



ATOMTECH[®]

ППСР – 2019

**XV Юбилейное Международное
совещание ППСР-2019**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЗАХВАТНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА
УСТАНОВКЕ ПОВЕРОЧНОЙ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УПН-АТ140**

Комар Д. И., Гузов В.Д., Лукашевич Р.В.

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
Республика Беларусь, г. Минск

Казань 7 – 11 октября 2019 г.

Дозиметрический контроль гамма-излучения на АЭС

Гамма-излучение с энергией **6,13 МэВ** от реакции $^{16}\text{O}(n, p)^{16}\text{N}$

Эталонные дозиметрические измерения:

- ^{241}Am 0,060 МэВ
- ^{137}Cs 0,662 МэВ
- ^{60}Co 1,250 МэВ

Рекомендации по расширению энергетического диапазона:

- Приборы радиационного мониторинга окружающей среды вокруг АЭС

IEC 61017:2016

до 7 МэВ

Дозиметры для контроля рабочего места, включая аварийные ситуации

IEC 60846-1:2009 и *IEC 60846-2:2015*

до 10 МэВ

Формирование опорных полей высокоэнергетического гамма-излучения

Международный стандарт *ISO 4037-1:2019*

R – C: 4,44 МэВ реакция $^{12}\text{C}(p, p' \gamma)$ }
R – F: 6,13 МэВ реакция $^{19}\text{F}(p, p' \gamma)$ }

Мишени облучаются пучком протонов от ускорителя

Захватное гамма-излучение:

R – Ti: до 7 МэВ }
R – Ni: до 10 МэВ }

Мишени из титана или никеля размещены в потоке тепловых нейтронов из реактора или термализованных нейтронов от радионуклидного источника нейтронов $^{238}\text{PuBe}$, ^{252}Cf и др.

Метрологическое обеспечение
на производстве

Поле фотонов в стандартизированной геометрии с известными энергетическими и дозовыми характеристиками

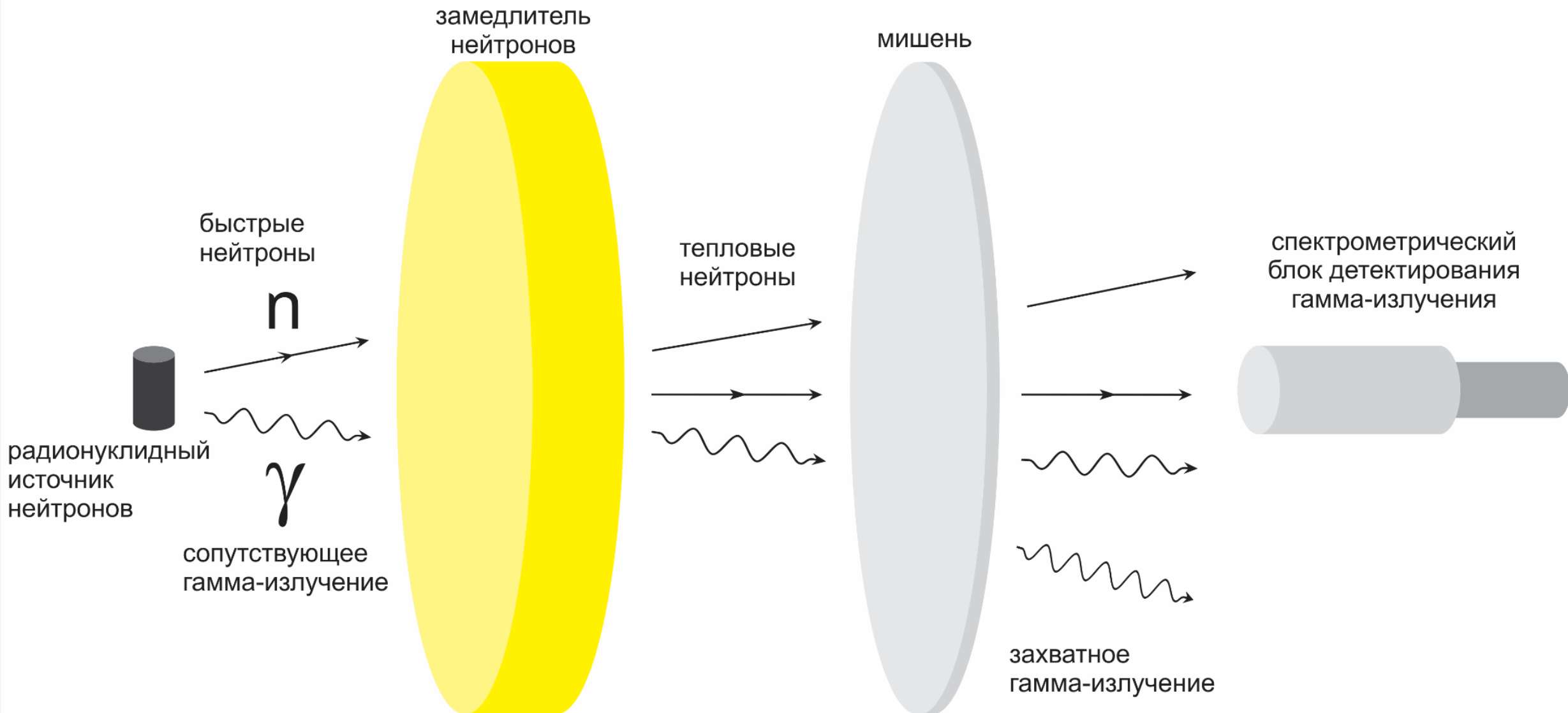
Мишени из титана и никеля можно разместить в выходном канале облучателя (в потоке тепловых нейтронов) поверочной установки нейтронного излучения



ATOMTEX[®]

Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля

Источник захватного гамма-излучения



Набор источников (до 3 шт.): $^{238}\text{Pu-Be}$ типа ИБН-8 до $5 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$
 ^{252}Cf типа НК252М11 до $5 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$

Воспроизведение и передача единиц в коллимированном пучке или в «открытой» геометрии

Плотность потока быстрых нейтронов

$2,5 - 3,5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$

Плотность потока тепловых нейтронов

$1,0 - 1,4 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$

$\pm 5\%$

Мощность амбиентного, индивидуального эквивалентов дозы

$3,5 - 4,5 \cdot 10^3 \text{ мкЗв/ч}$

$\pm 7\%$

Интервал расстояний: от 0,7 до 3,0 м

Рабочий эталон 1 или 2-го разряда по ГОСТ 8.031-82, ГОСТ Р 8.803-2012

Номер в Госреестре СИ РФ 63549-16 (до 28.03.2021)

Коэффициенты связи между значениями ППН и МАЭД в соответствии со стандартом **ИСО 8529-3**





ATOMTEX[®]

Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля

Установка поверочная нейтронного излучения УПН-АТ140



На основании теоретических данных можно спрогнозировать какие линии гамма-излучения будут наиболее интенсивными в условиях тепловой геометрии УПН-АТ140

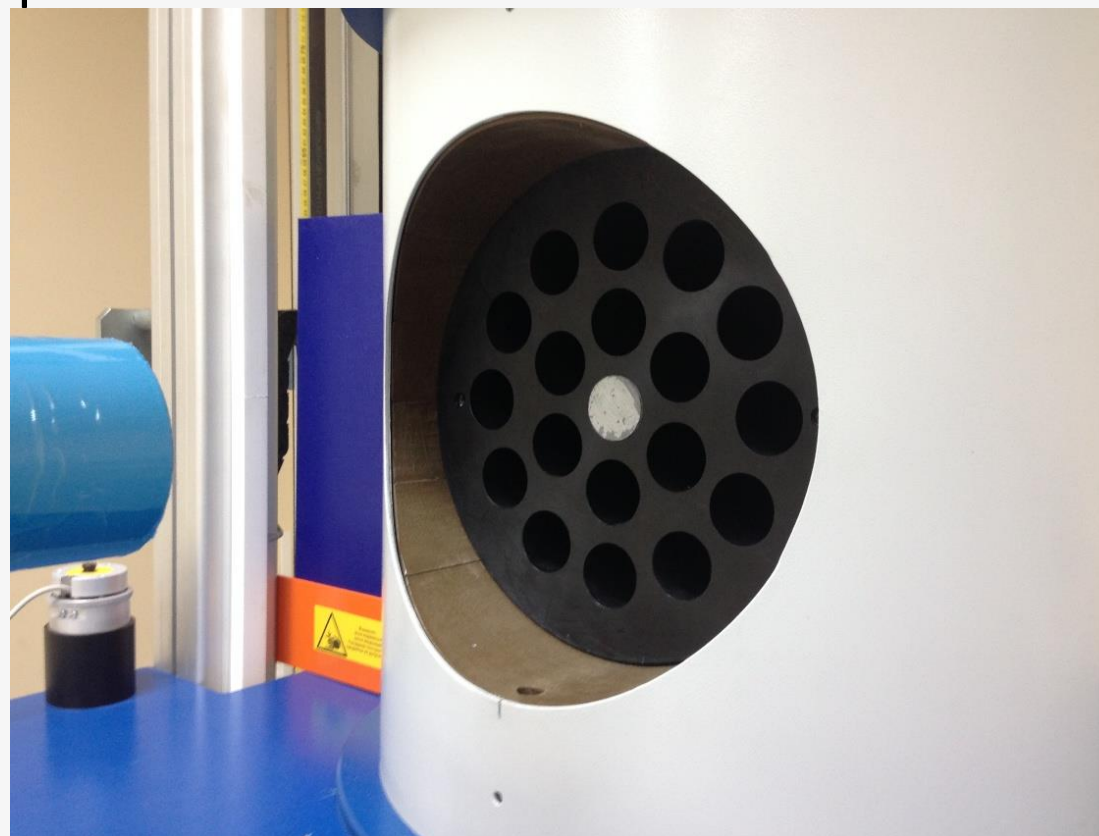
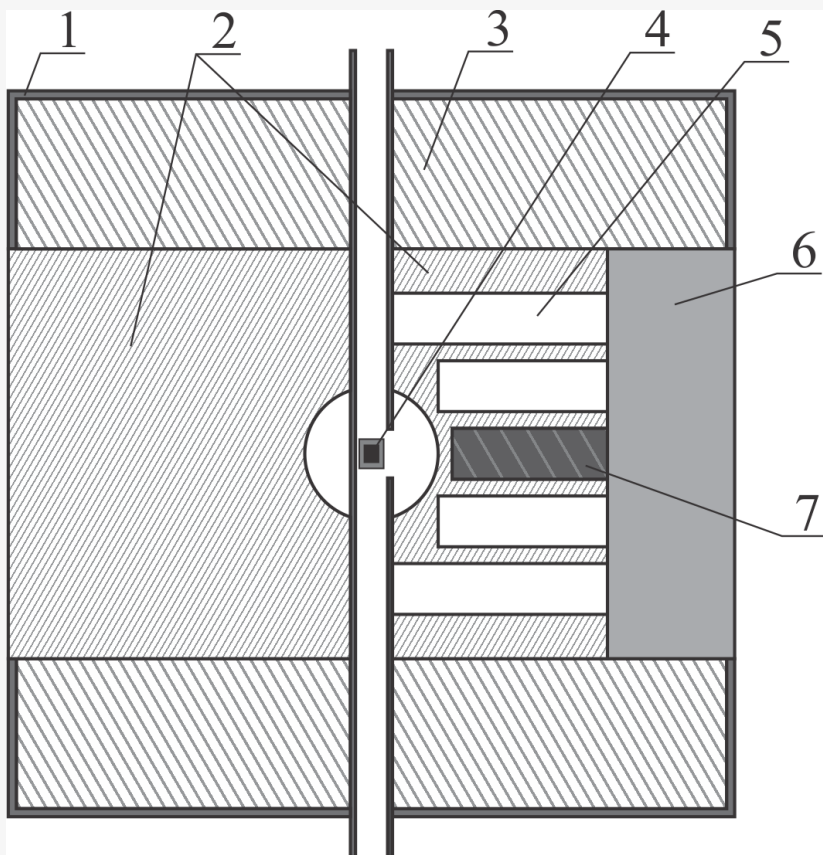
Наиболее интенсивные линии:

- 2,223 МэВ захват на ядре водорода
- 0,477 МэВ захват ядром бора
- 4,439 МэВ неупругое рассеяние на ^{12}C реакция $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ в источнике нейтронов

Существует возможность ослабления 4,439 МэВ от источника фильтром толщиной 10 см (свинец, вольфрам)

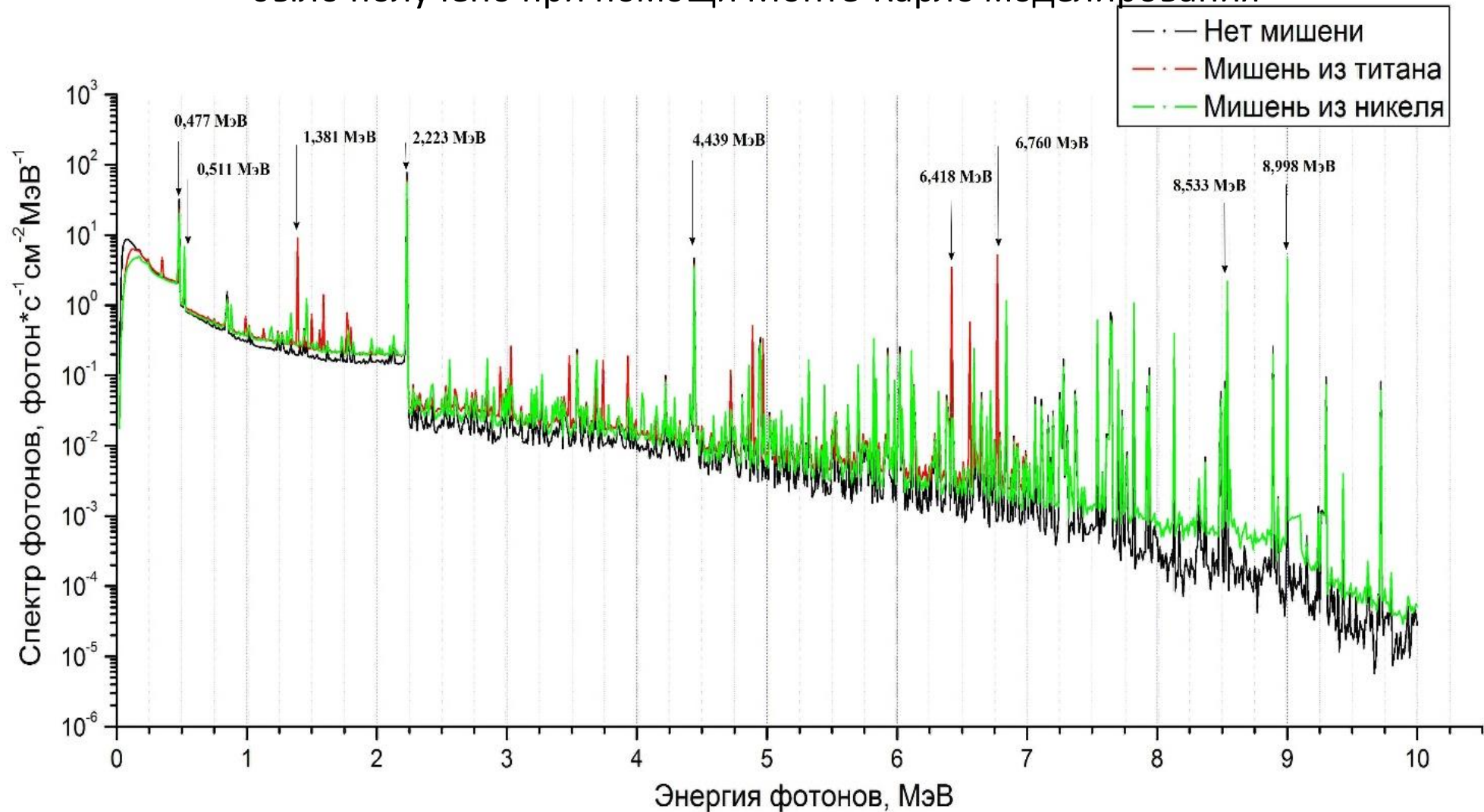
Титан		Никель	
Энергия фотонов, МэВ	Число фотонов на 100 захватов	Энергия фотонов, МэВ	Число фотонов на 100 захватов
0,342	26,3	0,283	3,3
1,381	69,1	0,465	13
1,498	4,1	0,878	3,9
1,586	8,9	6,581	2,3
1,762	5,6	6,837	10,8
4,882	5,2	7,537	4,5
4,869	3,6	7,819	8,2
6,418	30,1	8,121	3,1
6,557	4,7	8,533	17
6,761	24,2	8,999	37,7

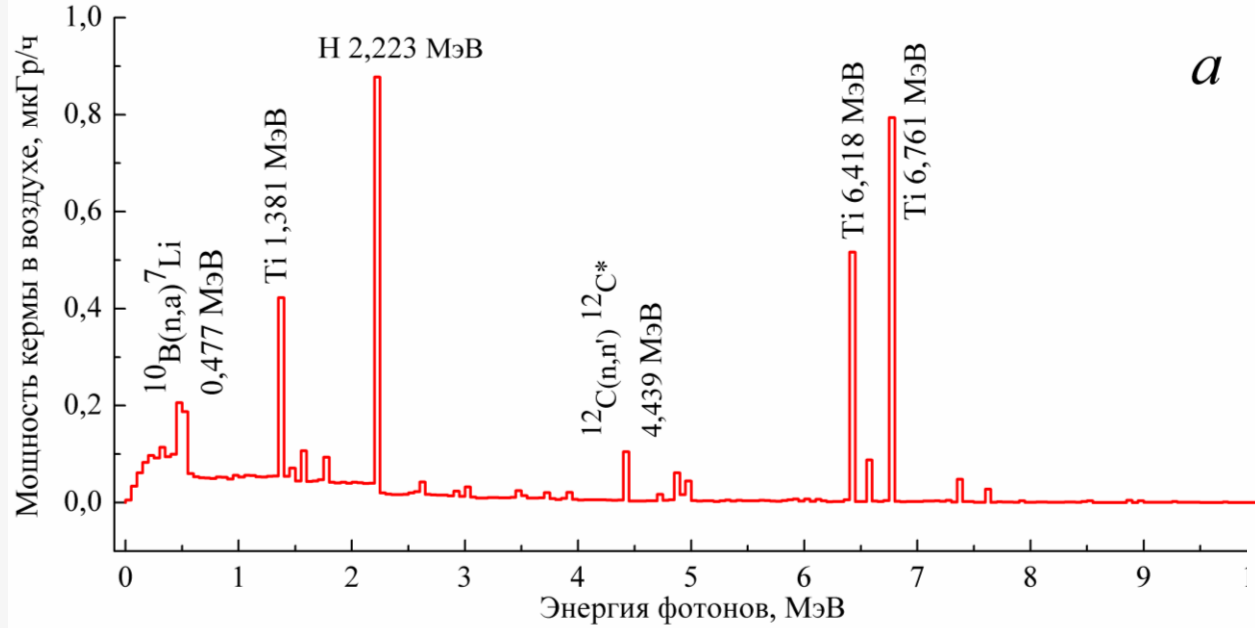
Мишени размещаются в выходном канале облучателя установки УПН-АТ140 с $^{238}\text{PuBe}$ источником нейтронов типа ИБН – 8



1 – кожух из алюминия; 2 – тепловая вставка; 3 – контейнер–коллиматор; 4 – $^{238}\text{PuBe}$ –источник нейтронов типа ИБН – 8; 5 – воздушные каналы; 6 – мишень с дополнительной фильтрацией; 7 – фильтр

Энергетическое распределение плотности потока фотонов для мишени из титана, никеля и без мишени было получено при помощи Монте-Карло моделирования

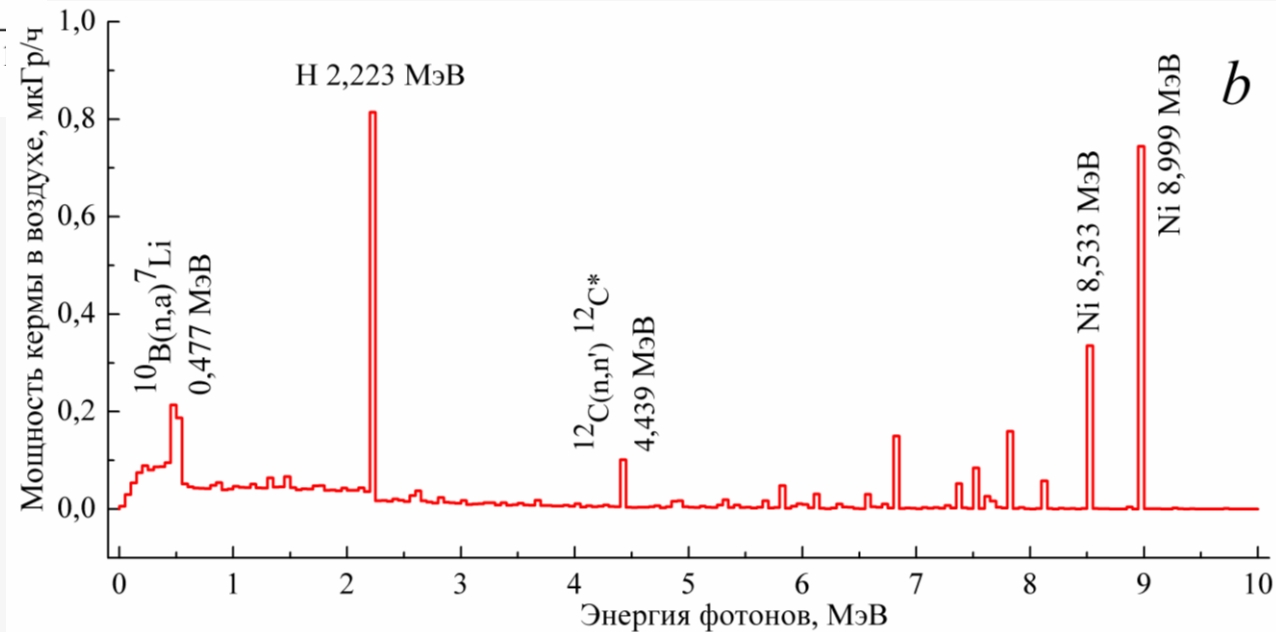




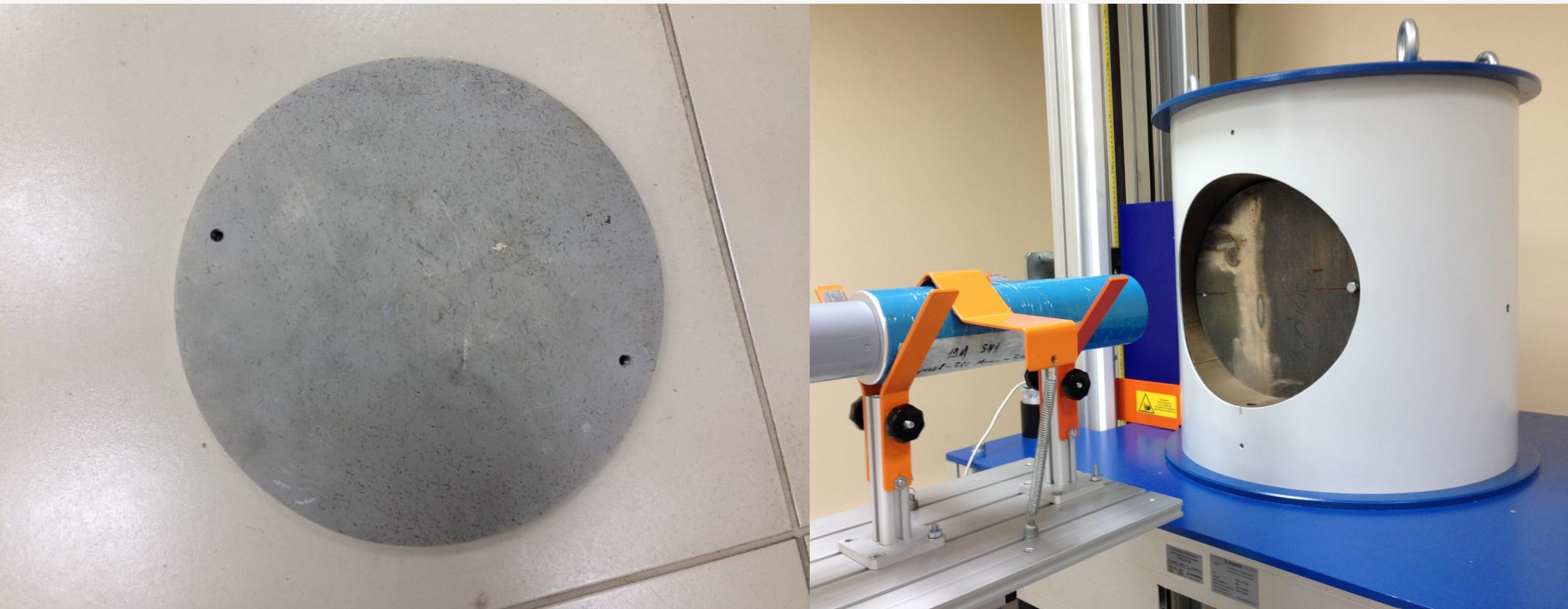
a

Энергетическое распределение мощности кермы в воздухе с интервалом 50 кэВ

a – мишень из титана
b – мишень из никеля



b

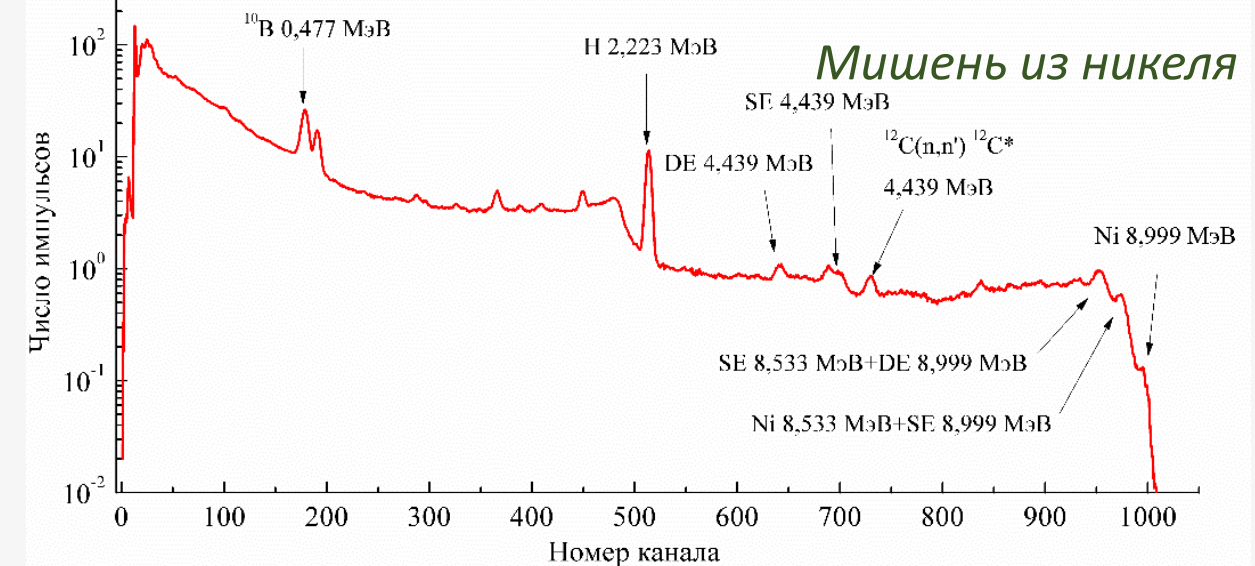
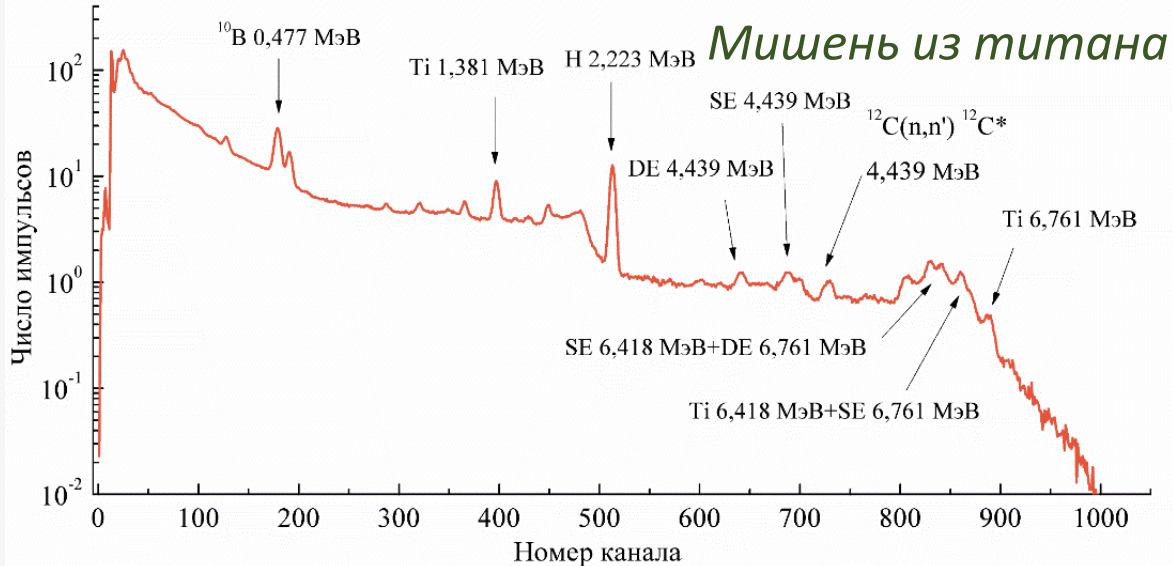
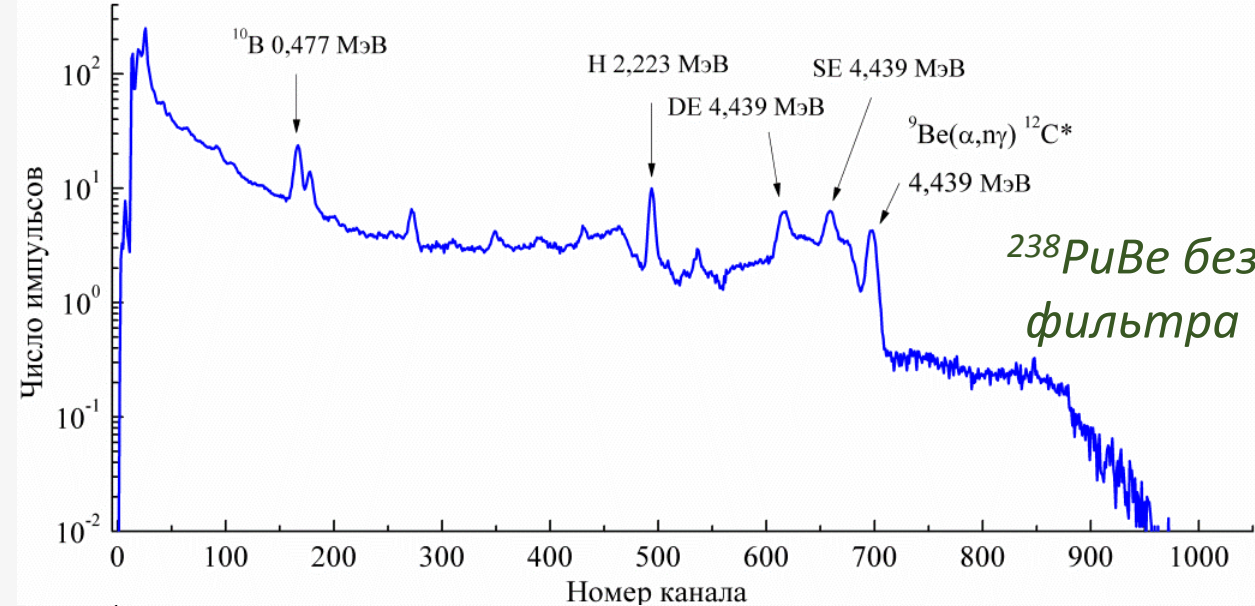
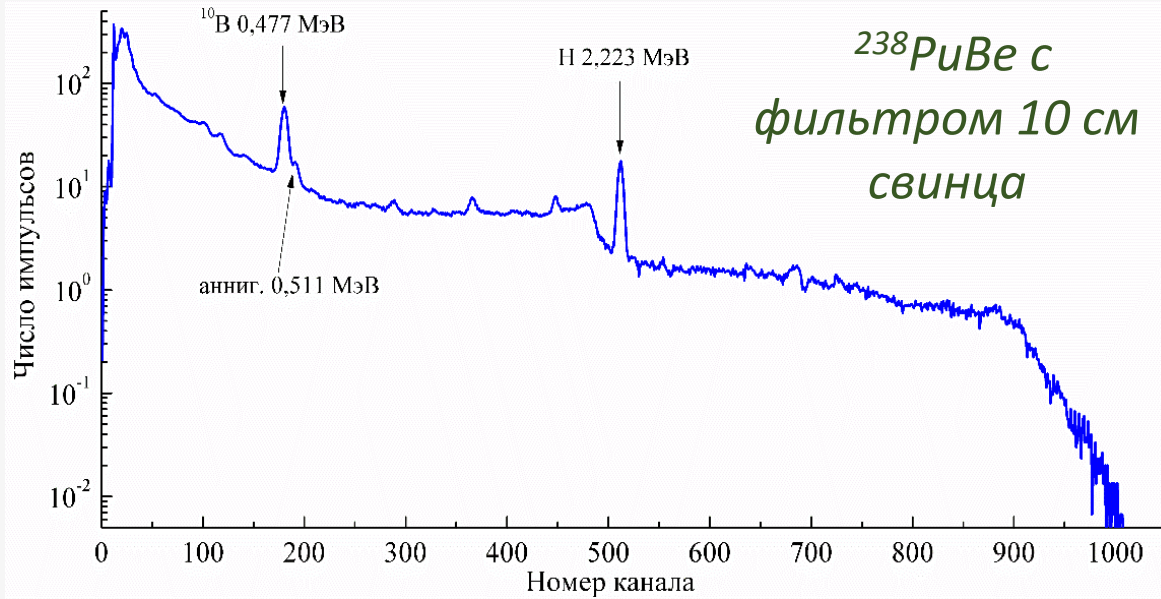


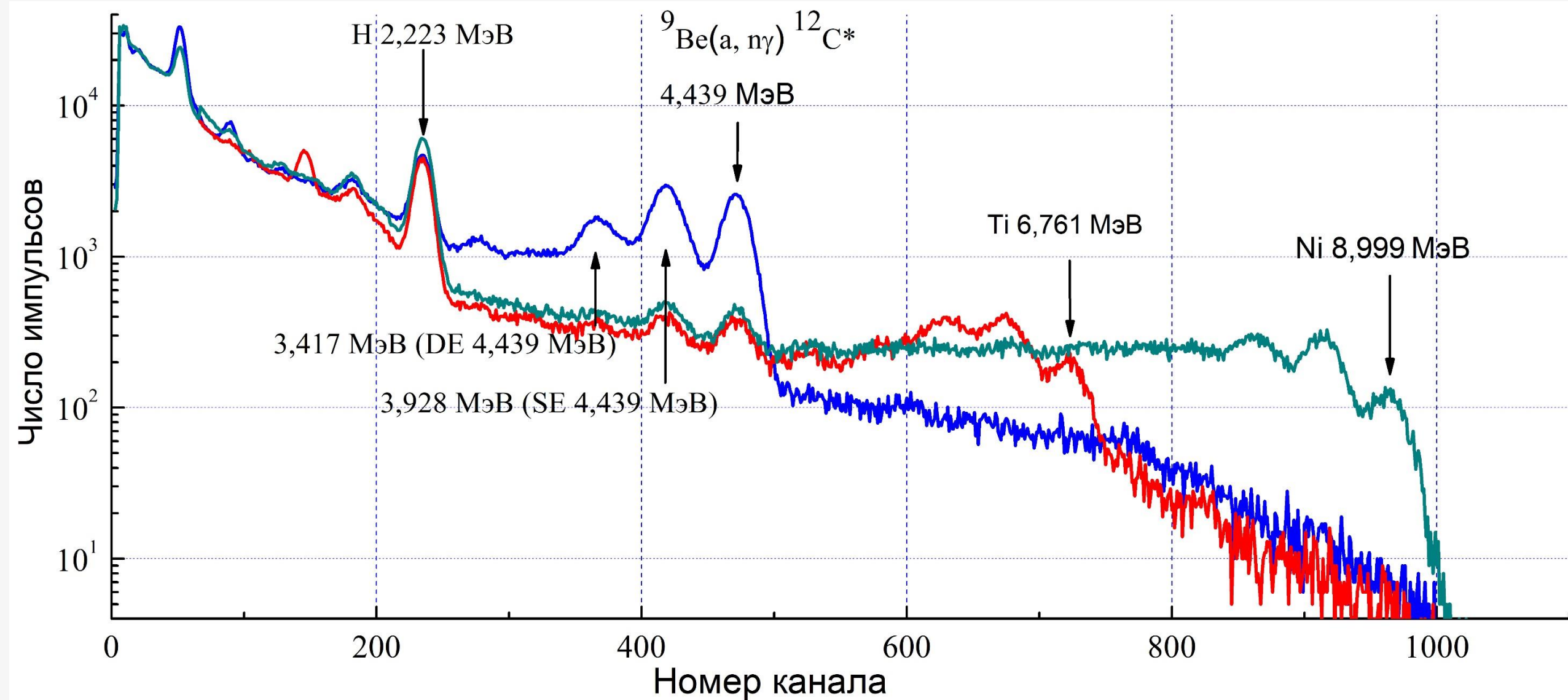
Измерения со сцинтилляционным блоком детектирования с нелинейной характеристикой преобразования канал-энергия в диапазоне до 10 МэВ

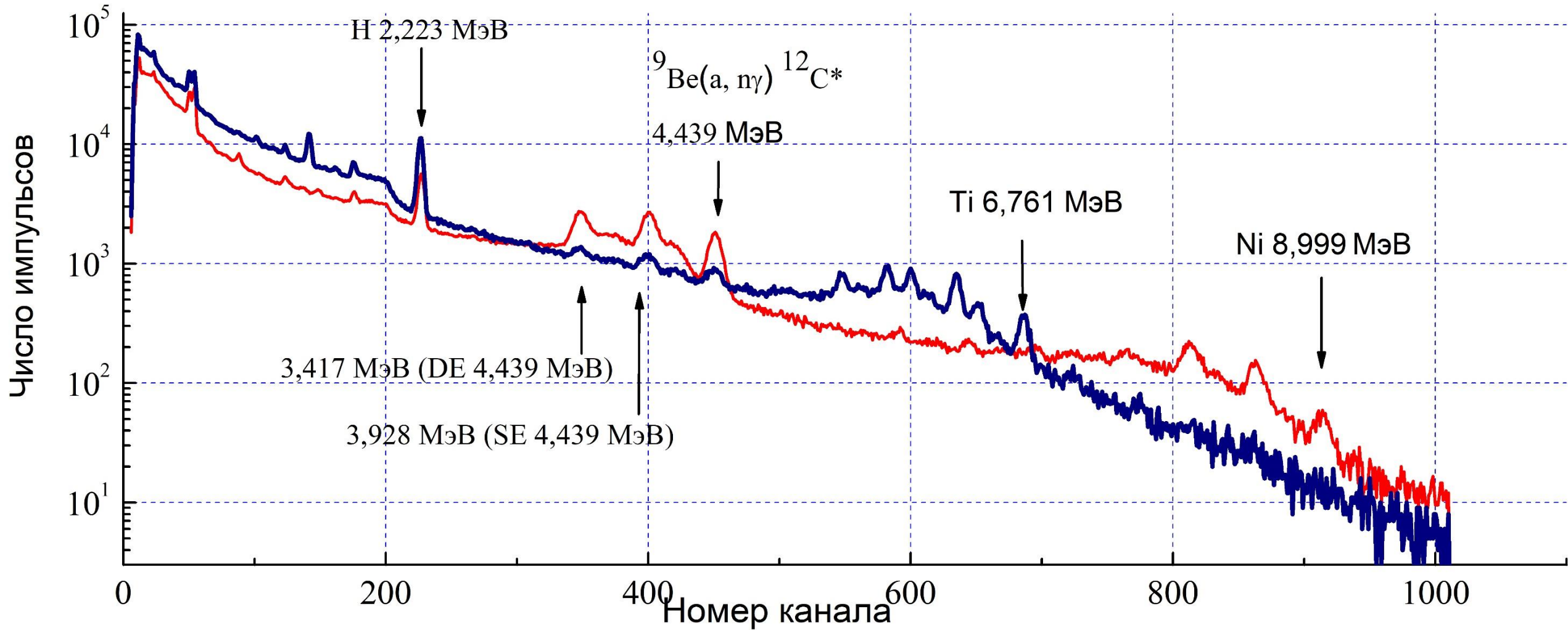
В УП «АТОМТЕХ» были разработаны экспериментальные блоки детектирования для исследования спектральных характеристик поля высокоэнергетического гамма излучения на основе кристаллов:

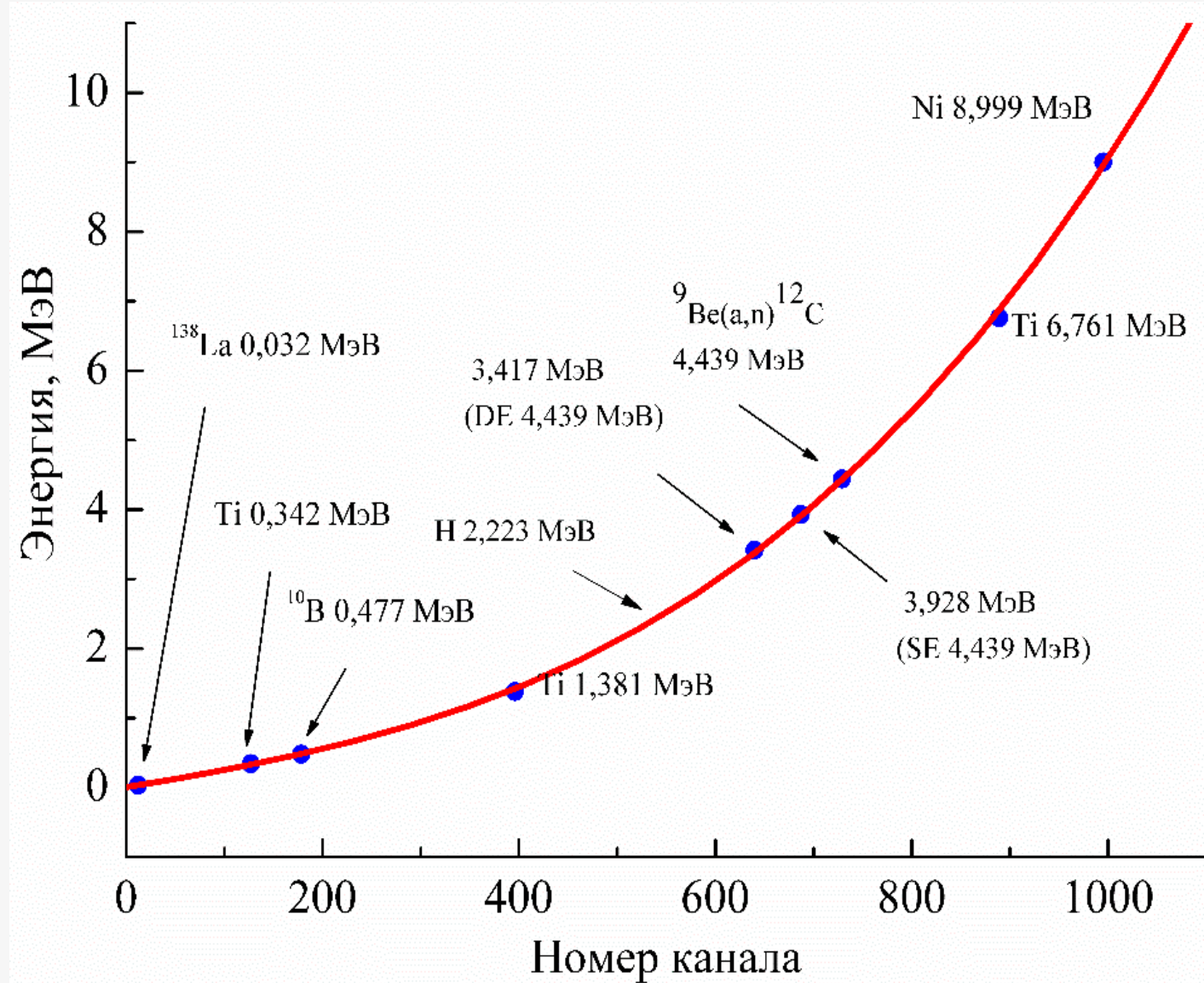
- с нелинейной характеристикой преобразования канал-энергия в диапазоне до 10 МэВ с числом каналов АЦП, равным 1024
- **SrI₂(Eu)** Ø38x38 мм с высоким разрешением ~ 3,2 % по ¹³⁷Cs
- **Германат висмута (BGO)** Ø25x40 мм, кристалл отличается высокой плотностью, большим эффективным атомным номером и нулевой реакцией на нейтроны тепловых энергий







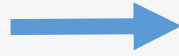




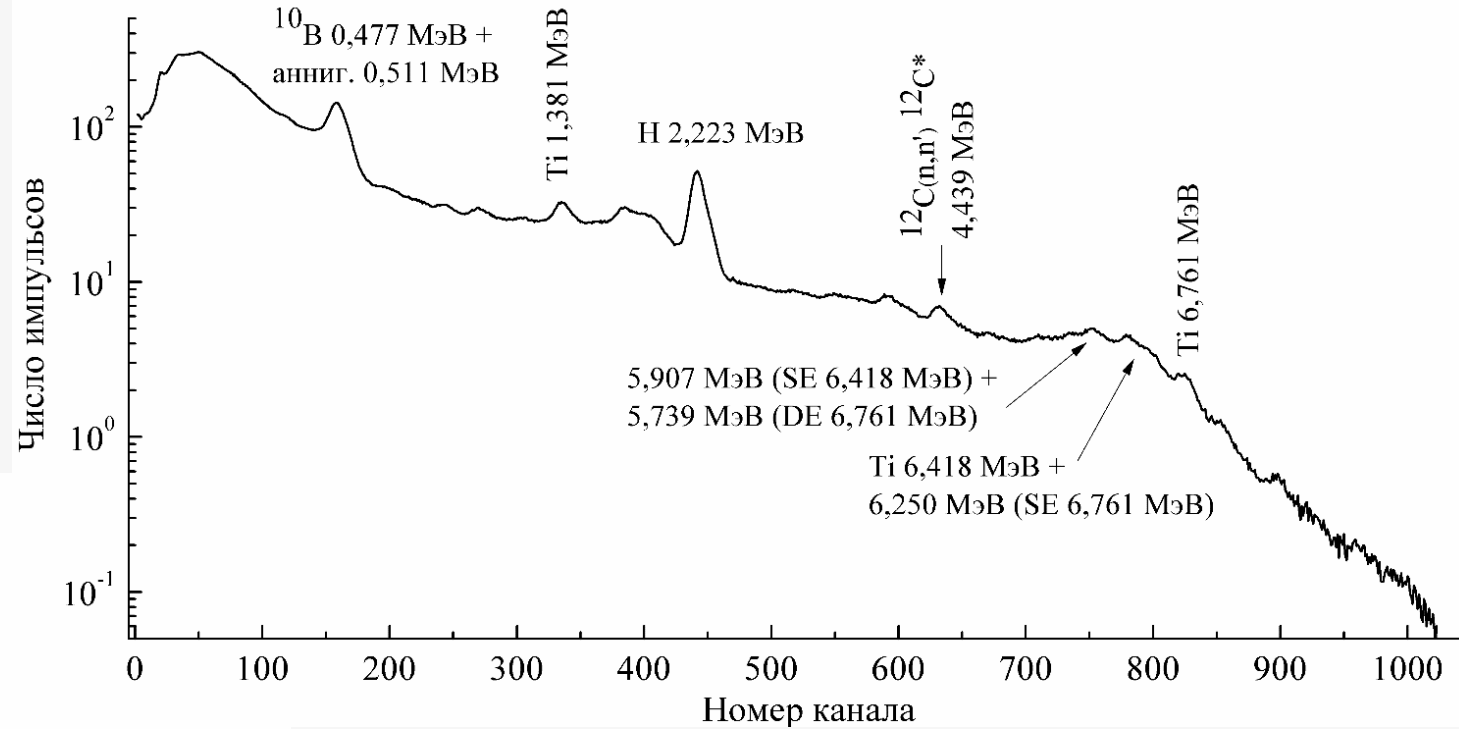
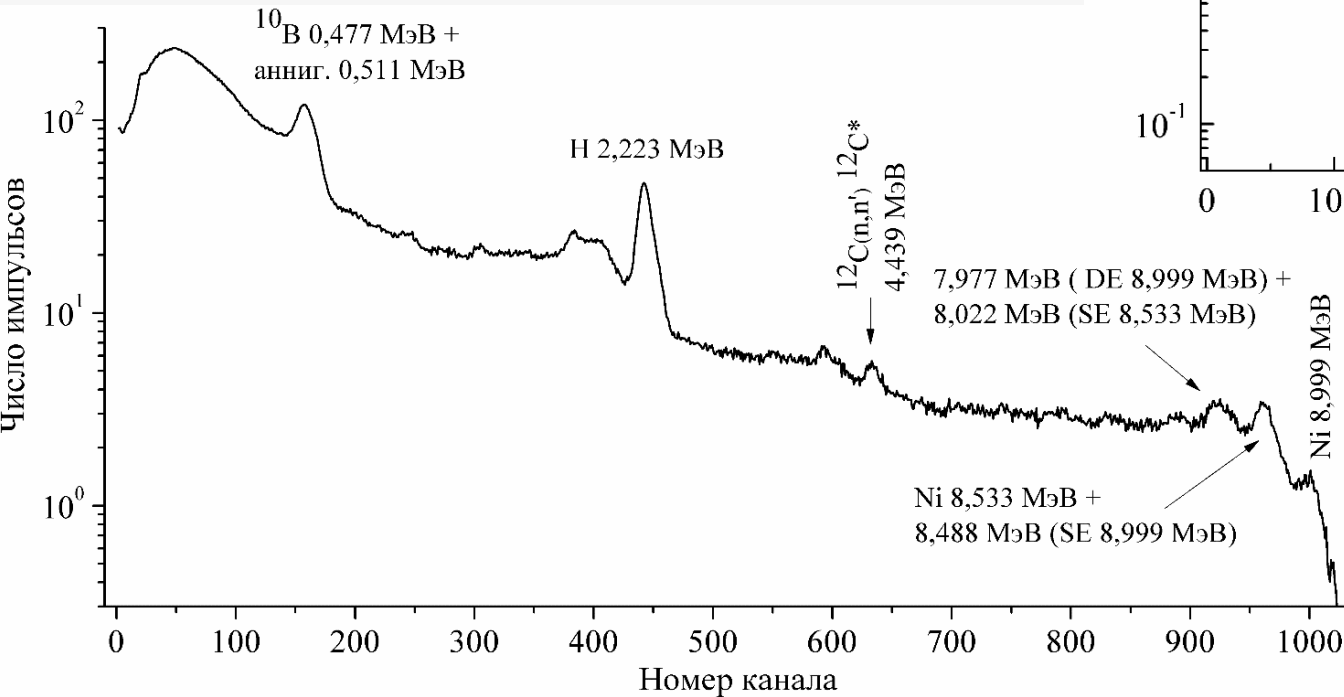
Зависимость «канал-энергия», полученная с использованием мишеней из титана, никеля, открытого источника $^{238}\text{Pu-Be}$ и линий собственной радиоактивности детектора $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$

Градуировочная характеристика может быть получена без использования источников ОСГИ

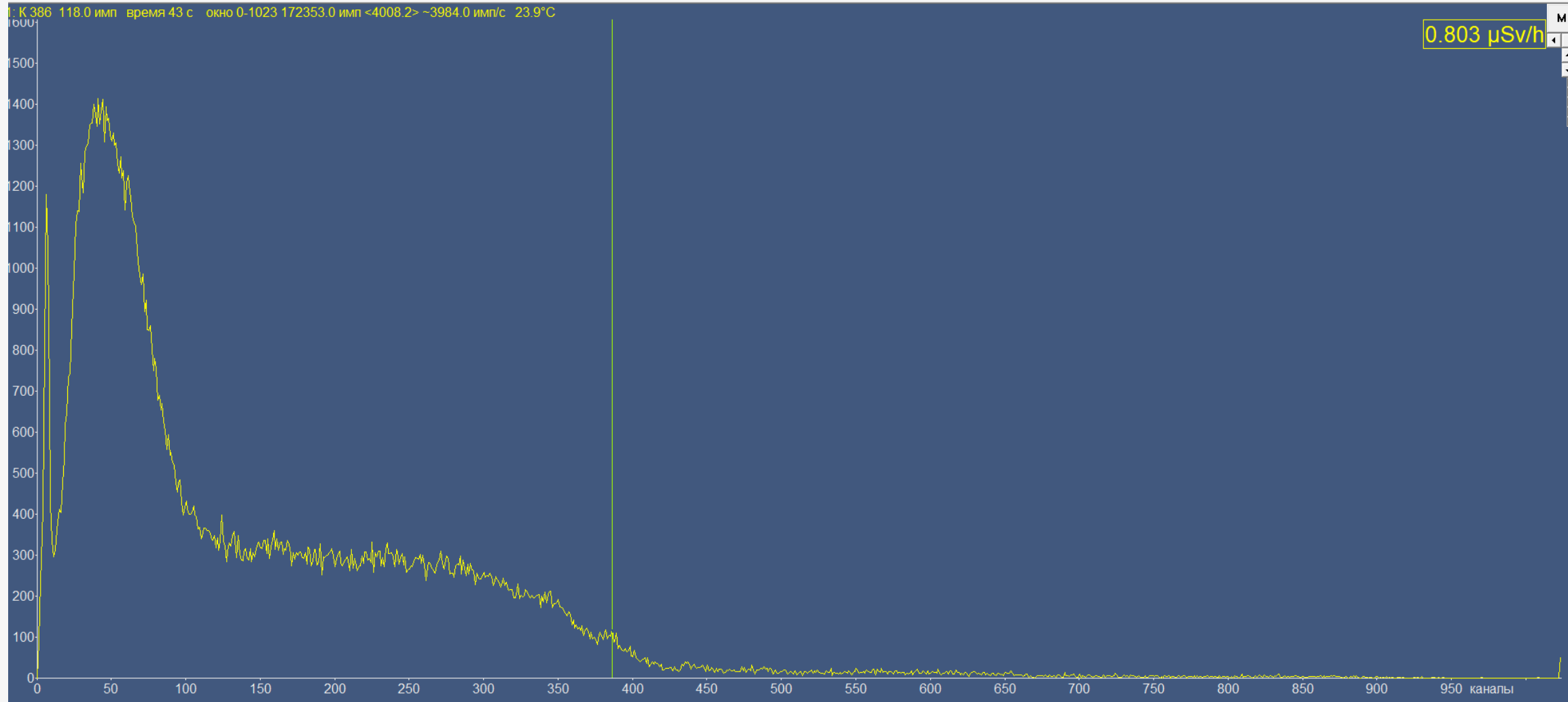
Мишень из титана



Мишень из никеля



В аналогичных условиях были проведены измерения с использованием сцинтилляционного блока детектирования с кристаллом NaI(Tl) диаметром 63 мм и высотой 160 мм



При облучении нейтронами происходит активация кристалла NaI(Tl), что делает некорректными измерения в смешанных гамма-нейтронных полях

Для определения дозиметрических характеристик поля высокоэнергетического захватного гамма-излучения планируется использовать эталонного дозиметра ДКС-АТ5350/1 с ионизационной камерой ТМ32002



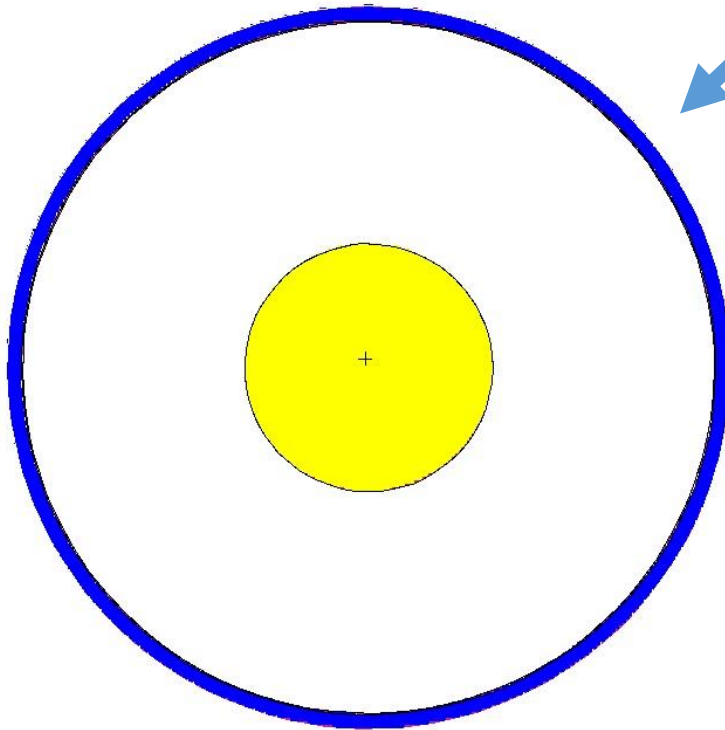
Камера имеет рабочий
объем 1 л.

Для оценки энергетической зависимости чувствительности ионизационной камеры ТМ32002 в области высоких энергий было проведено Монте-Карло моделирование

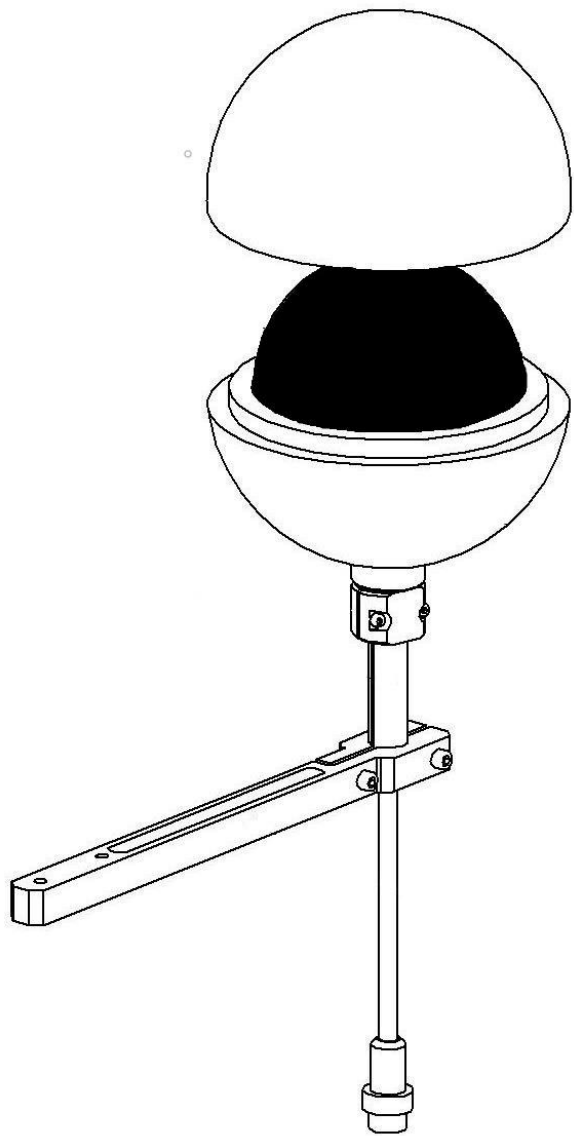
Монте-Карло модель камеры

По результатам Монте-Карло моделирования энергетическая зависимость чувствительности камеры на энергиях от 3 МэВ до 10 МэВ составляла 0,5 – 0,7 относительно ^{137}Cs .

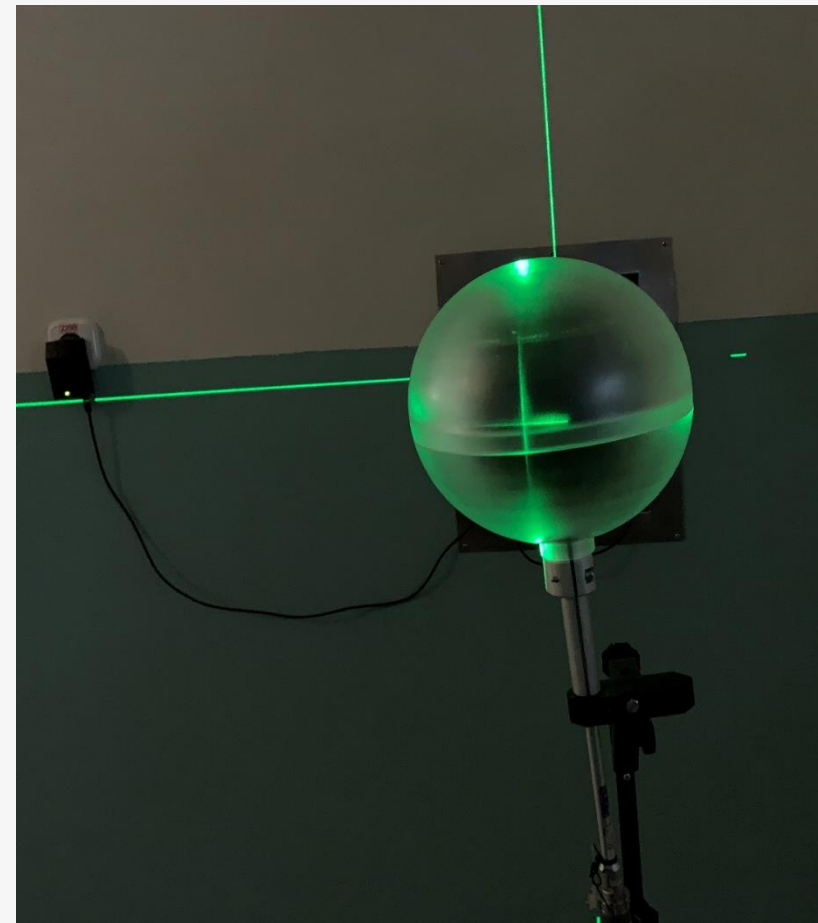
Для корректных измерений в полях высокоэнергетического гамма-излучения с камерой ТМ32002 для нее была изготовлена **специальная оболочка из тканеэквивалентного материала (РММА)**, обеспечивающая условия электронного равновесия в рабочем объеме камеры. Размеры оболочки были определены исходя из результатов Монте-Карло моделирования.



Проверка работы камеры с оболочкой на установке УДГ-АТ130



Были проведены эксперименты на медицинских ускорителях электронов, расположенных на территории Беларуси, в различных энергетических режимах вплоть до энергии 18 МэВ



В результате проведенных экспериментов было подтверждено значительное (40-60%) увеличение чувствительности ионизационной камеры со специальной оболочкой в высокоэнергетических полях

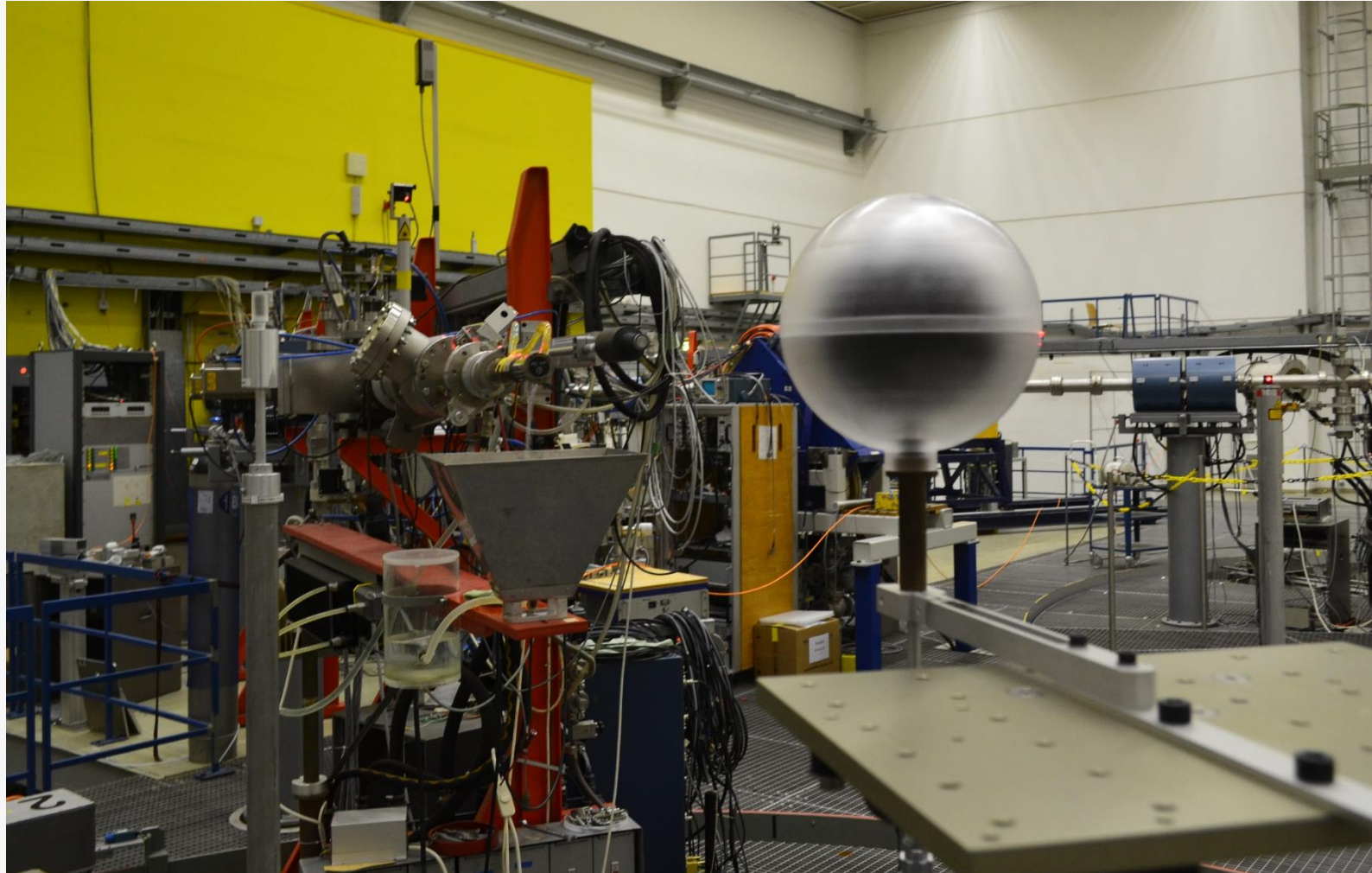


ATOMTEX[®]

Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля

Контрольная проверка перед отправкой в РТВ





В июне 2019 года на территории лаборатории физико-технического федерального института РТВ в городе Брауншвейг в Германии была проведена калибровка эталонного дозиметра ДКГ-АТ5350/1 с камерой ТМ32002 в полях гамма-излучения с энергиями 4,4 МэВ и 6,7 МэВ

Формируемые в РТВ поля гамма-излучения:

R – C: 4,44 МэВ реакция $^{12}\text{C}(p, p' \gamma)$

R – F: 6,13 МэВ реакция $^{19}\text{F}(p, p' \gamma)$

R-C Почти моноэнергетическое поле гамма-излучения с энергией 4,439 МэВ на мишени из углерода толщиной 2 мм

R-F Поле с энергиями, близкими к излучению реакции $^{16}\text{O}(n, p)^{16}\text{N}$ на АЭС. Мишень представляет собой тонкий слой CaF_2 , плотностью 6-7 мг/см², нанесенный на углеродную подложку. Средняя энергия составляет 6,7 МэВ.

Поле излучения	Ядерная реакция	E_γ , МэВ	Отн. плотность потока, %	Отн. керма, %
R – C	$^{13}\text{C}(p, n)$	0,511	1,7	0,3
	$^{13}\text{C}(p, p' \gamma)$	3,111	0,9	0,7
	$^{12}\text{C}(p, p' \gamma)$	4,443	97,4	99,0
R – F	$^{19}\text{F}(p, p' \gamma)^{19}\text{F}$	0,110	12,0	0,4
		0,197	21,3	1,6
		1,235	1,0	0,4
		1,353	1,2	0,6
		1,451	0,5	0,3
	$^{19}\text{F}(p, \alpha \gamma)^{16}\text{O}$	6,130	15,2	21,5
		6,920	14,4	22,1
		7,120	34,4	53,1



Neutron dose

The R-C radiation field (nominal mean photon energy: 4.4 MeV) contains a significant fraction of neutrons. For the irradiations listed in the table above, the additional dose due to neutrons is $H^*(10)_n = H_p(10)_{ph} \cdot 0.56$.

The R-F radiation field (nominal mean photon energy: 6.7 MeV) is almost neutron-free. For the irradiations listed in the table above, the additional dose due to neutrons is $H^*(10)_n = H_p(10)_{ph} \cdot 0.002$.

Нейтронная доза в данном случае имеет прямую зависимость от дозы гамма-излучения.

Отношение мощностей доз нейтронного излучения составляет примерно 300 раз.

Это говорит о крайне низкой чувствительности ионизационной камеры ТМ32002 к нейтронному излучению.

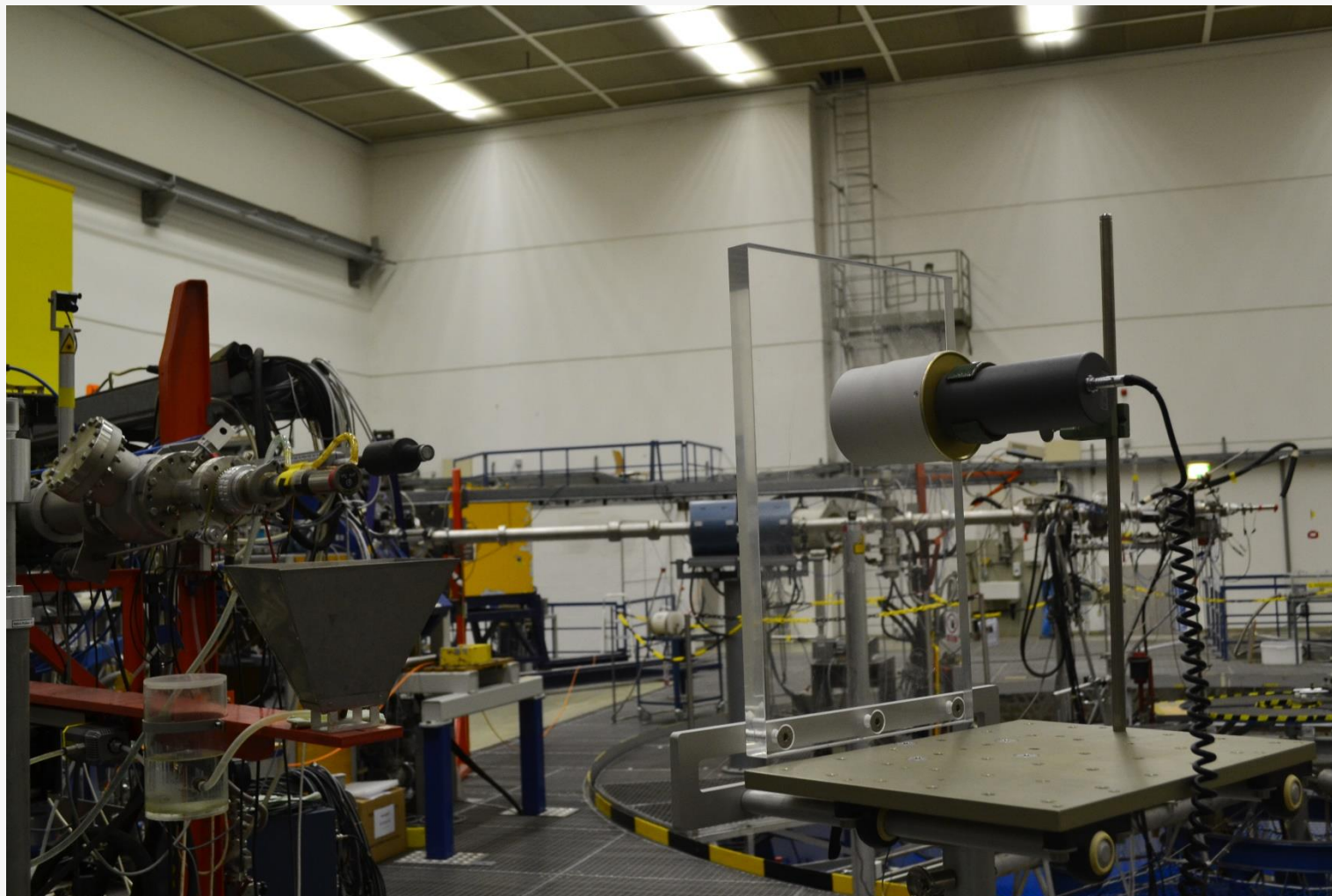


ATOMTEX[®]

Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля

Дозиметрический блок детектирования БДКГ-36

Сцинтиллятор из тканеэквивалентного пластика с размерами $\varnothing 89 \times 89$ мм





ATOMTEX®

Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля

Сертификаты калибровки из РТВ

TM32002



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut



Kalibrierschein

Calibration Certificate

Gegenstand: Ionisationskammer
Object: Ionisation chamber

Hersteller: AT5350/1 TM32002
Manufacturer: ATOMTEX SPE PTW-Freiburg
Gikalo str. 5 Lörracher Str. 7
220005 Minsk 79115 Freiburg im Breisgau

Typ: ATOMTEX AT5350/1 with PTW TM32002
Type:

Kennnummer: AT5350/1 S/N: 105105
Serial No.: TM32002 S/N: 0264

Auftraggeber: ATOMTEX SPE
Customer: Gikalo str. 5
220005 Minsk
Belarus

Anzahl der Seiten: 7
Number of pages:

Geschäftszeichen: PTB-6.3-4096592
Reference No.:

Kalibrierzeichen: 60214 PTB 19
Calibration mark:

Ort der Kalibrierung: PTB Braunschweig
Location of calibration:

Datum der Kalibrierung: 25.06.2019 – 26.06.2019
Date of calibration:

Im Auftrag: Braunschweig, 04.07.2019 **Im Auftrag:**
On behalf of PTB *On behalf of PTB*

Siegel:  **Siegel:** 

Dr. Hayo Zutz **Christian Fuhg**

301 008 0

Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Dieser Kalibrierschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die kalibrierten Gegenstände.
Calibration Certificates without signature and seal are not valid. This Calibration Certificate may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt. The presented results relate only to the items calibrated.



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut



Kalibrierschein

Calibration Certificate

Gegenstand: Ortsdosimeter
Object: Area dosimeter

Hersteller: ATOMTEX SPE
Manufacturer: Gikalo str. 5
220005 Minsk

Typ: AT1117M with BDKG-36
Type:

Kennnummer: AT1117M S/N 17444
Serial No.: BDKG-36 S/N 15168

Auftraggeber: ATOMTEX SPE
Customer: Gikalo str. 5
220005 Minsk
Belarus

Anzahl der Seiten: 7
Number of pages:

Geschäftszeichen: PTB-6.3-4096593
Reference No.:

Kalibrierzeichen: 60215 PTB 19
Calibration mark:

Ort der Kalibrierung: PTB Braunschweig
Location of calibration:

Datum der Kalibrierung: 25.06.2019 – 26.06.2019
Date of calibration:

Im Auftrag: Braunschweig, 05.07.2019 **Im Auftrag:**
On behalf of PTB *On behalf of PTB*

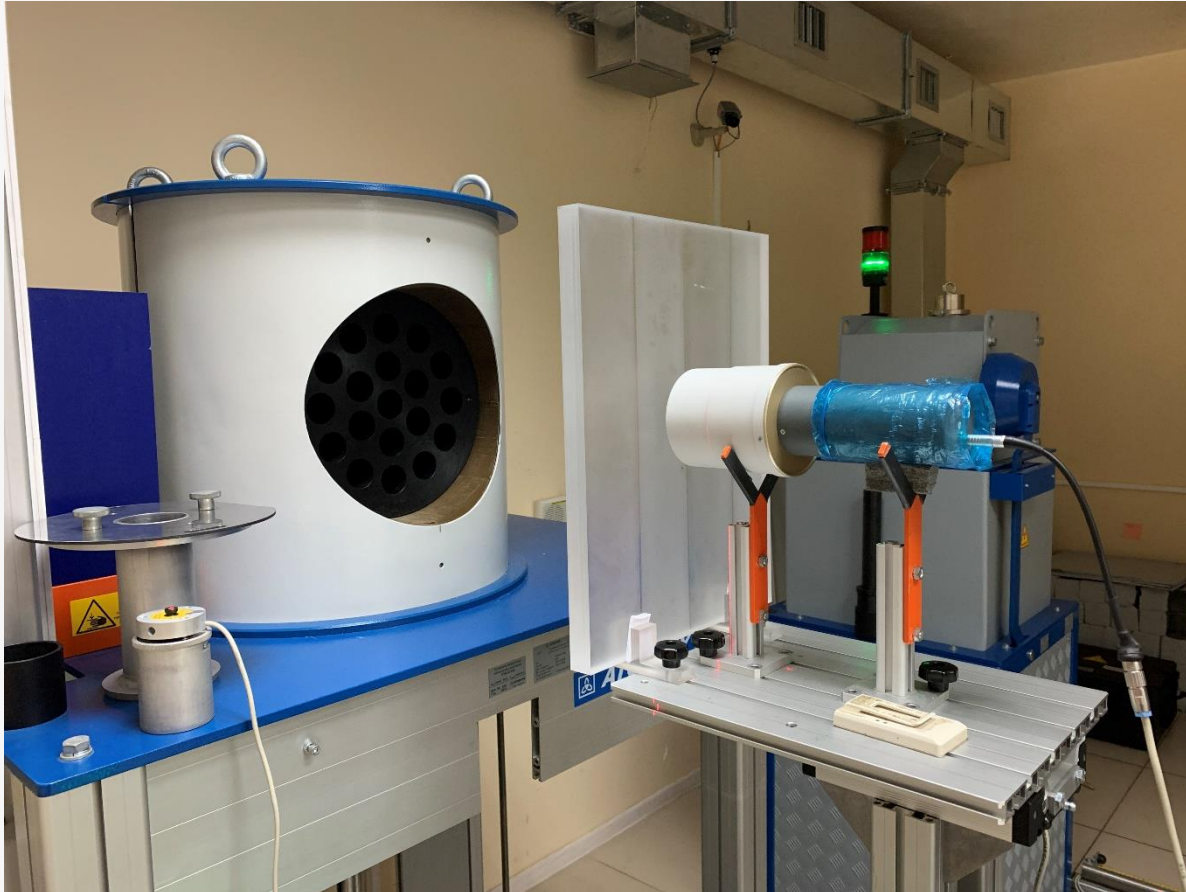
Siegel:  **Siegel:** 

Dr. Hayo Zutz **Christian Fuhg**

301 008 0

Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Dieser Kalibrierschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die kalibrierten Gegenstände.
Calibration Certificates without signature and seal are not valid. This Calibration Certificate may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt. The presented results relate only to the items calibrated.

БДКГ-36



С учетом полученных в РТВ данных по калибровке, измерения были проведены на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140.

Для всех геометрий мощность дозы лежит в пределах **10 – 50 мкЗв/ч.**

Наблюдается хорошее согласование между показаниями снятыми с ионизационной камеры и блока детектирования БДКГ-36

Результаты измерений мощности кермы в воздухе с использованием эталонного дозиметра ДКС-АТ5350/1 с ионизационной камерой ТМ32002

Геометрия	Относительный вклад излучения в энергетическом интервале в общую мощность кермы в воздухе \dot{K}_a , %. Рассчитан методом Монте-Карло.						
	До 1,5 МэВ	1,5-3 МэВ	3-5 МэВ	5-7 МэВ	7-10 МэВ	Расчет. \dot{K}_a , мкГр/ч	Действ. \dot{K}_a , мкГр/ч
“Закрытый” ²³⁸ PuBe источник (до 3 МэВ)	38,6	45,4	8,7	2,7	4,8	14,60	16,15
“Открытый” ²³⁸ PuBe источник (до 5 МэВ)	13,7	12,7	71,8	0,6	1,1	45,90	50,08
Титан (до 7 МэВ)	37,6	28,4	8,6	23,3	2,1	11,22	12,77
Никель (до 10 МэВ)	32,0	28,0	7,0	7,2	25,7	10,19	11,62

Теоретически и экспериментально подтверждена возможность получения и использования поля высокоэнергетического гамма-излучения, формируемого облучателем установки нейтронного излучения УПН-АТ140 с $^{238}\text{PuBe}$ источником нейтронов и мишенями из титана (от 5 до 7 МэВ) и никеля (от 7 до 10 МэВ).

Поле захватного гамма-излучения на установке УПН-АТ140 можно использовать для калибровки разрабатываемых средств радиационной защиты. Существует номенклатурный ряд приборов с различными типами детекторов, которые можно дополнительно исследовать в подобных полях с целью расширения их энергетического диапазона измерений до 10 МэВ.

Планы на ближайшее время

1. Аттестация методики выполнения измерений в поле высокоэнергетического захватного гамма-излучения на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Республика Беларусь
220005, Минск, ул. Гикало, 5
Тел./Факс: +375-17-292-81-42

info@atomtex.com
www.atomtex.com