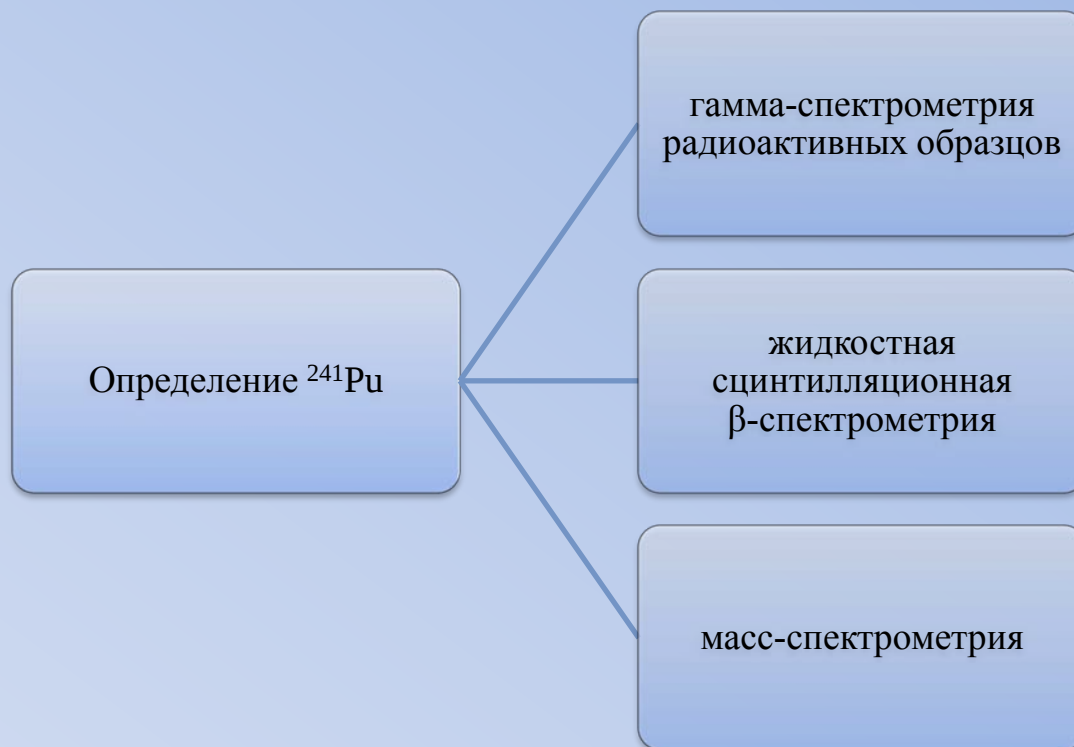
I. Alekseev Emanation of ^{54}Mn and ^{57}Co Impurity "Hot" Atoms from Metal Iron upon Annealing the Radiation Damage // Radiation Physics and Chemistry, 2015, Vol, 106, pp. 303-306

В кооперации с кафедрой радиохимии Института химии СПбГУ

Экспрессный радиоизотопный анализ плутониевых смесей и определение содержания ^{241}Pu

^{241}Pu сложен для идентификации:

- ❑ исчезающе малая альфа-составляющей распада ($^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{237}\text{U}$, $2.45 \cdot 10^{-3}\%$);
- ❑ крайне слабое собственное гамма-сопровождение (148.57 кэВ, $1.86 \cdot 10^{-4}\%$);
- ❑ низкая энергии бета-частиц, 5.23 кэВ, испускаемых по основному каналу распада ($^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am}$, 99.998%).



Суть метода

нарушение радиоактивного равновесия в
генетической цепочке радионуклидов
 $^{237}\text{U} \leftarrow ^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Am}$

2 π -счет

гамма-спектрометрия
(после установления равновесия в
цепочке $^{237}\text{U} \leftarrow ^{241}\text{Pu}$, через 54 дня)

Для расчета содержания ^{241}Pu используется уравнение:

$$A_{^{241}\text{Pu}} = A_{^{241}\text{Am}} \frac{\lambda_B - \lambda_A}{\lambda_B} \cdot \frac{1}{e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}}$$

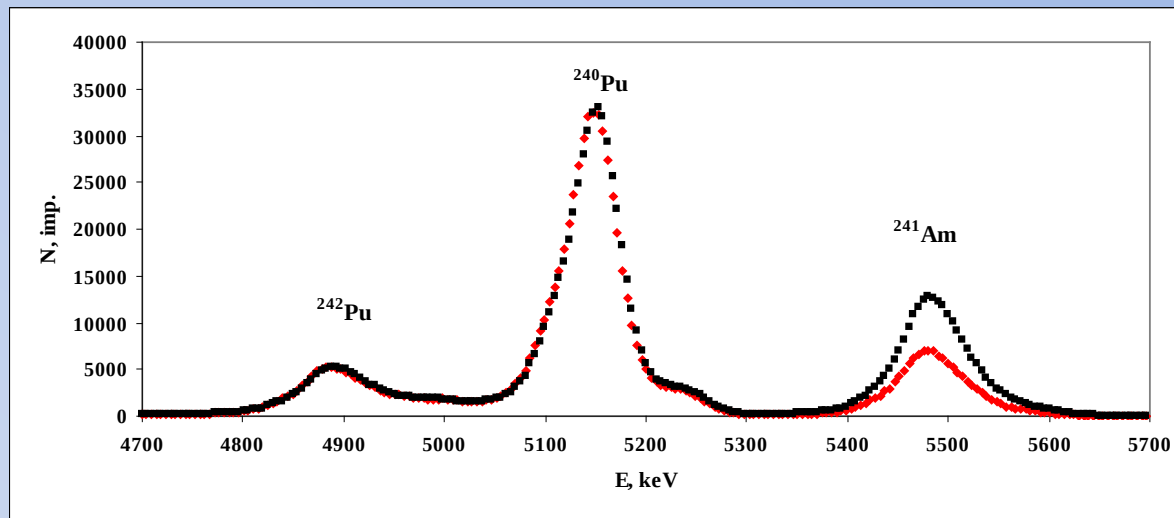
$$\lambda_A = \lambda_{^{241}\text{Pu}} = 0.0485 \text{ л}^{-1};$$

$$\lambda_B = \lambda_{^{241}\text{Am}} = 0.0016 \text{ л}^{-1};$$

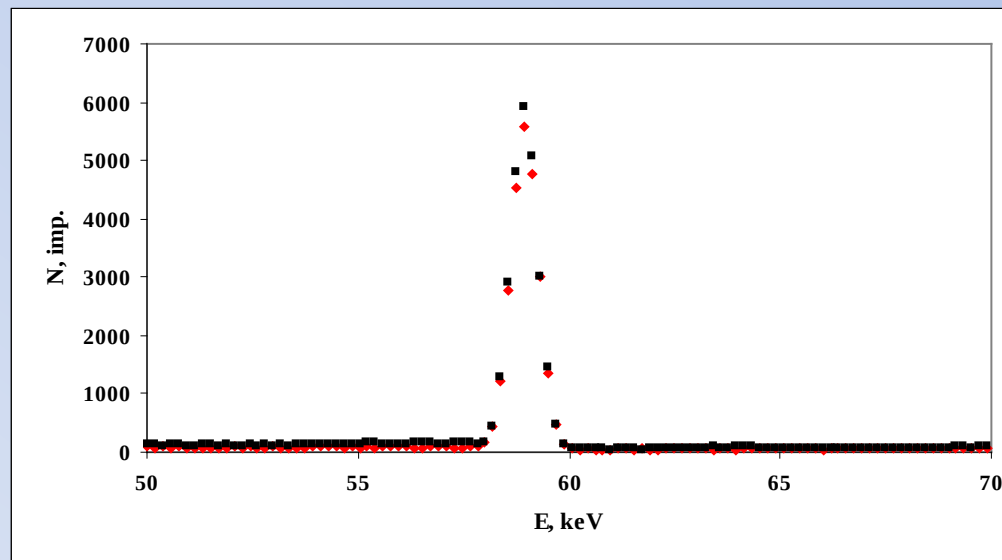
$$t_1 = 0.00822 \text{ л (3 дня)}.$$

$$t_2 = 0.01775 \text{ л (6.48 дня)}.$$

$$t_3 = 0.23927 \text{ л (87.33 дня)}.$$



Накопление ^{241}Am после очистки ^{241}Pu от дочерних радионуклидов (через 72 часа; $2\pi\alpha$ -счет)



Накопление ^{241}Am после очистки ^{241}Pu от дочерних радионуклидов и восстановления равновесия в цепочке $^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{237}\text{U}$ (через 54 + 3 дня; гамма-спектрометрия)

Накопление ^{241}Am в источниках плутония после очистки ^{241}Pu от дочерних радионуклидов

Номер источника	1	2	3	4	5
Масса раствора, содержащего ^{241}Pu , ± 0.03 мг	1.50	1.62	1.48	1.56	1.60
Активность ^{241}Am через 2 часа после очистки ^{241}Pu , Бк	250.5 ± 2.4	270.5 ± 2.6	247.2 ± 2.4	260.5 ± 2.5	267.2 ± 2.7
Активность ^{241}Am через 74 часа после очистки ^{241}Pu , Бк	353.8 ± 3.6	382.9 ± 3.8	349.2 ± 3.5	365.7 ± 3.4	377.3 ± 3.4
Активность ^{241}Am через 155.5 часов после очистки ^{241}Pu , Бк	468.5 ± 4.3	505.6 ± 4.9	462.4 ± 4.1	487.3 ± 4.8	500.0 ± 4.7
Активность ^{241}Am через 2096 часов после очистки ^{241}Pu , Бк	-	-	-	-	3426.6 ± 32.6

Удельная активность ^{241}Pu :

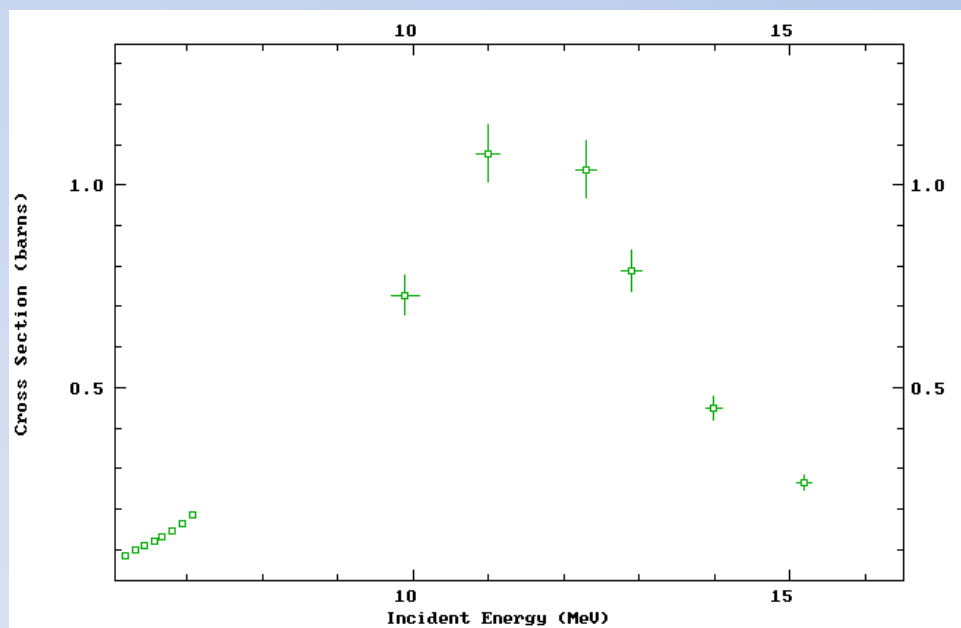
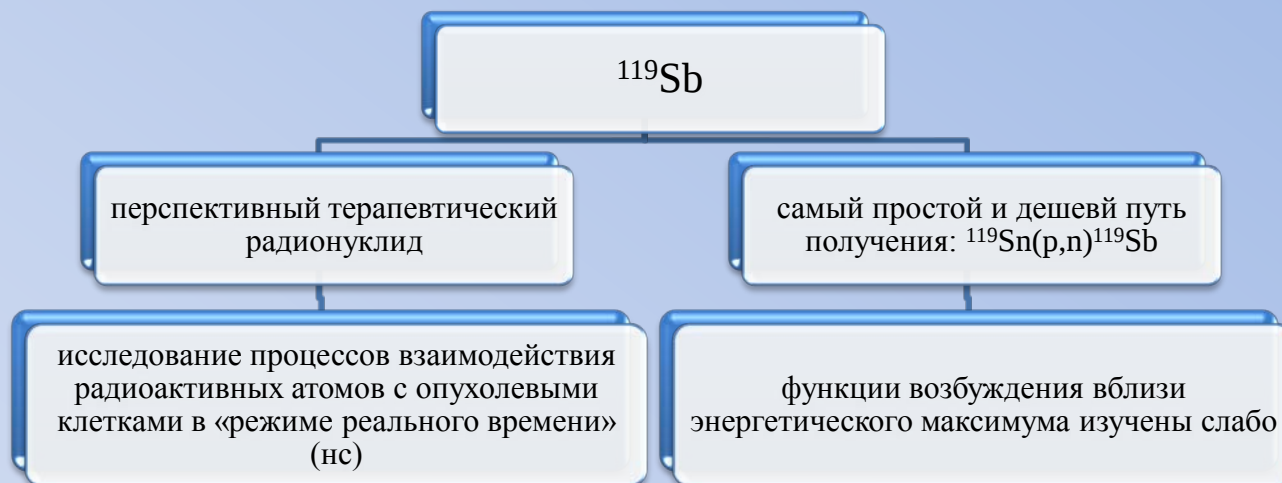
- $2\pi\alpha$ -счет - 5190 кБк/мг;

- прецизионная гамма-спектрометрия - 5176 кБк/мг.

**Метод может быть использован для экспрессного радиоизотопного анализа плутониевых смесей
(2 π α -счет в сочетании с прецизионной полупроводниковой альфа-спектрометрией)**

Радионуклид	Период полураспада, лет	Энергия альфа-частиц, кэВ
^{236}Pu	2.9	5721.0
		5767.7
^{238}Pu	87.7	5456.3
		5499.0
^{239}Pu	24110	5105.5
		5144.3
		5156.6
^{240}Pu	6561	5123.7
		5168.2
^{242}Pu	$3.75 \cdot 10^5$	4858.1
		4902.2
^{244}Pu	$8.01 \cdot 10^7$	4545.0
		4589.0
^{241}Am	432.6	5388.0
		5442.8
		5485.6

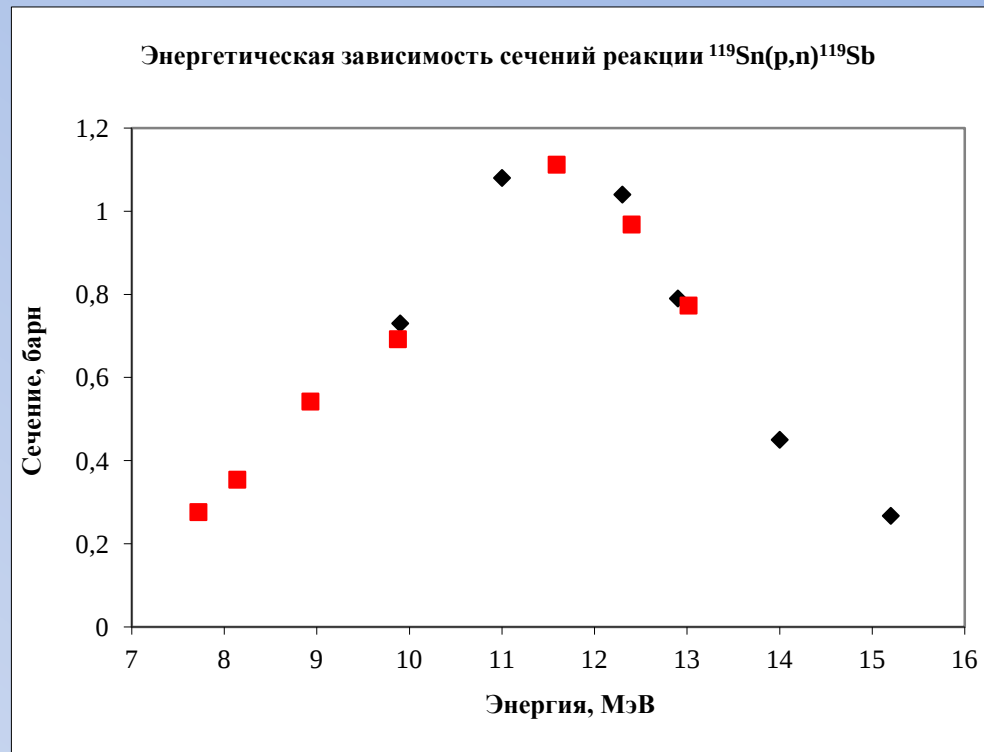
Измерение сечений реакции $^{119}\text{Sn}(p,n)^{119}\text{Sb}$ вблизи энергетического максимума



➤ Энергетическая зависимость выходов ^{119}Sb измерена методом «стопки фольг» в диапазоне энергий 13.1/7.7 МэВ.

➤ Циклотронные мишени - ^{119}Sn металлическое, обогащение - 84%; толщина - 14.5-23.5 мкм.

➤ Определение интегрального тока пучка протонов - железные мониторы: реакция $^{56}\text{Fe}(p,n)^{56}\text{Co}$.



Черные точки - данные работы [H. Thisgaard, M. Jensen Production of the Auger emitter ^{119}Sb for targeted radionuclide therapy using a small PET-cyclotron // Applied Radiation and Isotopes, 2009, Vol. 67, p. 34-38].

Красные точки - полученные нами экспериментальные результаты.

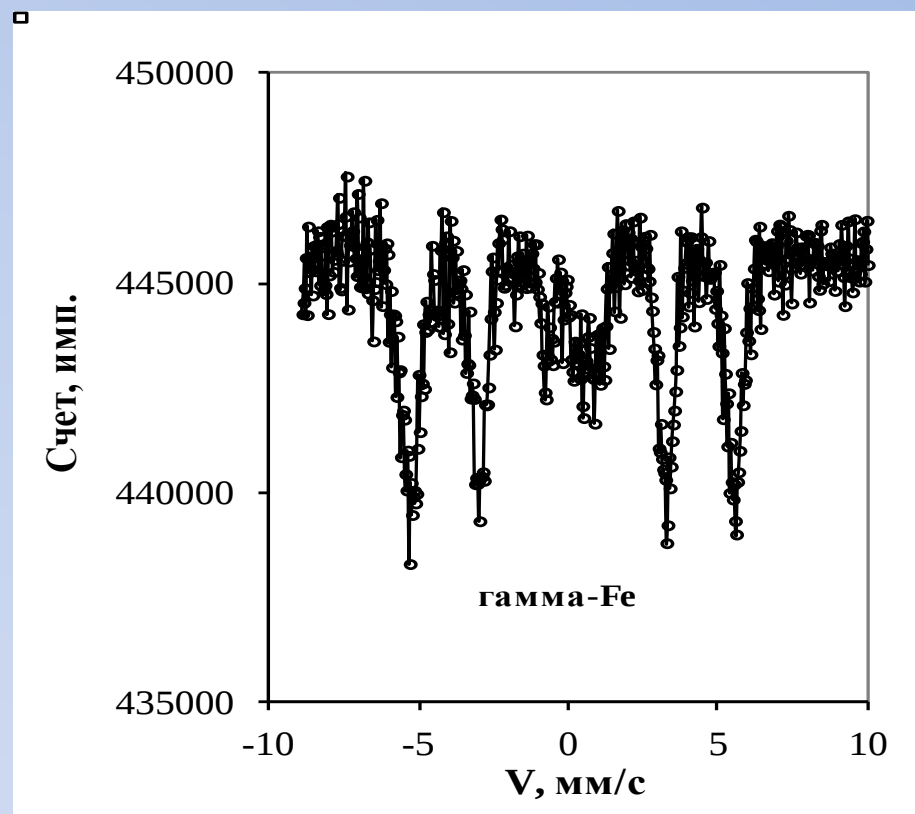
Измерение активности

гамма-спектрометр (HPGe GX1018): фотопики 846.8, 1037.8 и 1238.3 кэВ ^{56}Co

рентгеновский спектрометр (HPGe GUL0035): рентгеновские переходы после ЭЗ, фотопик 23.9 кэВ ^{119}Sb

Идентификация форм стабилизации примесных «горячих» атомов ^{57}Co , образовавшихся в металлических железе в результате облучения дейтронами

- ❑ Циклотронные мишени - фольги α -Fe толщиной 20 мкм
- ❑ Энергия дейтронов: 9.0/8.2 МэВ
- ❑ Флюенс - $1 \cdot 10^{22}$ частиц·м $^{-2}$
- ❑ Ток пучка дейтронов – 5, 10 и 15 мкА





```
graph TD; A[Расширение компетенций Института в области метрологии ионизирующих излучений] --> B[Аккредитация в Национальной системе аккредитации (ФЗ № 412-ФЗ от 28.12.2013 г.) на право: - поверки и калибровки СИ активности и удельной активности радионуклидов; - аттестации и метрологической экспертизы методик их измерения.]; A --> C[Организация на базе Института Метрологического центра Госкорпорации «РОСАТОМ» по поверке и калибровке СИ активности и удельной активности радионуклидов.];
```

Расширение компетенций Института в области метрологии ионизирующих излучений

Аккредитация в Национальной системе аккредитации (ФЗ № 412-ФЗ от 28.12.2013 г.) на право:

- поверки и калибровки СИ активности и удельной активности радионуклидов;
- аттестации и метрологической экспертизы методик их измерения.

Организация на базе Института Метрологического центра Госкорпорации «РОСАТОМ» по поверке и калибровке СИ активности и удельной активности радионуклидов.