



РОСАТОМ



РОСАТОМ

«Институт физико-технических проблем»

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ РАДИОДИАГНОСТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ CdZnTe ДЕТЕКТОРОВ

Газизов И.М., Голышев В.Д., Смирнов А.А., Стрекаловский О.В.

ППСР-2019, г.Казань

Наличие экономически обоснованной востребованности

Мотивация проекта



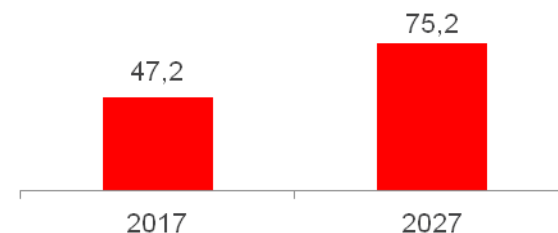
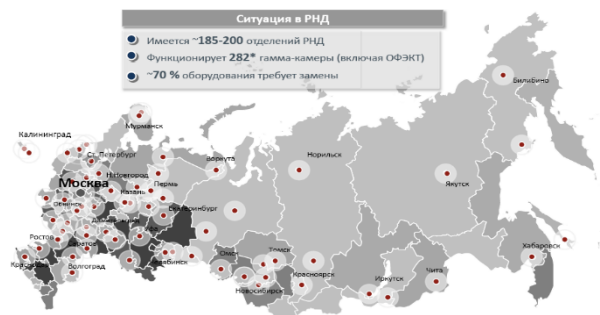
- Состояние рынка медицинского оборудования для радионуклидной диагностики в России (Министерства здравоохранения)

Показатели	Современная ситуация, шт.	Износ оборудования, %	Потребность, шт.
ОФЭКТ томографы	- 150	80	300



Сравнение оснащённостью ОФЭКТ с западными странами

- Распределение отделений радионуклидной диагностики по России

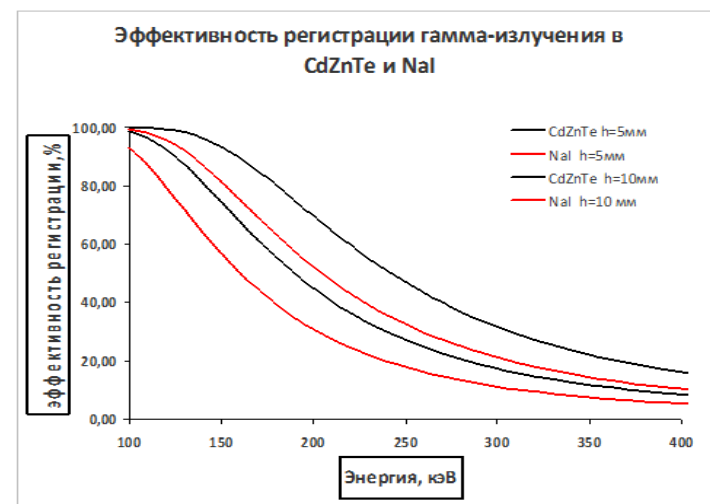


Рост глобального рынка мобильных гамма-камер до 2027г.

- Государственная программа «Развитие здравоохранения». Подпрограмма «Развитие ядерной медицины и лучевой терапии на 2018-2025 гг.

- Внедрение новых детекторных материалов
- Сравнение CdZnTe и NaI гамма-камер

Параметр	Новый материал	Традиционный
	CdZnTe	NaI(Tl)
Zeff	50	50
Плотность г/см ³	5,8	3,67
Энергетическое разрешение (140 кэВ), %	4,5-7	9-12
Энергетическое разрешение (теорет. предел)	1,5	7
Собственное пространственное разрешение, мм	1,6-2,5	4-6
Мертвые зоны	нет	есть
Эффективность регистрации		



Расчет произведен по базе данных XCOM NIST

Электрофизические параметры полупроводниковых материалов

для детекторов ионизирующего излучения



Материал	CdZnTe	CdTe	GaAs	Si	HgI	a-Se
Средний атомный номер	49,1	50	32	14	80,5	34
Плотность, г/см ³	5,78	5,85	5,32	2,33	6,6	4,3
Ширина запрещенной зоны, eV	1,57	1,5	1,43	1,12	2,13	2,2
Энергия образования пары, eV	4,64	4,43	4,2	3,62	4,2	47
Удельное сопротивление, Омсм	$5 \cdot 10^{10}$	10^9	10^7	10^4	10^{13}	10^{12}
Транспортные характеристики, см ² /В	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-5}$	>1	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-9}$
электроны ($\mu\tau$) _e	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-6}$	>1	$4 \cdot 10^{-5}$	10^{-7}
дырки ($\mu\tau$) _h						

Гамма-камеры и ОФЭКТ на основе CdZnTe детекторов



POCATOM

D SPECT, Spectrum Dynamics



Гамма-камера для кардиосцинтиграфии

Discovery NM 750b

Гамма-камера для мамосцинтиграфии
FOV 160 x 240мм



Портативная гамма-камера



ОФЭКТ кардиосканер

NM/CT 570c, GE



Discovery NM/CT CZT (2 дет.)

FOV480x480мм



Табл Сравнение производительности и степени монокристалличности

Метод выращивания Структура	Скорост ь роста, мм/час	Структура	Производители
Метод Рост из расплава при высоком давлении методом Бриджмена Нет затравки	1,0	Поликристалл	1)EI Tecologies Inc. США , диаметр до 250мм 2)Институт монокристаллов, Харьков 3)Eurograd, Франция
Рост из расплава при низком давлении в кварцевом тигле. Методом Бриджмена горизонт.направленной кристалл-и. Нет затравки (как правило)	0,2-0,5	Поликристалл	1)Eurograd, Франция, 2)Brookhaven NL, США, 3)Orbotech Med Solukkions Ltd., 5) АО «Гиредмет» Диаметр до 100 мм
Рост из раствора в расплаве. ТНМ Есть затравка	0,1-0,2	Монокристалл	1)Redlen, Канада 2)Acrorad, Япония. Диаметр 150 мм
Рост кристалла из расплава при высоком давлении инертного газа методом ОТФ. Есть затравка	1-5	Монокристалл	1) ООО «КристалсНорд»



1. Портативная гамма-камера
2. Малоформатная сцинтиграфическая установка (МСУ)
3. интегральные детекторные модули

Как проект решает описанную проблему, в чем новизна подхода:

1. Предлагается создать приборы для радионуклидной диагностики на основе CdZnTe пиксельных детекторов с улучшенным энергетическим разрешением по линии 140 кэВ в 2 раза.
2. В разрабатываемых приборах будет использоваться CdZnTe монокристалл, выращенный по ОТФ технологии. Это даст кратное повышение производительности за счет роста кристалла из расплава при высоком давлении инертного газа, что существенно уменьшит издержки изготовления гамма-камеры. В эквивалентных гамма-камерах используется материал, выращенный методами ТНМ или Бриджмена.

Потенциальные потребители:
отделения радионуклидной диагностики, функционирующие в различных больницах, клиниках и онкологических диспансерах

Проблема потребителя:

- 1) отсутствие качественного и высокотехнологичного оборудования российского производства
- 2) Высокая стоимость приборов радионуклидной диагностики на CdZnTe детекторах

Сравнение портативных гамма-камер

Альтернативные продукты/ решения	Ключевые собственные характеристики портативной гамма-камеры				
	Энергетическое разрешение (ПШПВ),%	Собств.простр разрешение, мм	Интеграл. нелинейн. %	FOV,мм	Детектирующий элемент/метод выращ. CdZnTe
Портативная гамма-камера (проект)	6,5	2,5	3	80x80	/ОТФ
Sentinella S102 («Oncovision»)	17	1,8	9	40x40	CsI(Tl) PS-PMT
Node View («Inter Medical Imaging»)	12	1,1	-	40x40	NaI(Tl) PS-PMT
CrystalCam («Crystal Photonic»)	7	2,5	3,2	40x40	/ТНМ

Сравнение малоформатных гамма-камер

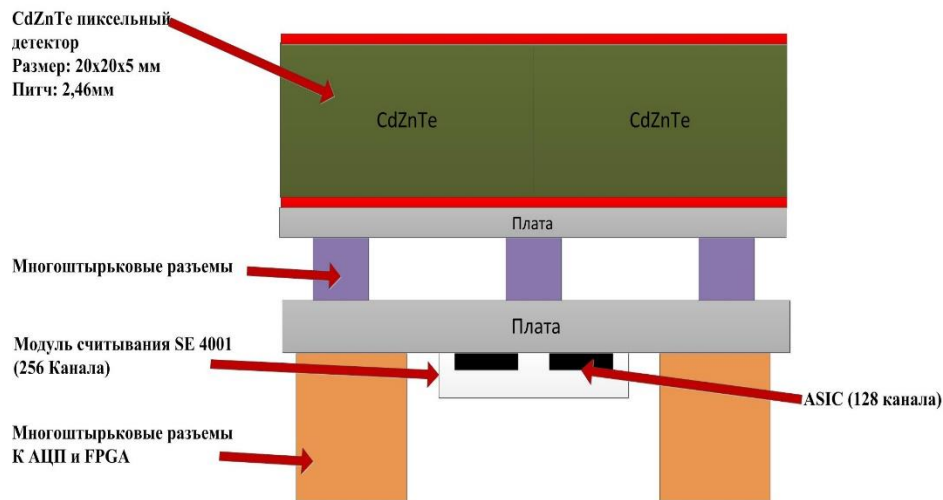


РОСАТОМ

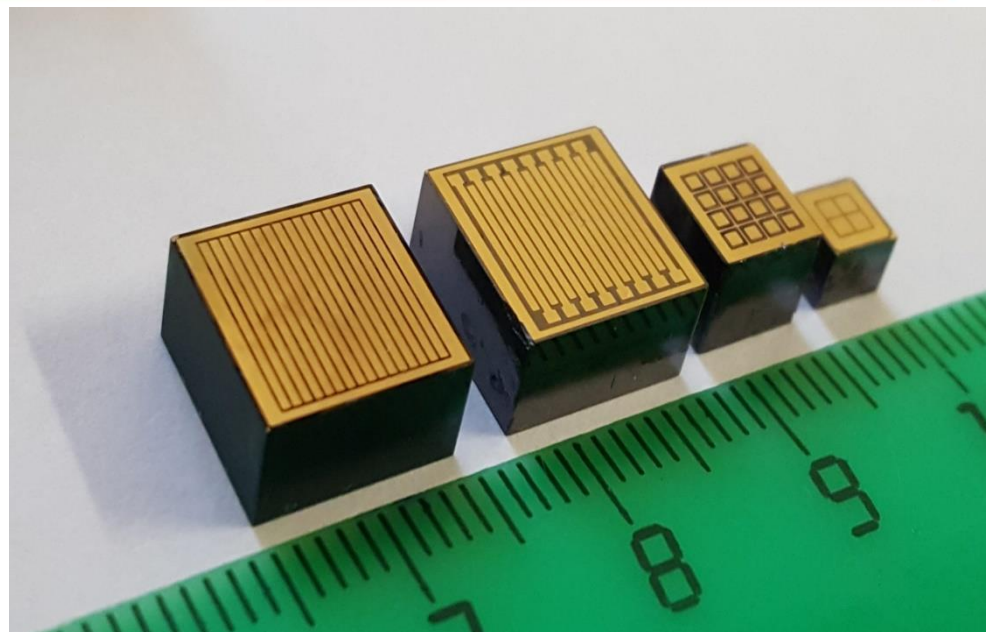
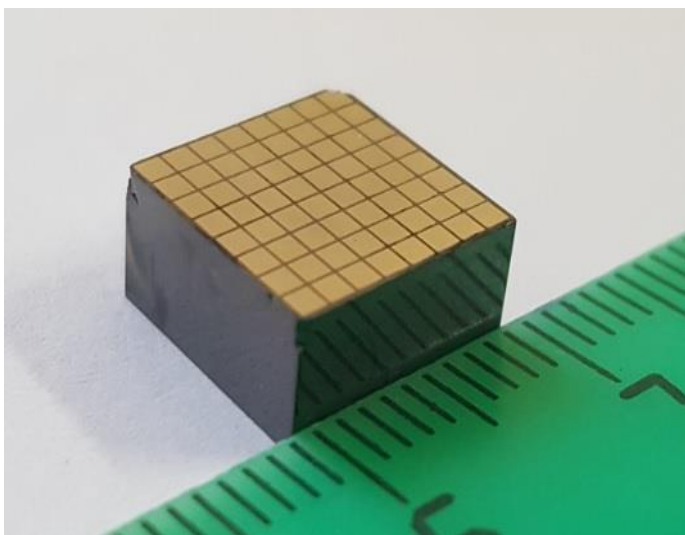
Альтернативные продукты/ решения	Ключевые собственные характеристики малоформатной гамма-камеры				
	Энергет. разрешение (ПШПВ), %	Собств.простр разрешение, мм	Интегр. нелинейн %	FOV,мм	Детектирующий элемент/метод выращ. CdZnTe
Малоформатная сцинтиграф. установка	6,5	2,5	3	160x240	/ОТФ
Nucline TH-33 («Mediso»)	12	3,9	3	215x215	NaI(Tl)- PMT
Ergo («Digirad»)	8	3,3	8,5	400x300	Сегмент. CsI(Tl)- Si ФД
Discovery NM 750b («GE Healthcare»)	6,5	2,5	3	160x240 (2 дет.гол.)	/метод Бриджмена.

Интегральный модуль портативной CdZnTe гамма-камеры

- **Размер модуля 40x40мм**
- **Количество CdZnTe детекторов - 4**
- **Количество пикселей -1024**
- **Интегральная схема ASIC IDE4184**



Разработка пиксельных и стриповых CdZnTe детекторов в АО «ИФТП»



- 16-пиксельный CdZnTe детектор 6x6x5мм
- 4-пиксельный CdZnTe детектор 4x4x3 мм
- 16-стриповые CdZnTe детекторы 10x10x5мм
- 64- пиксельный CdZnTe детекторы 10x10x5мм

- CdZnTe 16- пиксельный детектор 6x6x5мм
- Средний ток утечки $I_{cp} = 46,4$ пА $\sigma = 7,5$ пА
- Межпиксельное сопротивление более 10Гом

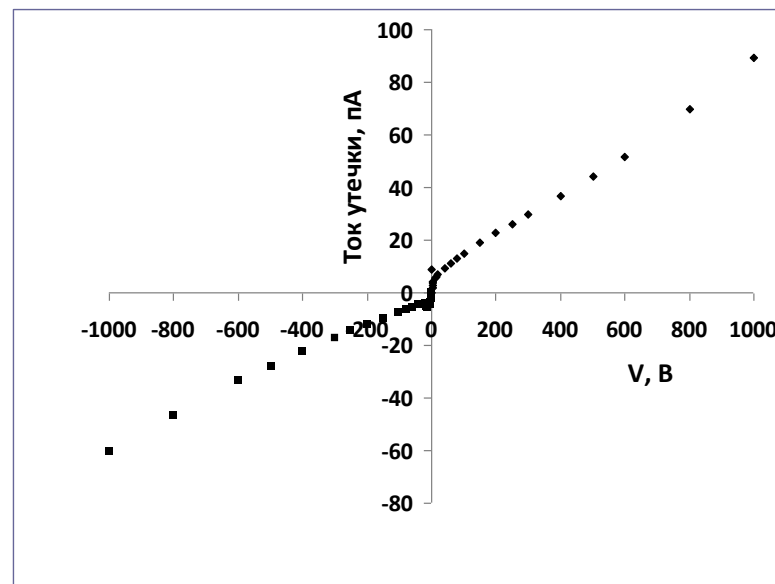
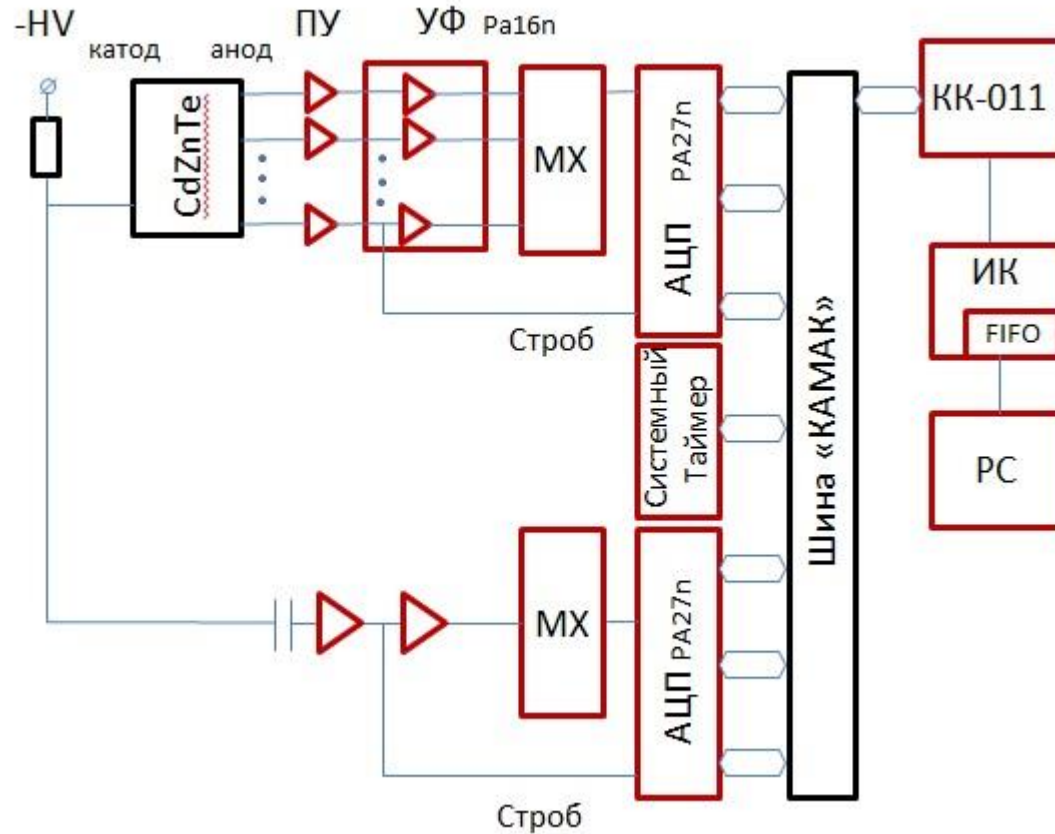


Рис . ВАХ единичного пикселя

Многоканальная система регистрации и обработки данных

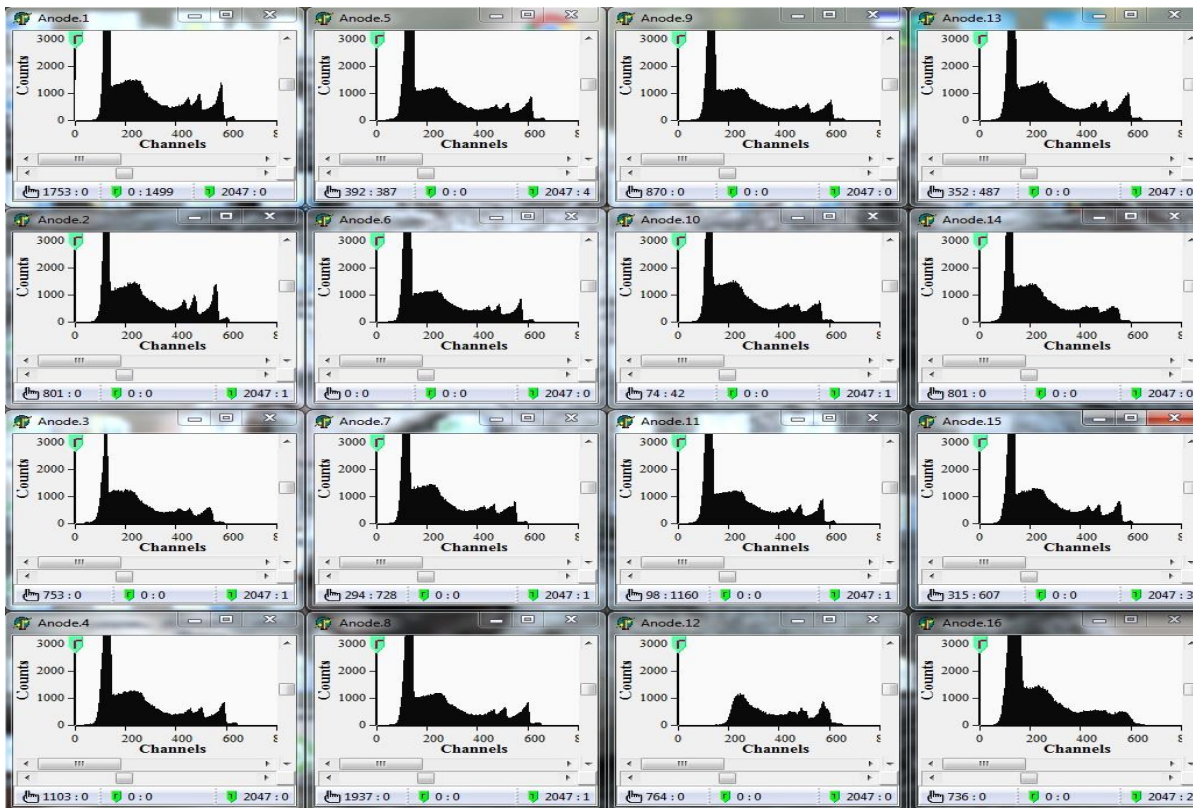


- Запись энергии, адреса и времени каждого события с анодов и катода
- Вывод данных через 32-битную PCI шину с FIFO буферизацией
- МХ-мультиплексор; ИК-интерфейсная карта; КК-011 – контроллер крейта «КАМАК»

Амплитудные спектры Ва-133 16-пиксельный CdZnTe детектор 6x6x5 мм



POATOM



Особенности программы система регистрации, накопления, обработки и визуализации данных МСР1.0

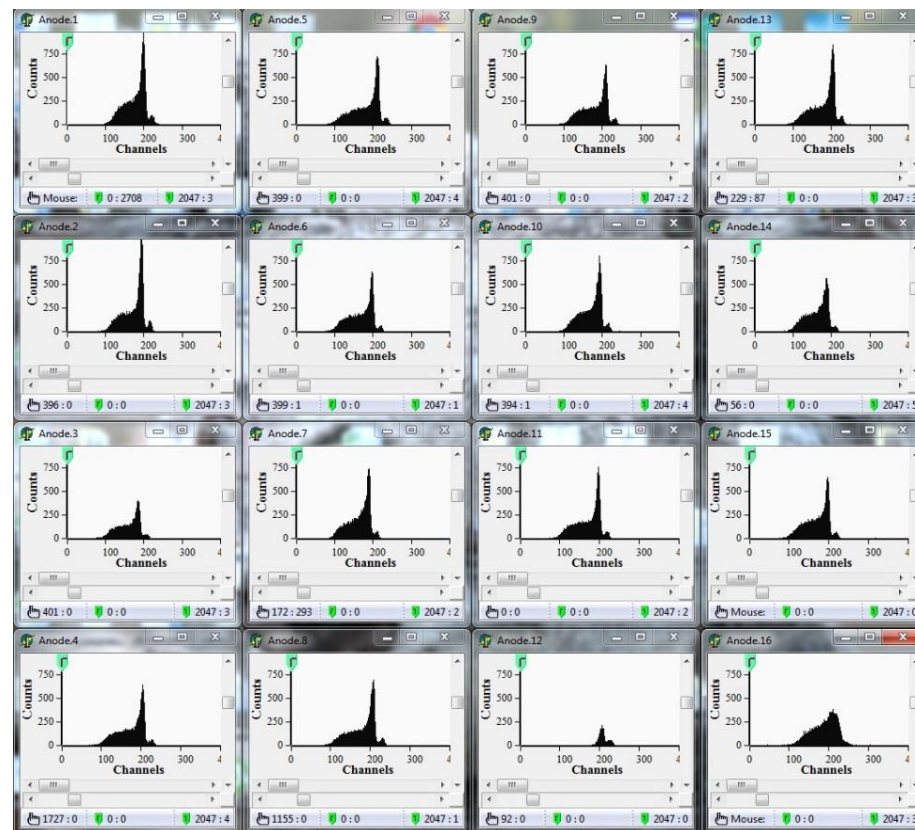
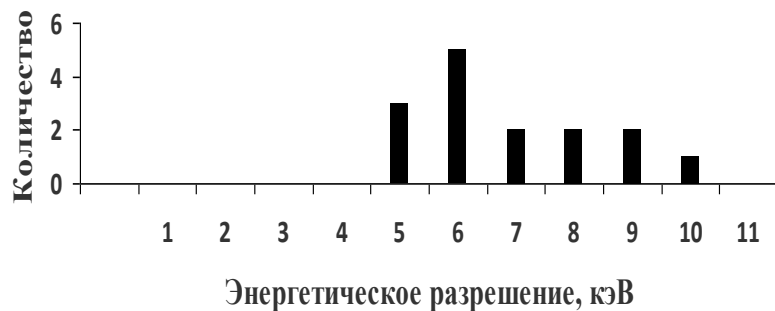
- Одно- и двумерные спектры; карты распределений величин
- Автоматический расчет параметров спектра: скорости счета, интеграла, ПШПВ и др.
- Таблицы событий

Амплитудные спектры Co-57 16-пиксельный CdZnTe детектор 6x6x5 мм



POATOM

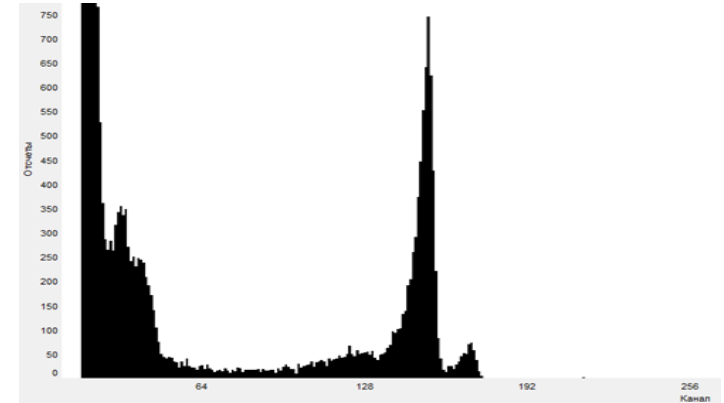
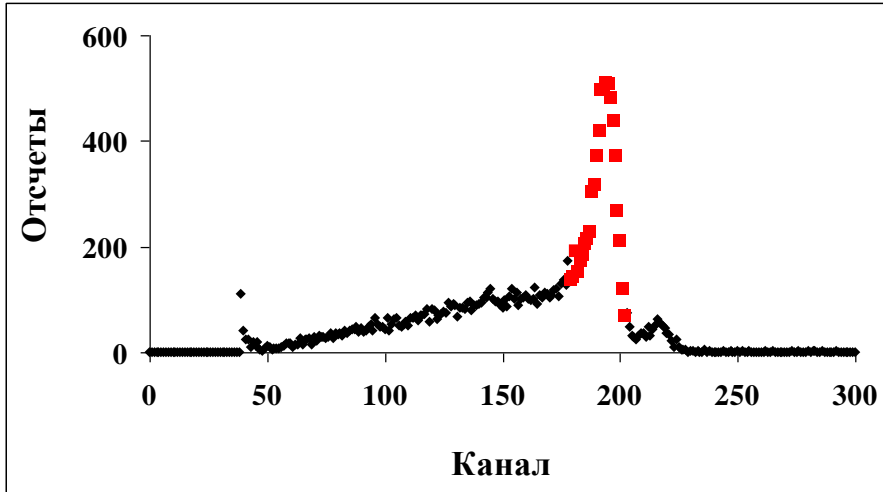
Распределение энергетического разрешения для энергии 122 кэВ по пикселям CdZnTe детектора



- CdZnTe 16- пиксельный детектор 6x6x5мм
Размер пикселя 1x1мм
Напряжение 900В Время формирования 1 мкс
- Среднее ПШП $\Delta E_{cp} = 7,6$ кэВ (6,2%); $\delta = 1,6$ кэВ
- Лучшее ПШП $\Delta E = 6,0$ кэВ (4,9%)

Исследование спектрометрических характеристик 16-пиксельного CdZnTe детектора

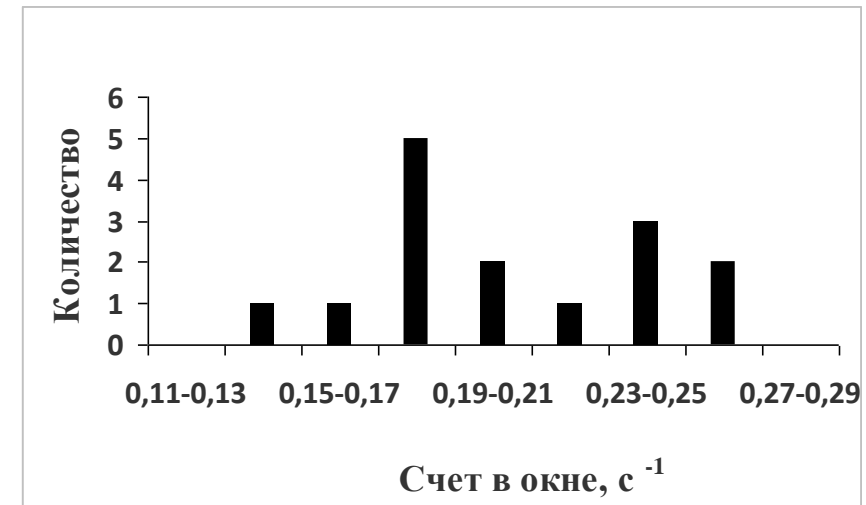
Типичный энергетический спектр радионуклида Co-57



Энергетическое разрешение
по линии 122кэВ 6,9 кэВ (5,7%)

Распределение скорости счета по
пикселям

Неоднородность счета



Относительная эффективность регистрации 16 пиксельного CZT детектора



Эффективность регистрации в фотопике 122 кэВ

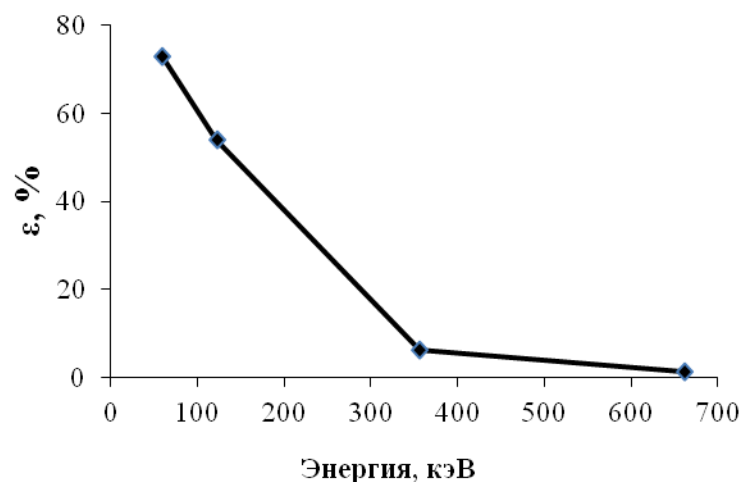
$$\varepsilon = \frac{N_{122}}{N_{\text{ex}}}$$

$\varepsilon = 54 \%$ энергетическое окно $E=12\%$

Чувствительность регистрации s

$$s = \frac{N_{122}}{N_{40-129}}$$

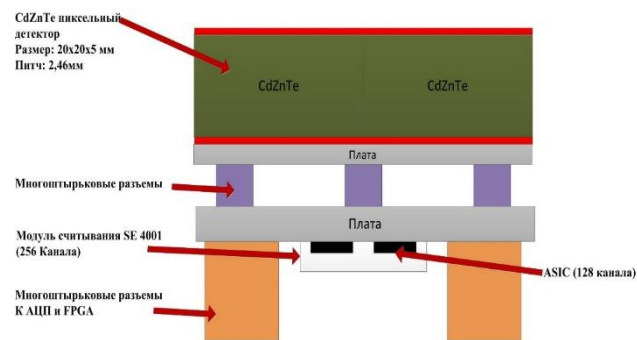
$s = 64 \%$ энергетическое окно $E=12\%$



относительная эффективность регистрации гамма-излучения 16-пиксельным CdZnTe детектором размером 6х6х5 мм³.

Основные технические и конструктивные параметры пиксельных CdZnTe детекторов

- размер(включая допуск): 19,42x19,42мм² ;
- толщина (включая допуск): 5мм;
- конфигурация детектора: 8x8пиксельный детектор;
- Шаг пикселей (номинальный): 2,46мм;
- Размеры анода (номинальный): 2,2x2,2мм;
- энергетическое разрешение (ПШПВ) по линии 122кэВ (Со-57): не более 7% (в среднем по детектору);
- Диапазон допустимых напряжений: 200-1000В;
- Рабочее напряжение: 500В;
- Ток утечки при рабочем напряжении: не более 1нА;
- Межпиксельное сопротивление: более 1ГОм;



Требования к электрофизическим характеристикам монокристаллов CdZnTe



1. транспортные характеристики электронов $\mu\tau_e$ не менее 4×10^{-3} см²/В;
2. удельное сопротивление более 7×10^{10} Омсм;
3. Контроль однородности по распределению центров захвата носителей.
(энергетическое разрешение по линии 5157 кэВ менее 3%;

Зависимость энергетического разрешения от потерь заряда

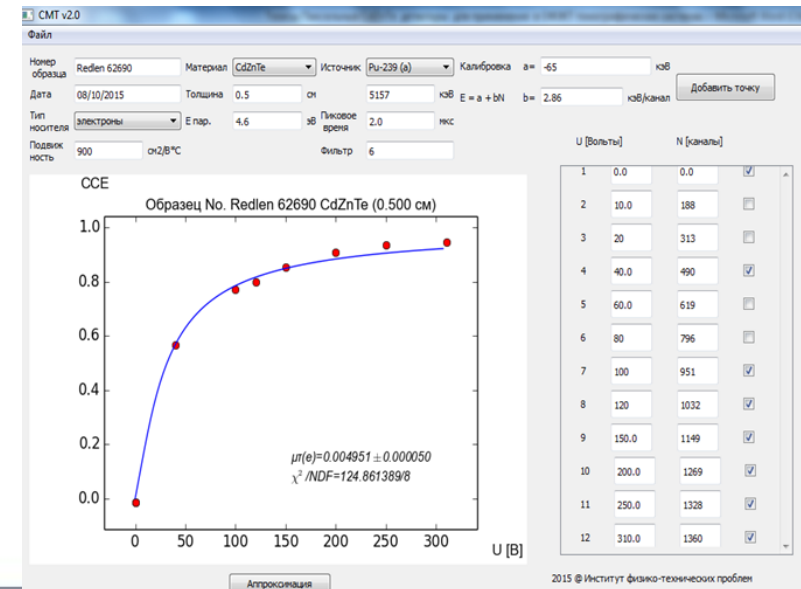
$$\eta = F(\lambda) \lambda_{ср} E_\gamma$$

$\lambda_{ср}$ - средние потери заряда

$F(\lambda)$ - показатель неоднородности, $F=0,2$

$$\lambda_{ср} = \frac{h}{3\mu\tau E}$$

Определение транспортных характеристик носителей детектора $\mu\tau$ по уравнению Гехта



-Оценка систематической чувствительности S

$$S = B\varepsilon_{\text{расч}}$$

$$\varepsilon_{\text{расч}} = \frac{D^2}{4\pi L^2} \frac{D^2}{(D + T)^2}$$

Таблица Расчетная системная чувствительность малоформатной гаммы-камеры

Тип коллиматора	Системная чувствительность, имп/мин/мкКи	Системная чувствительность, имп/мин/мкКи (364 кэВ)
LEHR	379	-
LEHS	858	-
HEGP	47,8	8,8

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРТАТИВНОЙ ГАММА-КАМЕРЫ



- Энергетический диапазон: 40-250 кэВ.
- Размер поля визуализации: 80x80мм²
- Системная чувствительность для Тс-99m (Со-57)
620 имп./с МБк (коллиматор LENS)
- Число пикселей: 1024;
- собственное энергетическое разрешение пикселей по линии 140 кэВ (Тс-99m): не более 7%;
- Интегральная неоднородность не более 3%;
- Собственное пространственное разрешение: 2,5мм;
- Температурный диапазон: 15-40°С
- Вес не более 1,5-2кг предположительно, возможно меньше;
- Размер не более 120x120x200 мм;

Портативная CdZnTe гамма-камера с размером поля визуализации: 80x80мм²

СОСТАВ ИЗДЕЛИЯ:

- А Портативная гамма-камера на основе CdZnTe пиксельных детекторов
- В Сменный вольфрамовый коллиматор
- С Стойка
- Д Ноутбук



Особенности ПГК

- CdZnTe детектор гамма-излучения имеет более лучшее энергетические разрешение по сравнению со сцинтиляционными детекторами;
- Применение CdZnTe детектора позволяет получать более контрастное изображение с лучшим пространственным разрешением
- Сменный блок коллиматора



РОСАТОМ

Благодарю за внимание!

141980 г. Дубна Московской обл. ул. Курчатова 4, АО «ИФТП»

тел.: /49621/ 70645

E-mail: iftp@dubna.ru www.iftp.ru