Позиционно-чувствительные детекторы для портативных гамма-камер. Универсальные детекторы Медипикс

Иванов Олег Петрович

НИЦ Курчатовский Институт

Цель – познакомить с универсальным позиционно-чувствительным полупроводниковым детектором Медипикс

Тезисы

Портативная гамма камера: объектив (обскура, маска)+ детектор

Детектор – позиционно-чувствительный детектор X- и гамма излучения

С энергетическим разрешением или нет

Портативный! 20 лет истории - Сцинтиллятор +усилитель света + (фото) регистратор Диаметр 40 мм

Новое время - полупроводниковые (комнат температура) ПЧД

Разные полупроводниковые .

Промышленный серийный детектор сейчас только один - Медипикс

Детекторы Медипикс

Детектор : ASIC 2 порога + кристалл

Разные способы получения сигнала

Настройки - выравнивание порогов

Моды работы Count, ToT, ToA

Примеры изображений Треки, ядерные события

Спектральные возможности – калибровка по энергии, примеры спектров

Задачи – для кафедры МИФИ :

1- быстрый алгоритм получения спектра

2- быстрый алгоритм фиксации/устранения треков из теневых картин

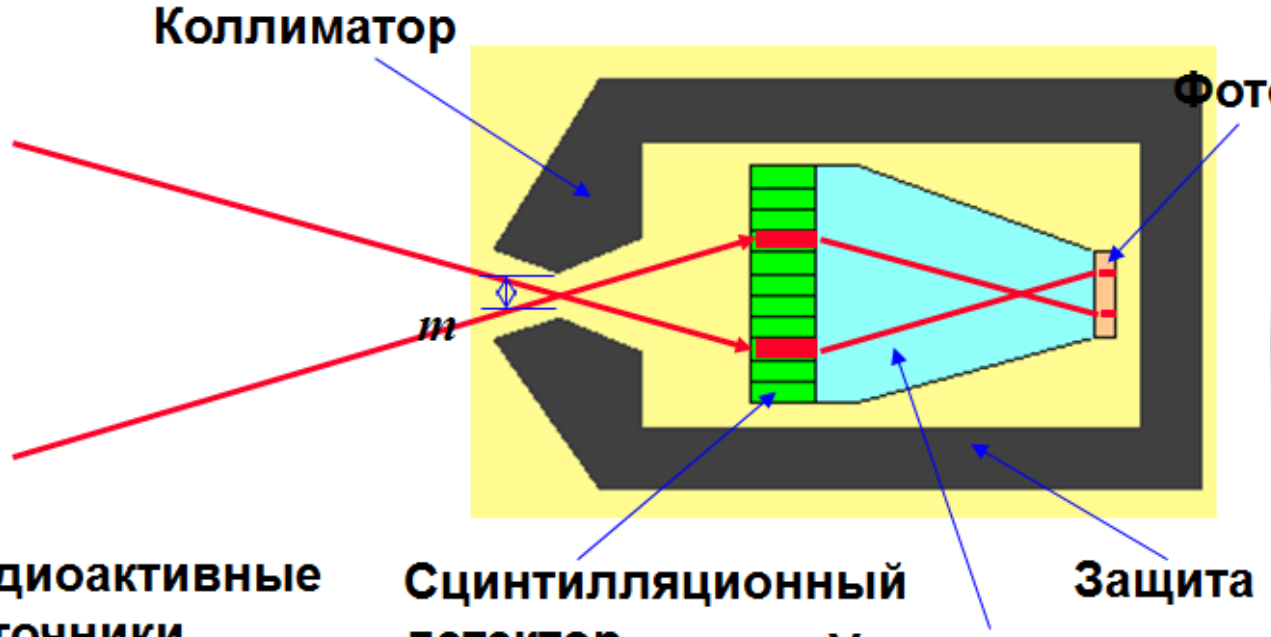
(необходимы для использования в новой камере!)

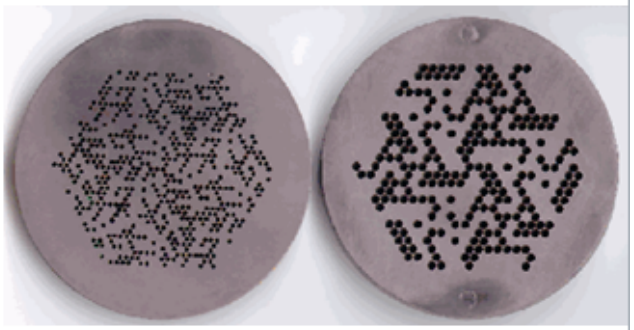
Другие направления

Комптоновская камера на основе 2–х детекторов Медипикс

Исследование β β распада

Построение изображения на детекторе – «Объектив»





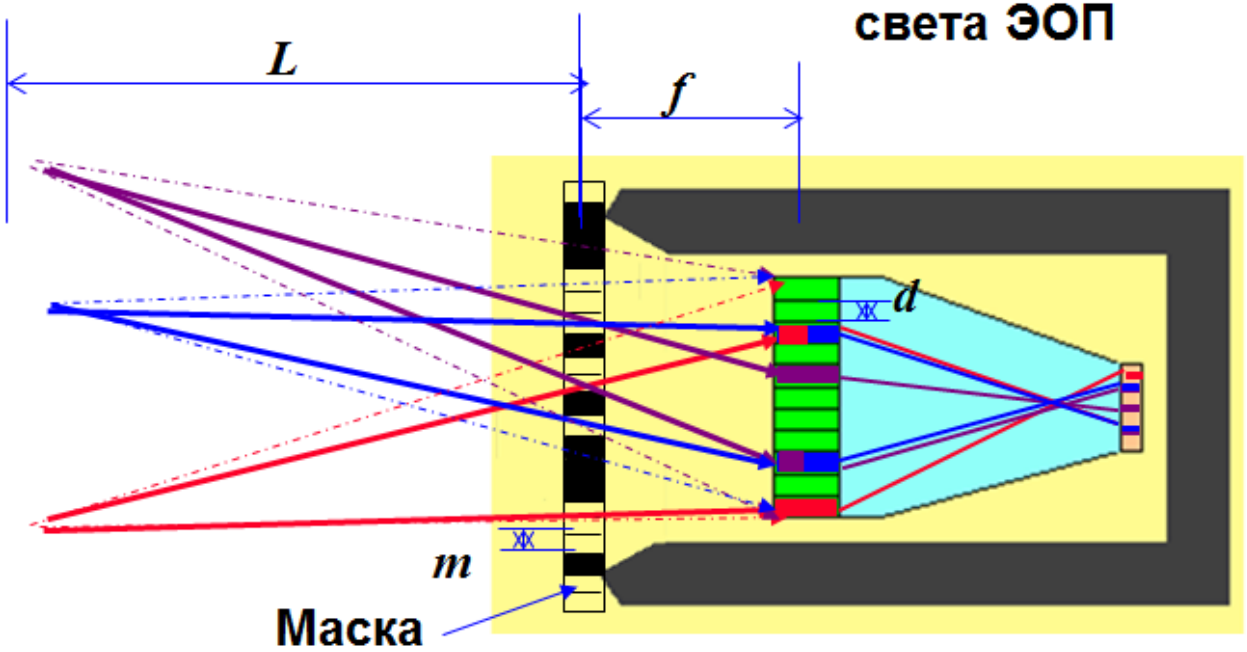
$\delta\Omega = m/f$

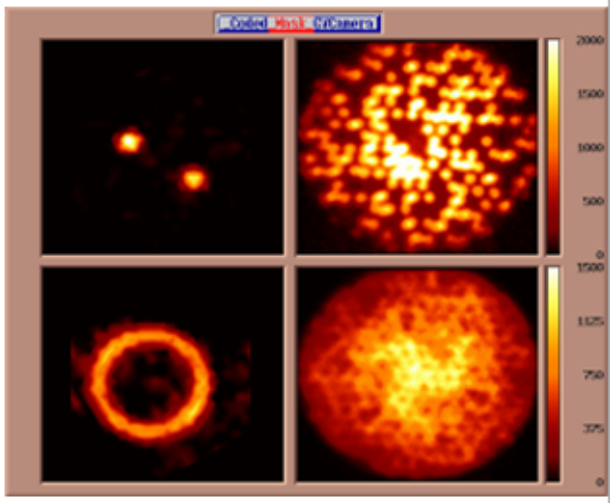
$d = m \cdot (L+f)/L$

$h = d \cdot L/f$

$\Omega = m(2R+1)/f$

$\delta\Omega = m/f$





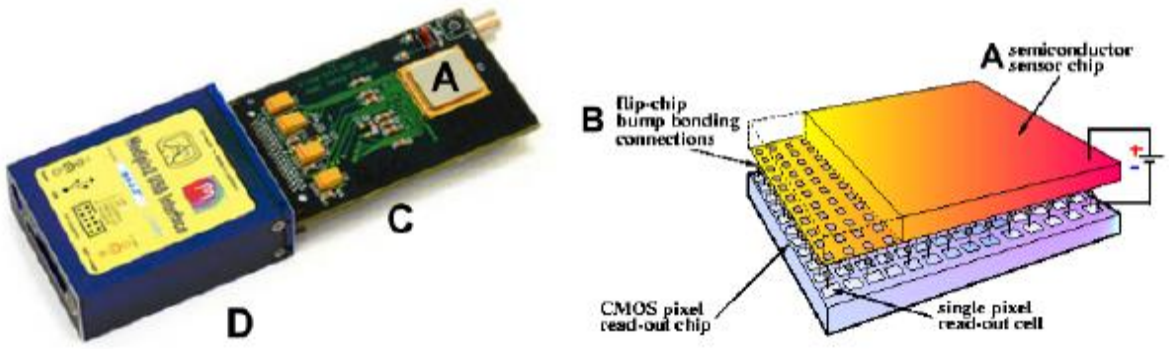
Детектор Medipix2 с кристаллом CdTl 2мм и кодирующие маски используются в

трех портативных камерах

Прототип КИ

Camera iPIX, Canberra

Camera FVCM, Doza



(a) (b)

Figure II.8: (a) The Timepix detector E04W0083 with a USB-readout. (b) The structure scheme of a Timepix detector: A - the sensor layer; B - the ASIC with bump-bonds; C - the chipboard with electronics; D - the USB-readout.

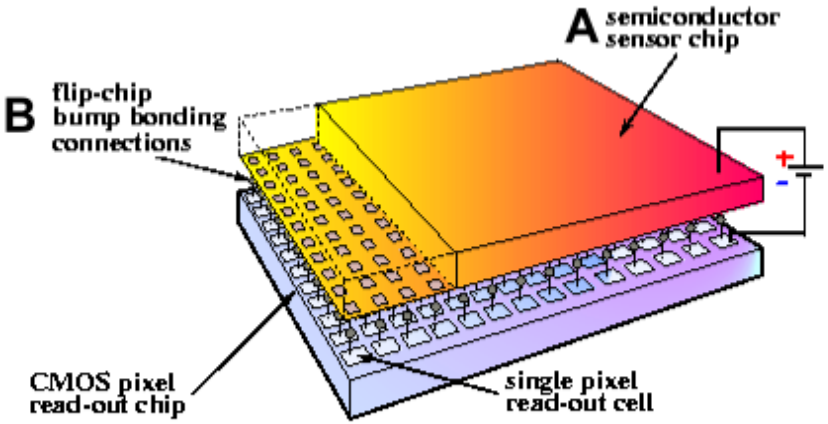


Рис. 1 Схема расположения детектирующего кристалла и электроники

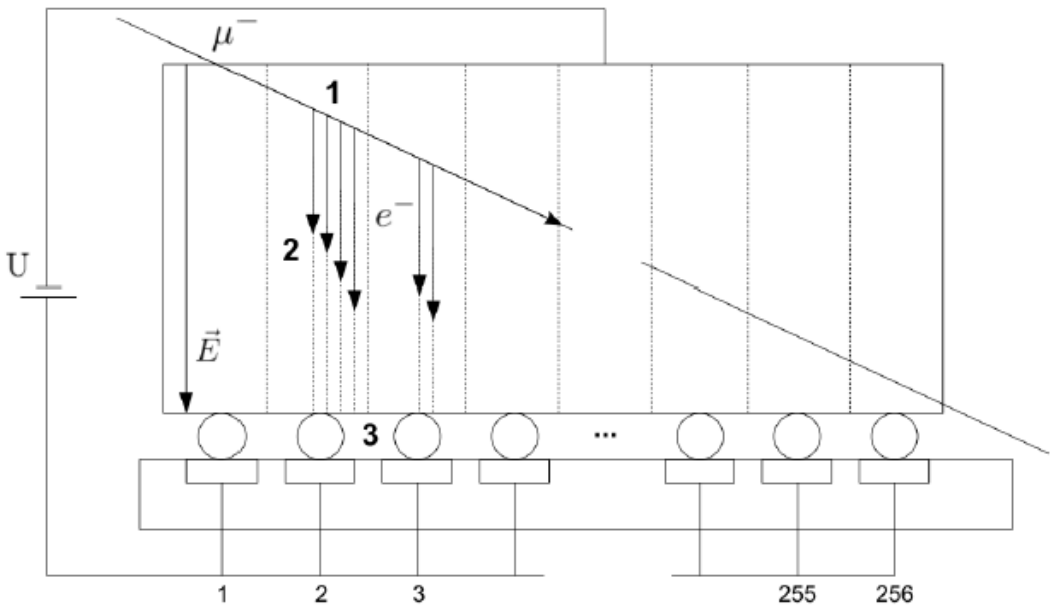


Figure II.9: The detection process in a Timepix detector.

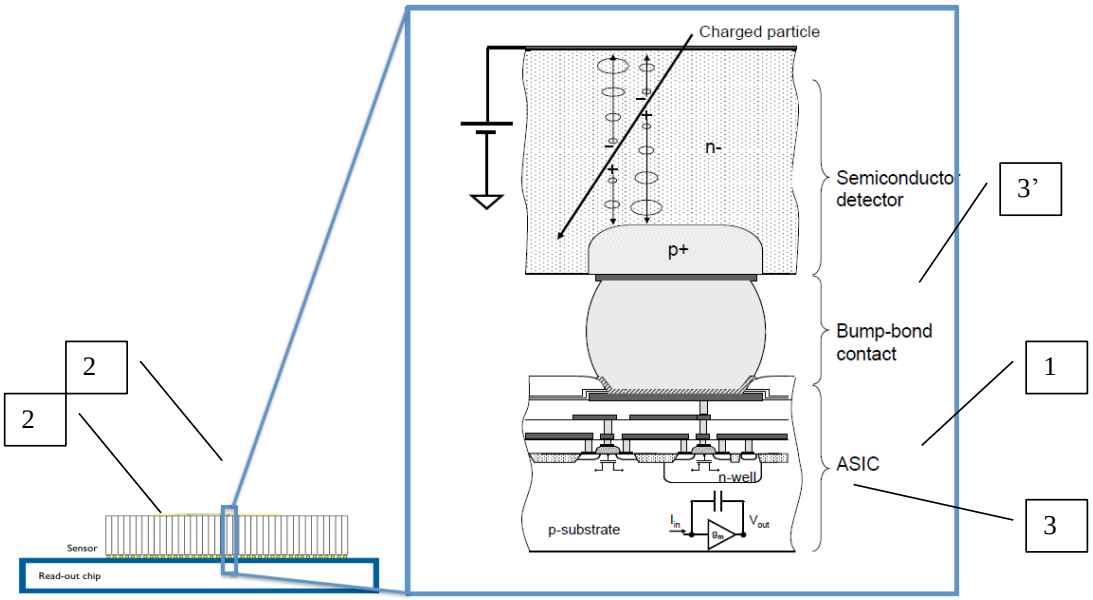


Схема одного пикселя детектора Медипикс

Режим работы ToT

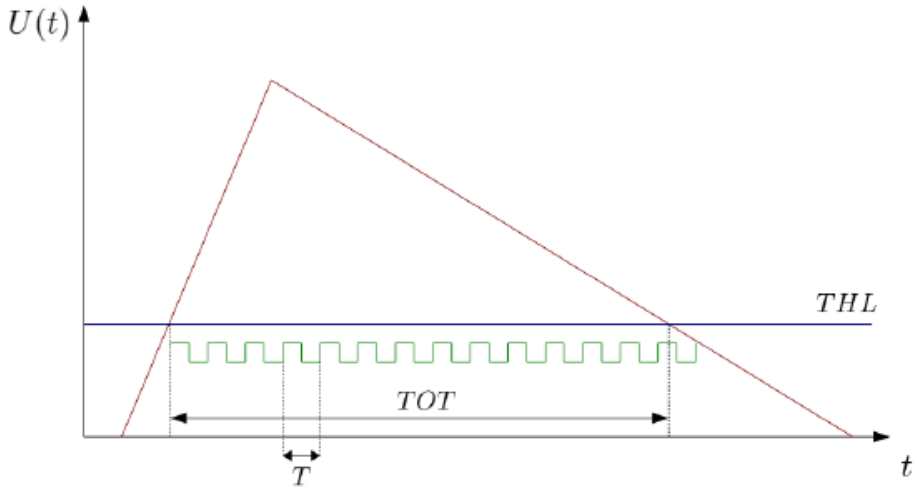


Figure II.10: The voltage pulse (red) after integration. The blue line is the threshold

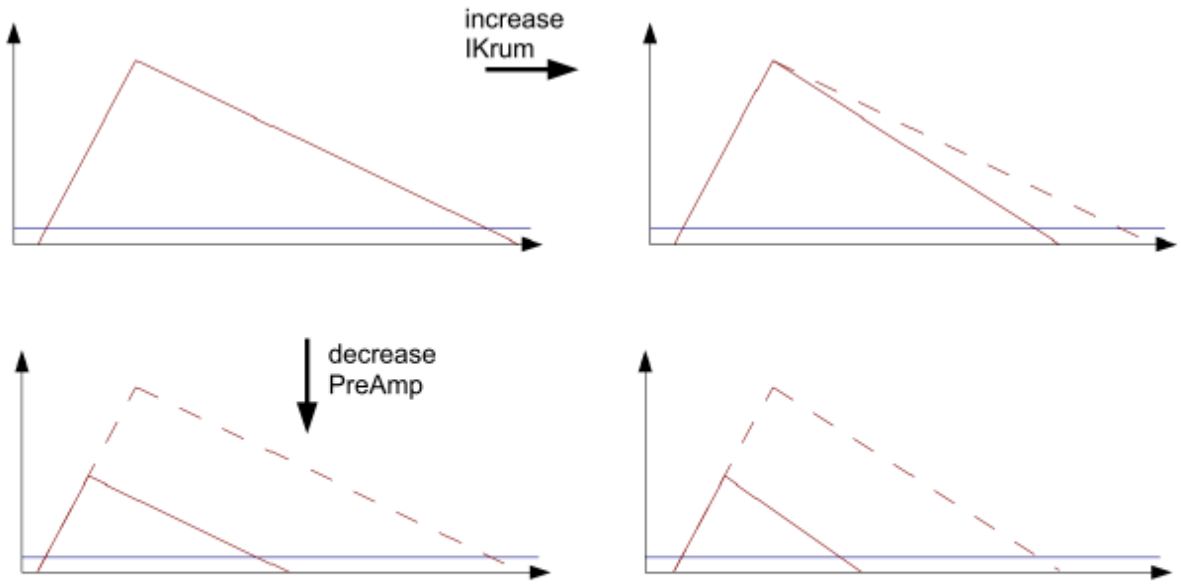


Figure II.11: The dependence of the pulse shape on the DAC-values 'PreAmp' and 'IKrum'.

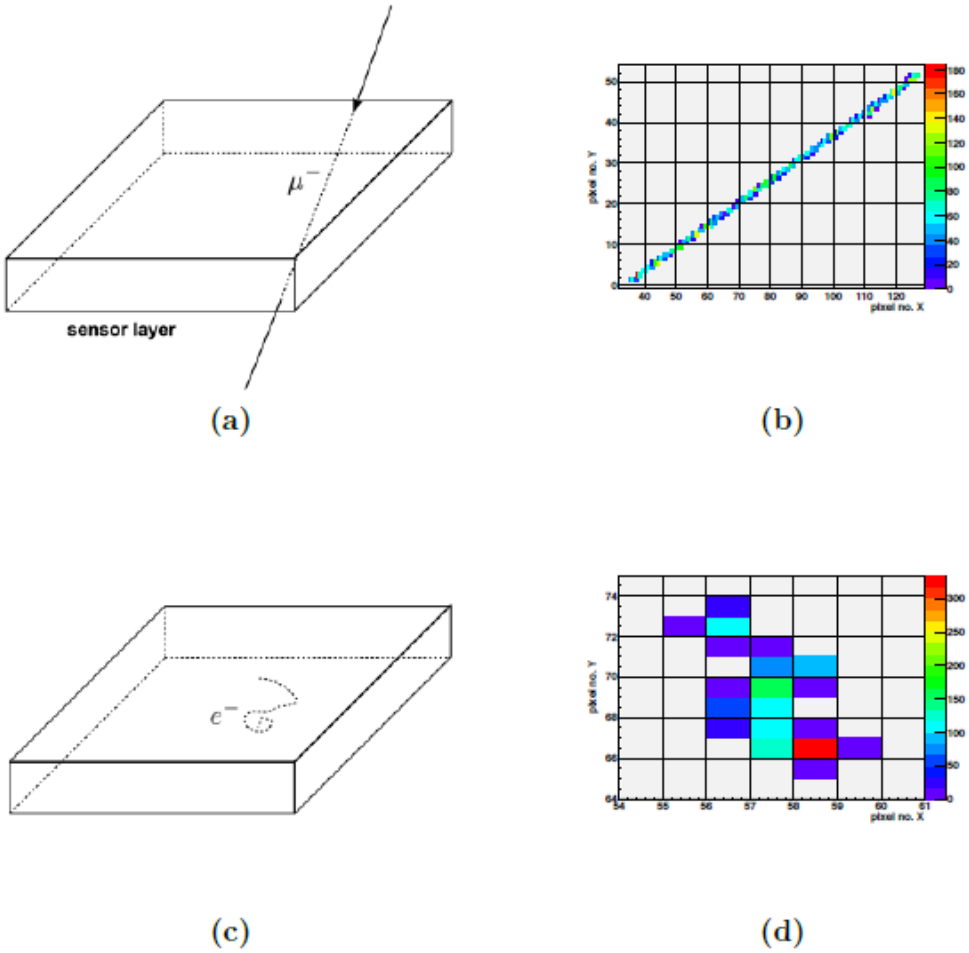
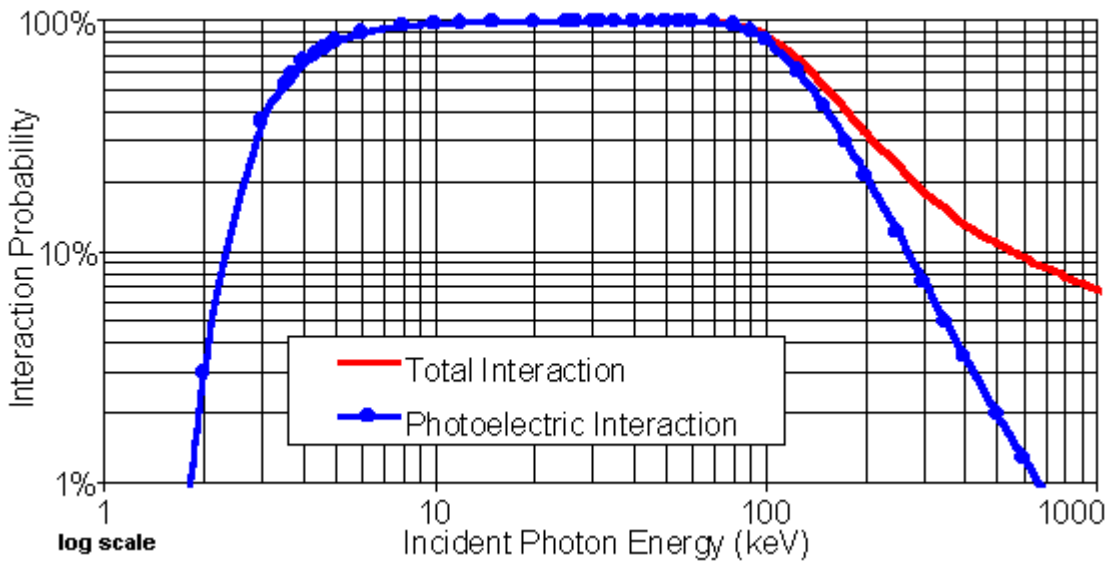


Figure II.6: On the left hand side: The scheme of a typical track for a muon (a) and an electron (c) through the sensor layer. On the right hand side: The same sort of track detected with a Timepix detector. The color of the pixels indicates the energy deposition in keV.

Системы XRI фирмы X-ray Imatek , Испания с одним и четырьмя блоками Медипикс.

Система QTPX (4 блока Медипикс), фирма Amscins, Голландия.

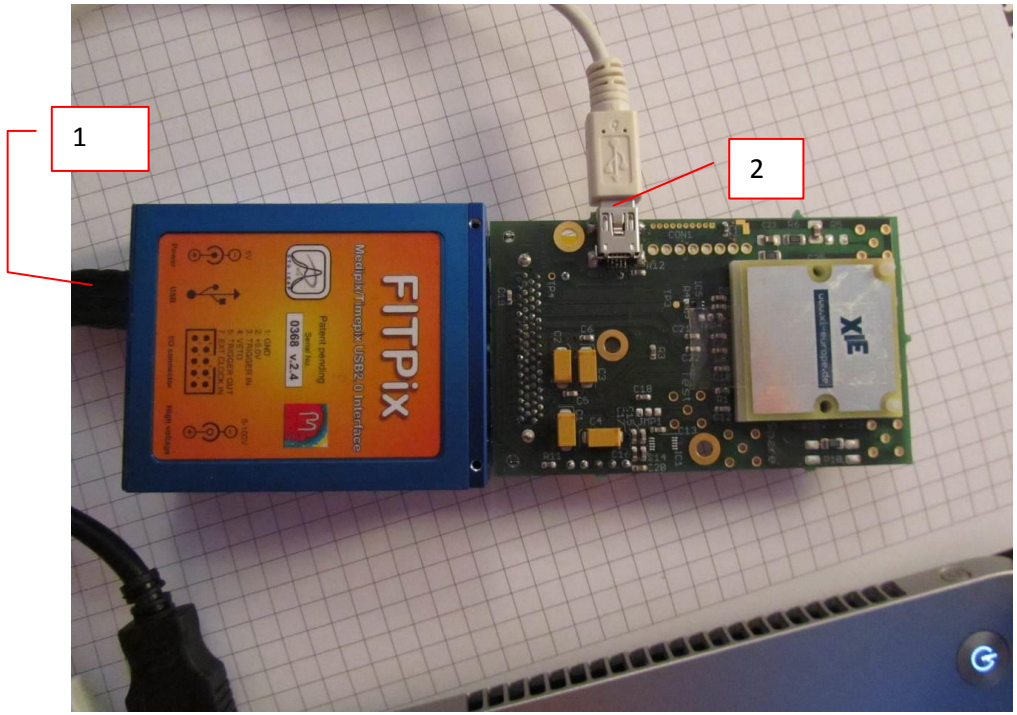
Системы фирмы Advacam Чехия-финляндия



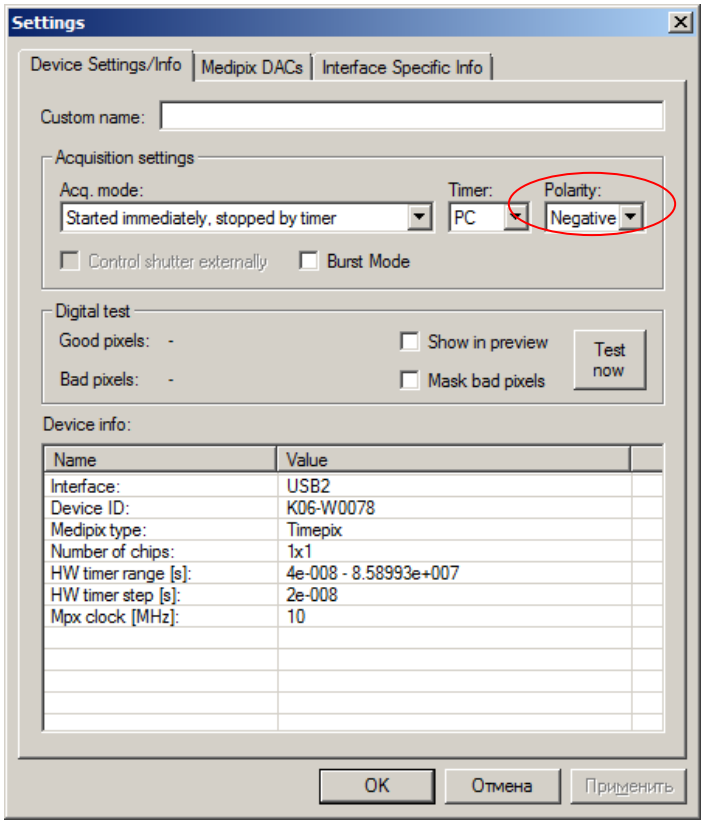
Вероятности взаимодействия в интервале энергий 1 кэВ – 1 МэВ для детектора CZT 2 мм (Падение вероятностей при низких энергиях связано с окном из Be).

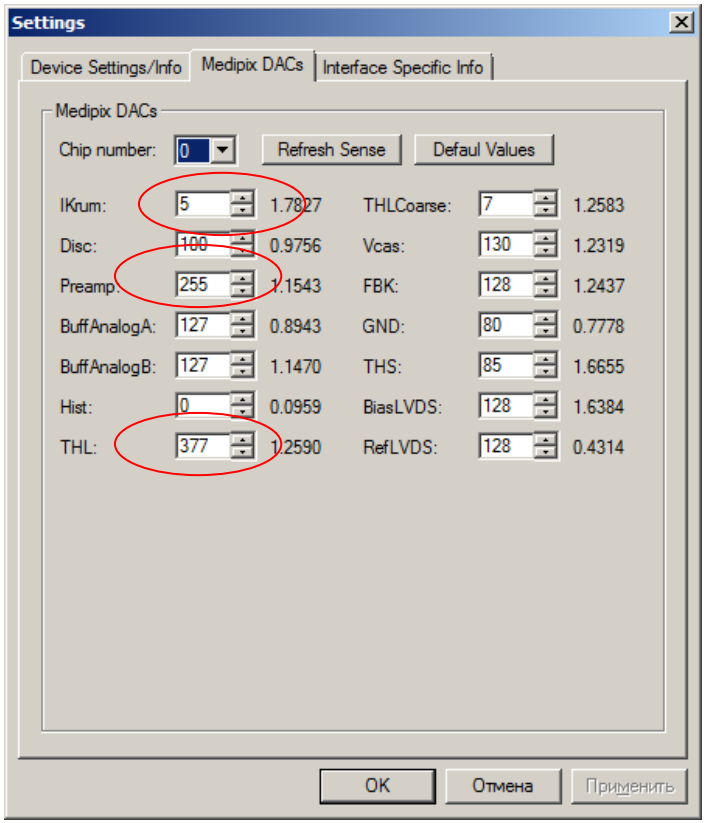
Спецификация детектора Медипикс фирмы X-Ray Imaging Europe.

Пиксели	128	x	128
Размер пикселя	110мкм	x	110мкм
Технология	0.25мкм	six	metal CMOS
Входная полярность	или электроны		или дырки
Минимальный детектируемый заряд	~750e или частица ~2.7 кэВ		
Моды работы	Счетная мода		
	Время над порогом		(ToT)
	Время прибытия		(ToA)
Триггер	внутренний или внешний		
Счетная мода;			
Емкость счетчика	11810, (13-битовый псевдо случайный счетчик)		
Контроль переполнения	Имеется		
Время прибытия (ToA):			
Временное разрешение	10 нс		

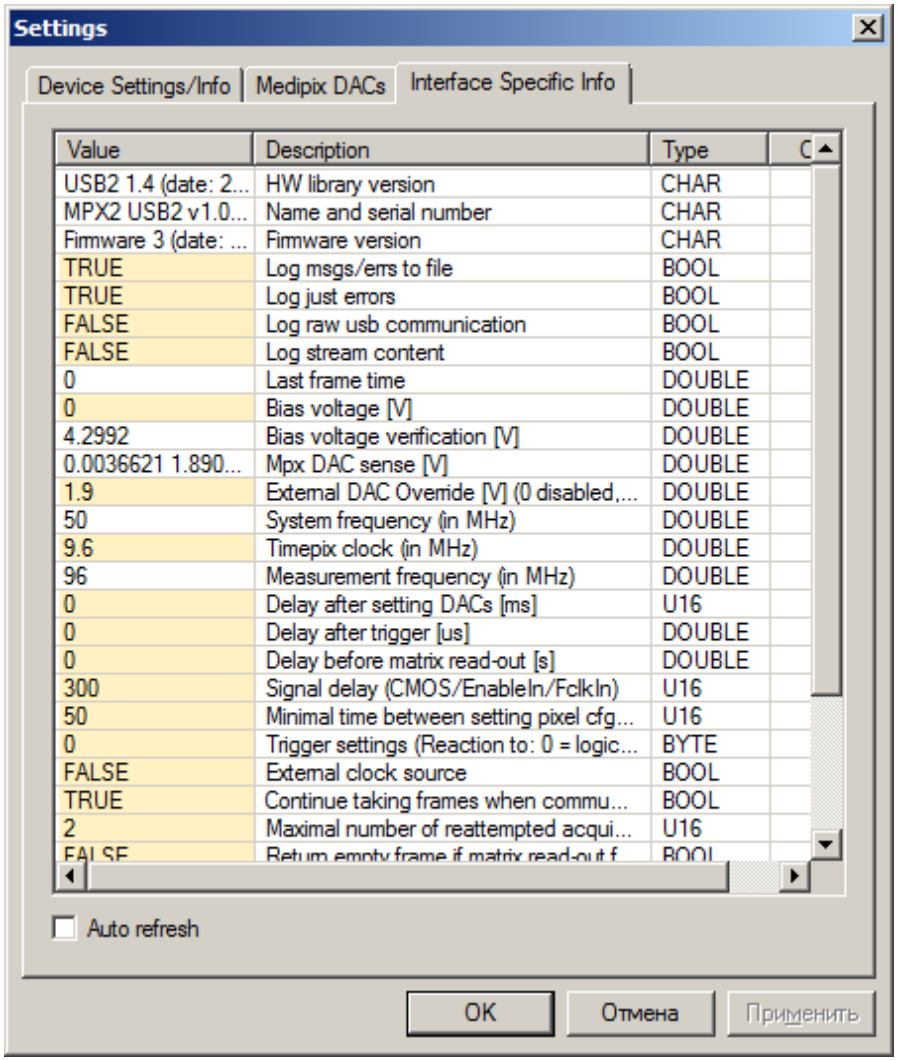


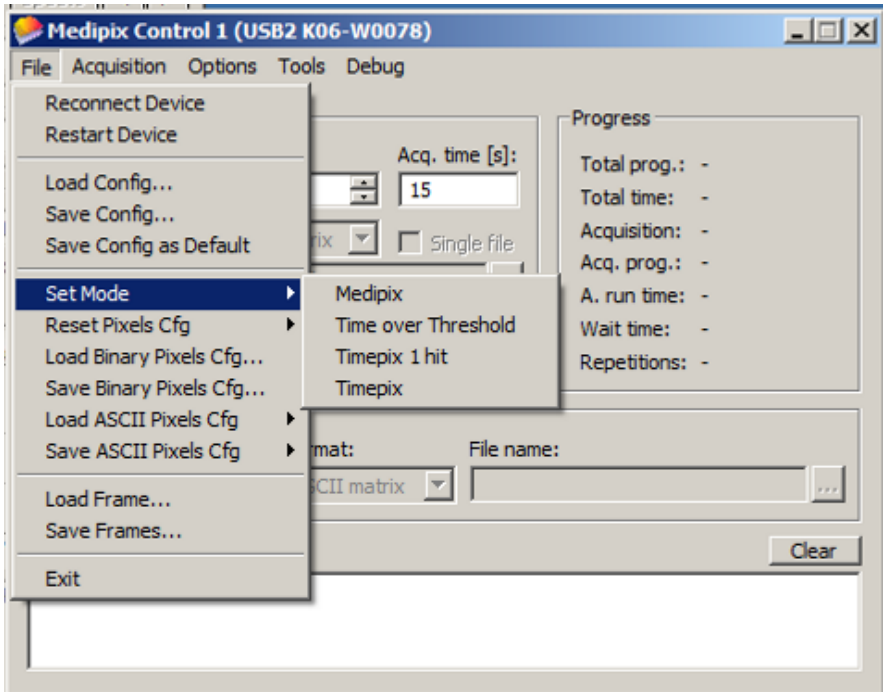
Детектор портативной камеры Медипис2 . Дополнительный USB разъем (2) предусмотрен для подачи питания от ПК на блок высокого напряжения.



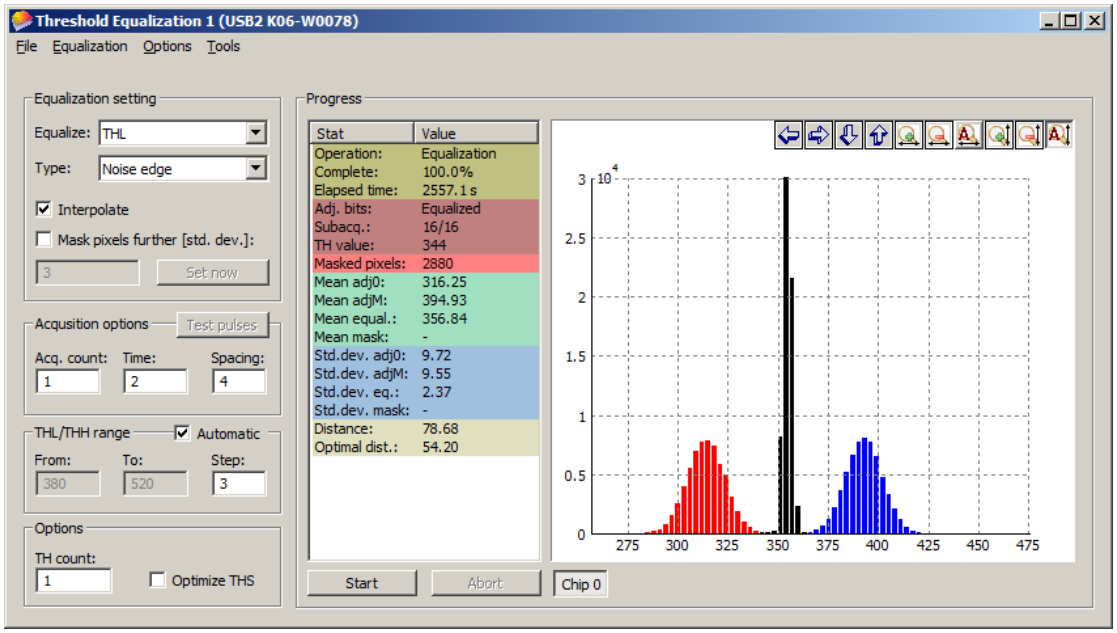


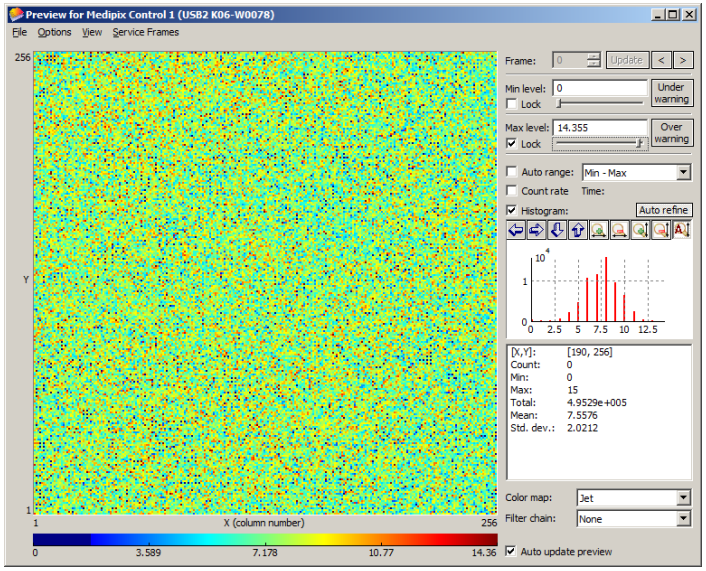
Диалоговые окна, в котором выбирается необходимая полярность работы детектора





Диалоговое окно, через которое делается установка напряжения смещения на кристалле (Строка - Extern DAC) и частоты для измерения количества отсчетов в режиме ToT (Строка- Measurement Frequency)





Диалоговая панель для настройки параметров и запуска программы «Выравнивание порогов». Состояние панели, когда выравнивание порогов закончено.

Процесс записи данных осуществляется автоматически с помощью программного обеспечения Pixelman. На рисунке III.7 показано окно «калибровки порога». Здесь нужно выбрать, что THL должна увеличиваться шаг за шагом и размер шага. Из соображений удобства хранения данных устанавливается вывод в один файл типа ASCII. Измерение длится около 5 часов.

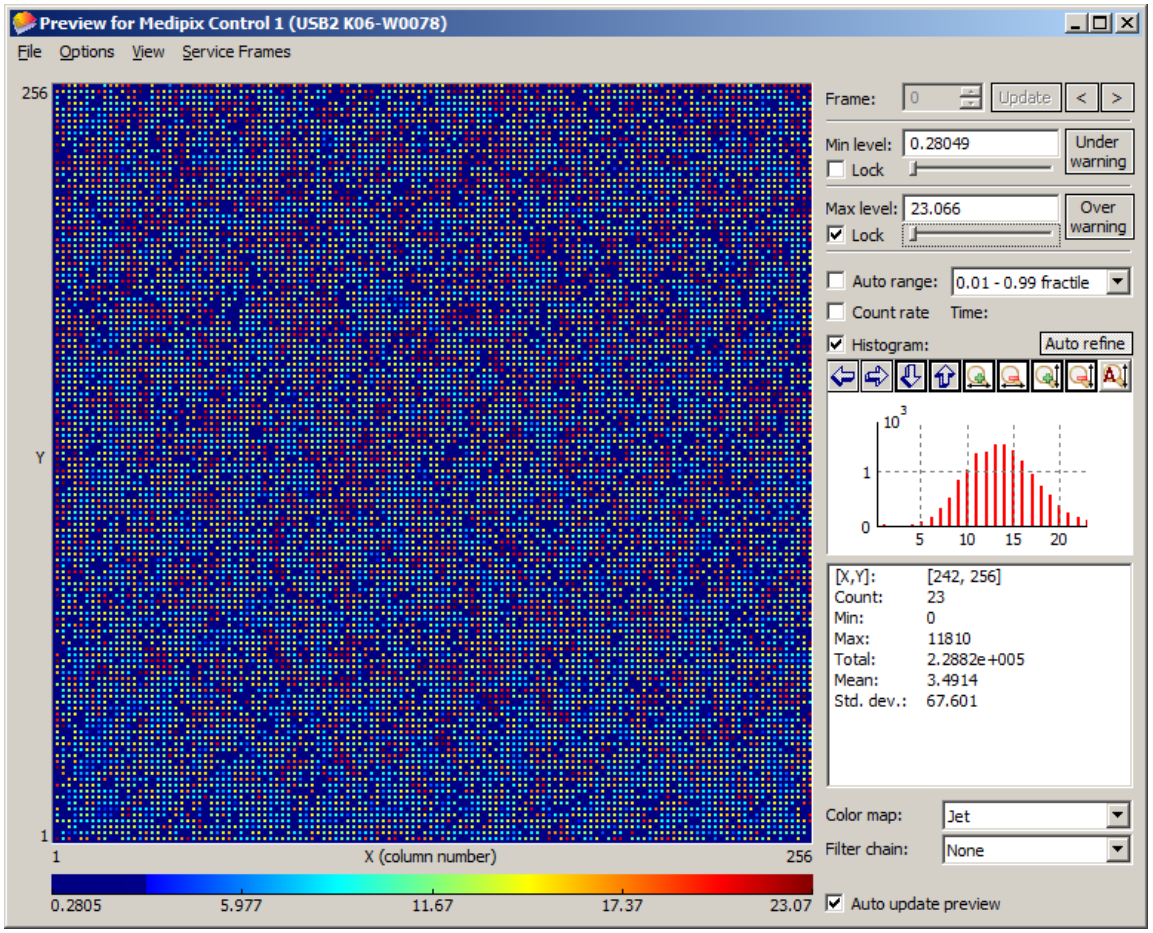


Рис 36. Изображение поученное при регистрации сигнала от источника Am-241 в режиме Медирикс - т.е. 1 отсчет на зарегистрированный квант. Время экспозиции 60 секунд. За время экспозиции в каждом пикселе было в среднем по 15 взаимодействий.

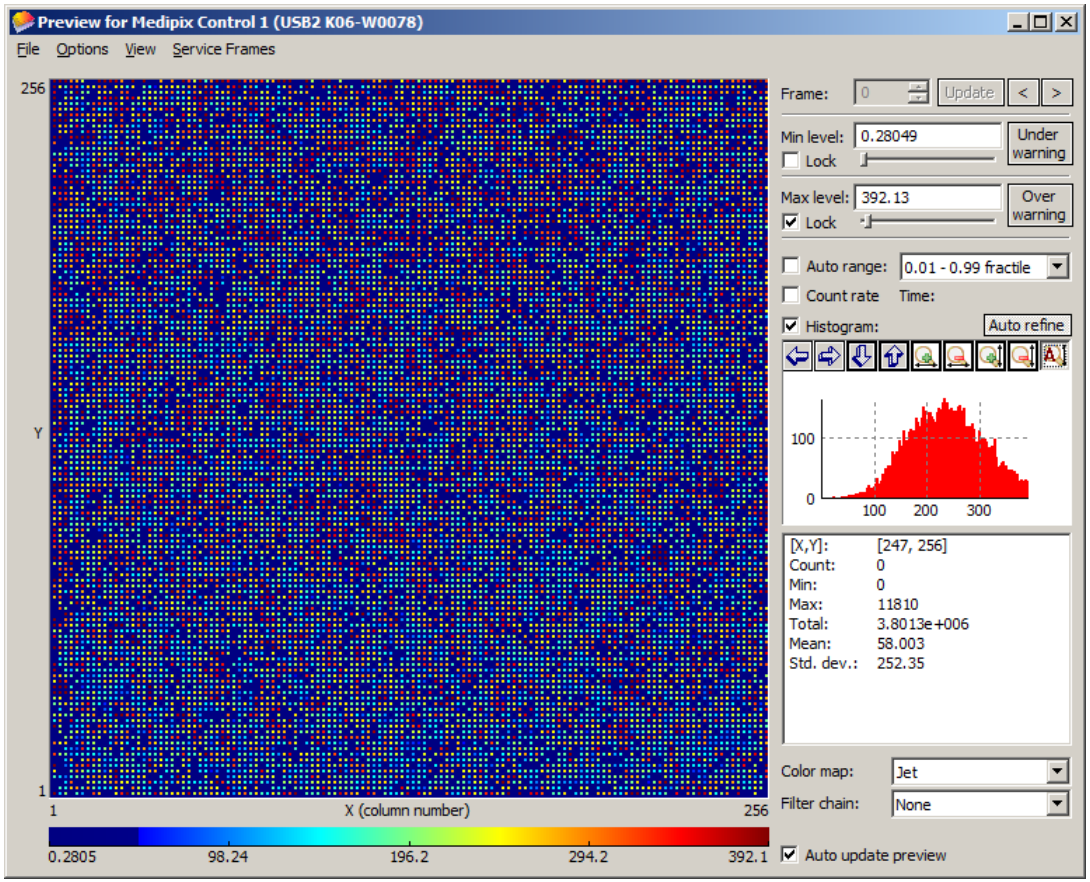
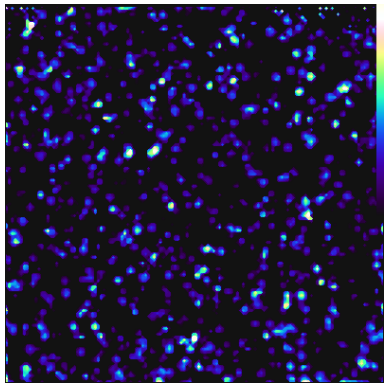
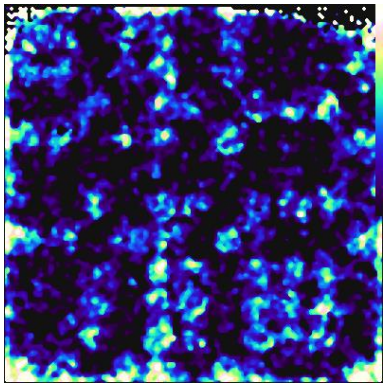


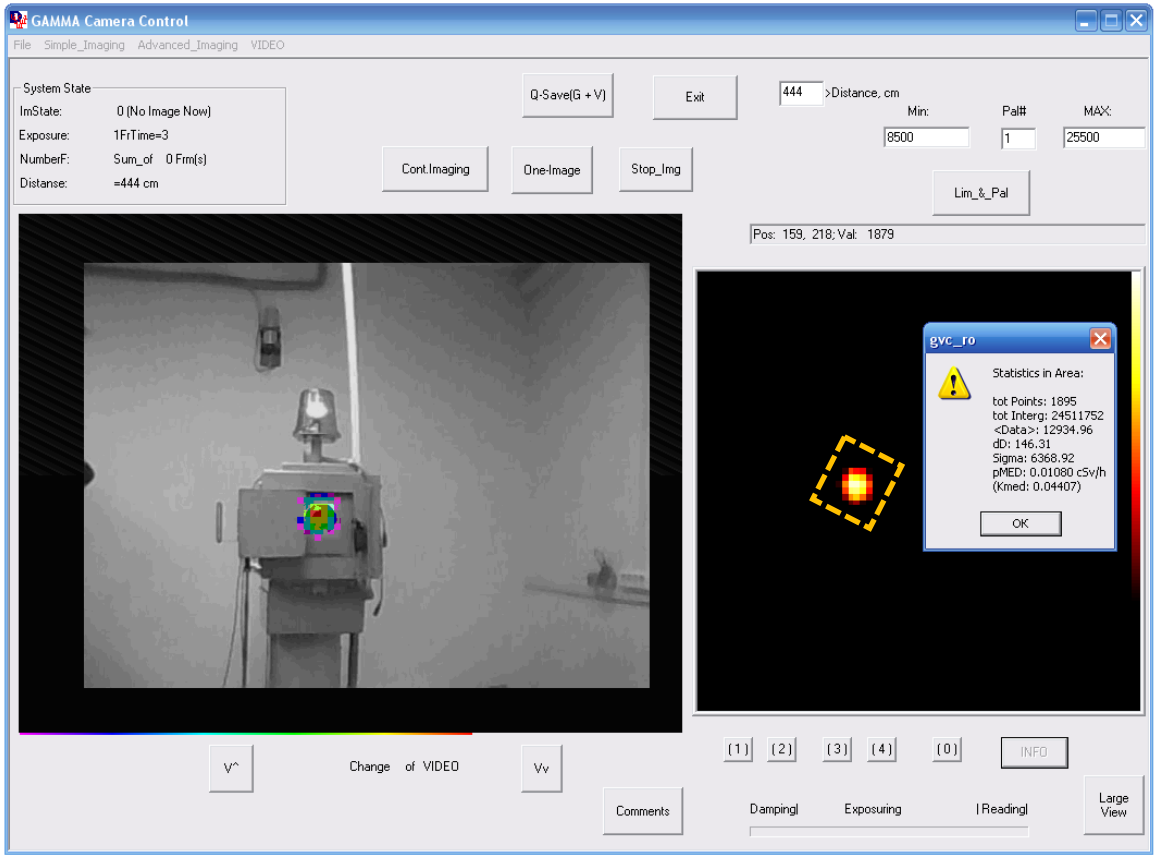
Рис 36. Изображение при регистрации сигнала от источника Am-241 в режиме ToT т.е. пропоционально квазиэнергии – длительности. Время экспозици 60 секунд - как в предыдущем изображении.

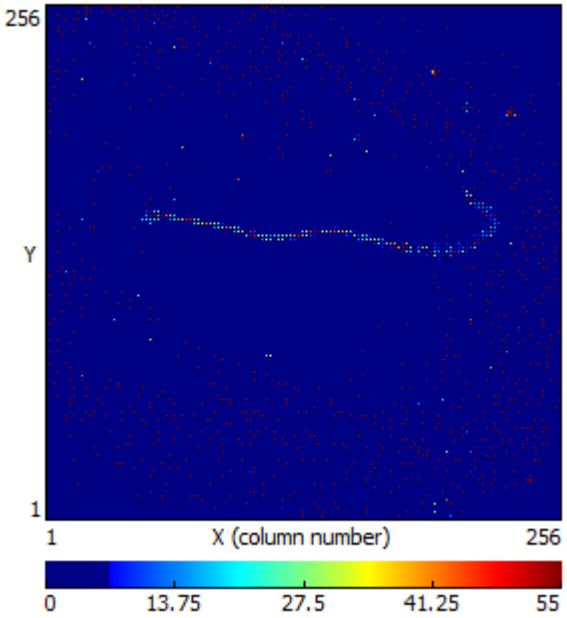
Оценка энергии излучения нуклидов по полученным изображениям

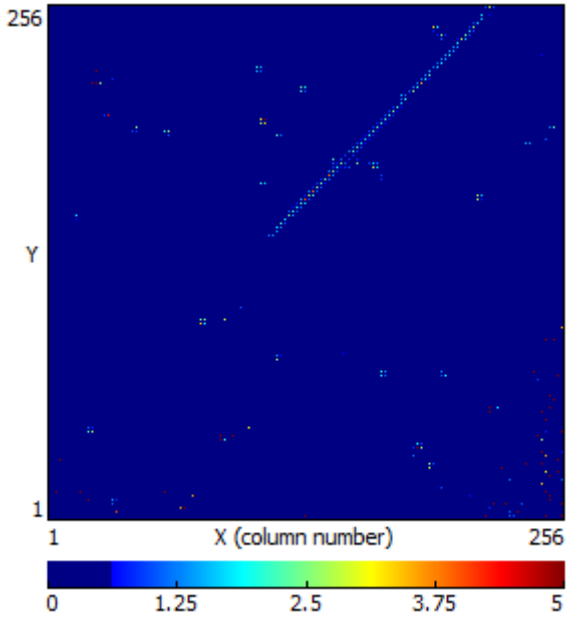
	Нуклид	Число отсчетов (N_{ToT}) отн.ед	Энергия (E_g), кэВ
1	Am-241	20	60
2	Cs-137	480	662
3	Co-60	860	1225

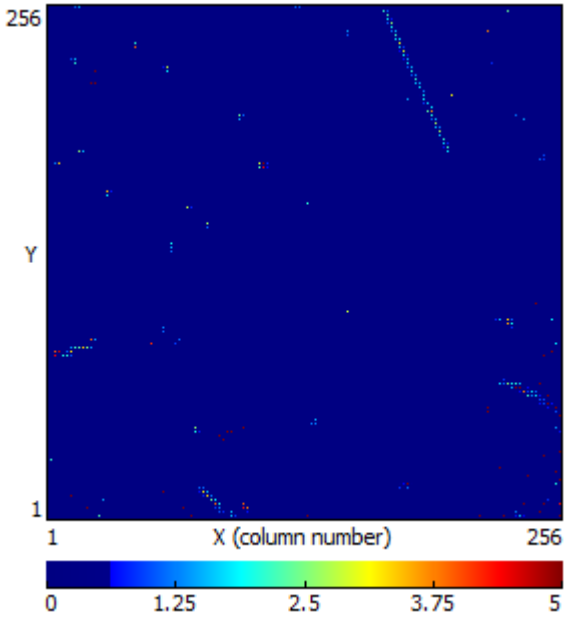


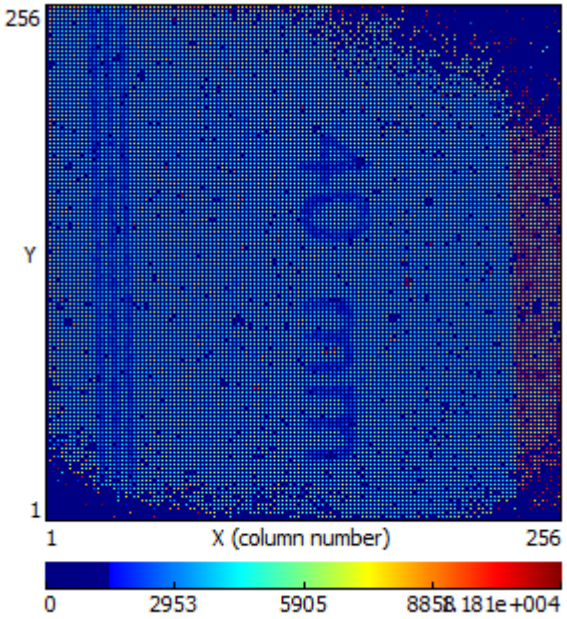


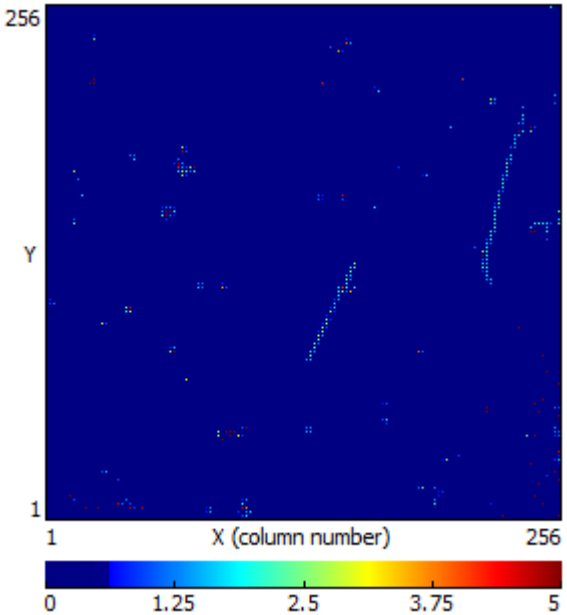

GAMMA Camera Control
File Simple_Imaging Advanced_Imaging VIDEO
System State
ImState: 0 (No Image Now)
Exposure: 1FrTime=3
NumberF: Sum_of 0 Frm(s)
Distanse: =444 cm
Q-Save(G + V)
Exit
444
>Distance, cm
Min:
Pal#
MAX:
8500
1
25500
Cont.Imaging
One-Image
Stop_Img
Lim_&_Pal
Pos: 159, 218; Val: 1879
gvc_ro
Statistics in Area:
tot Points: 1895
tot Interg: 24511752
<Data>: 12934.96
dD: 146.31
Sigma: 6368.92
pMED: 0.01080 cSv/h
(Kmed: 0.04407)
OK
V^
Change of VIDEO
Vv
(1)
(2)
(3)
(4)
(0)
INFO
Comments
Damping|
Exposuring
|Reading|
Large View

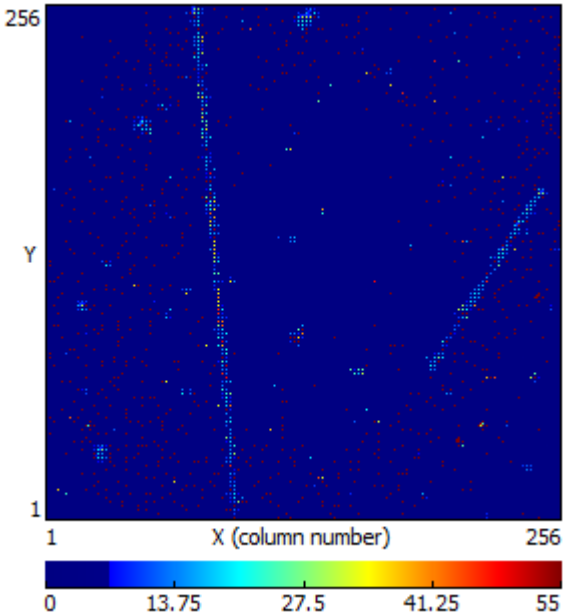

256
Y
1
1
X (column number)
256
0
13.75
27.5
41.25
55

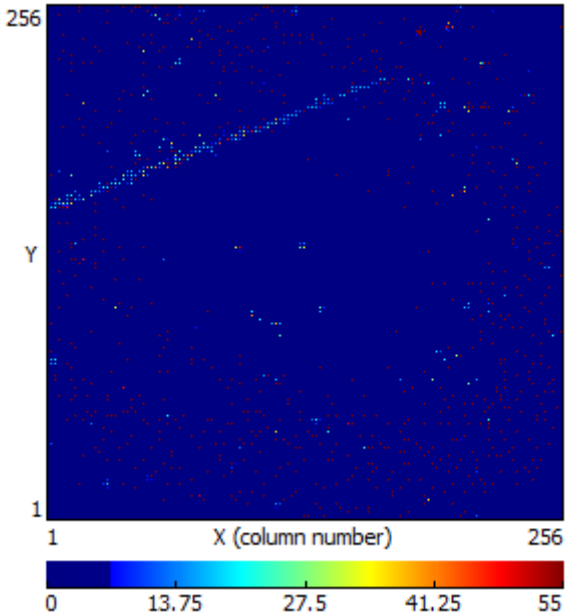

256
Y
1
1
X (column number)
256
0
1.25
2.5
3.75
5

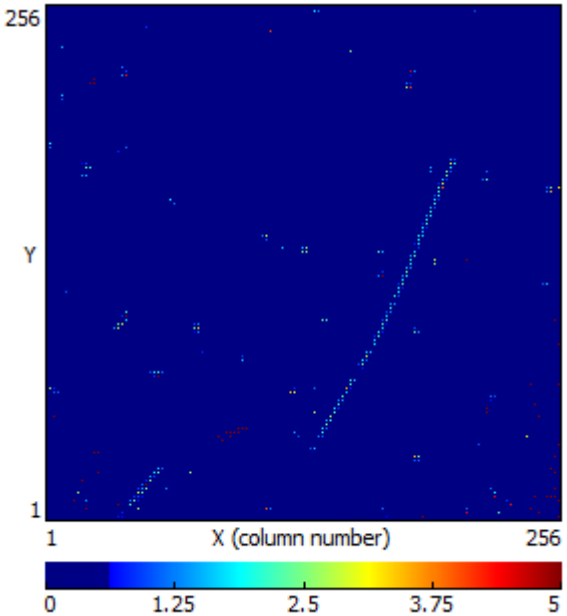

256
Y
1
1
X (column number)
256
0
1.25
2.5
3.75
5

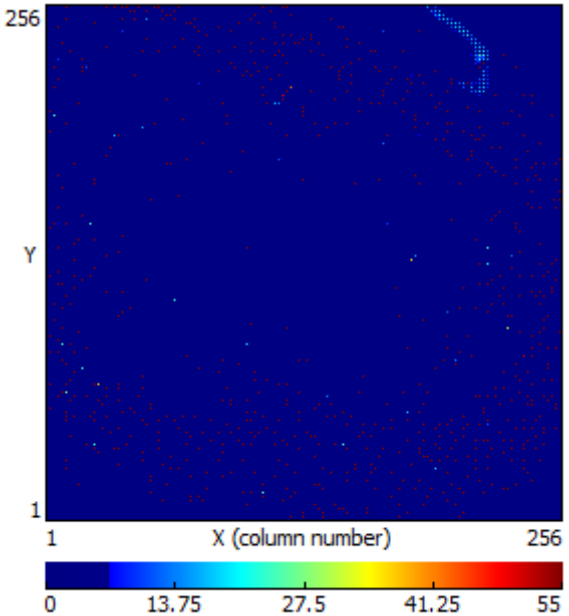

256
Y
1
1
X (column number)
256
0
2953
5905
8858
1.181e+004

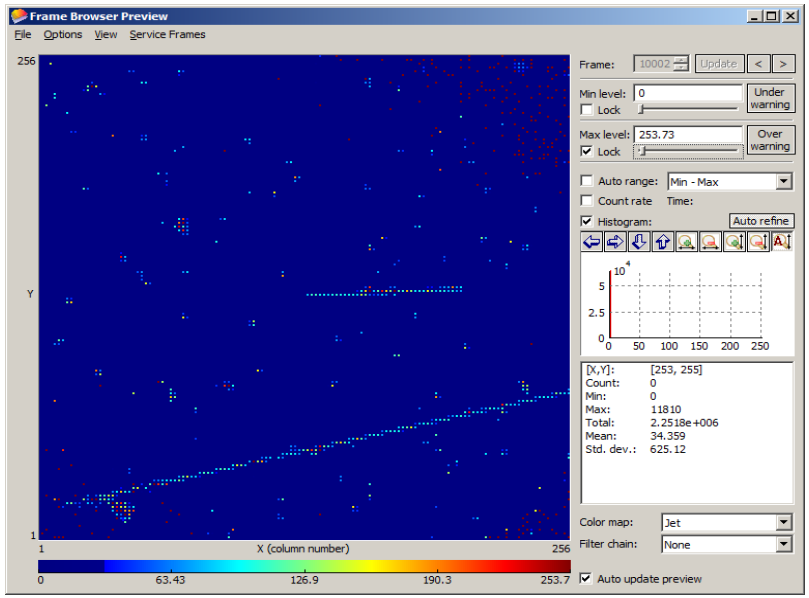

256
Y
1
1
X (column number)
256
0
1.25
2.5
3.75
5

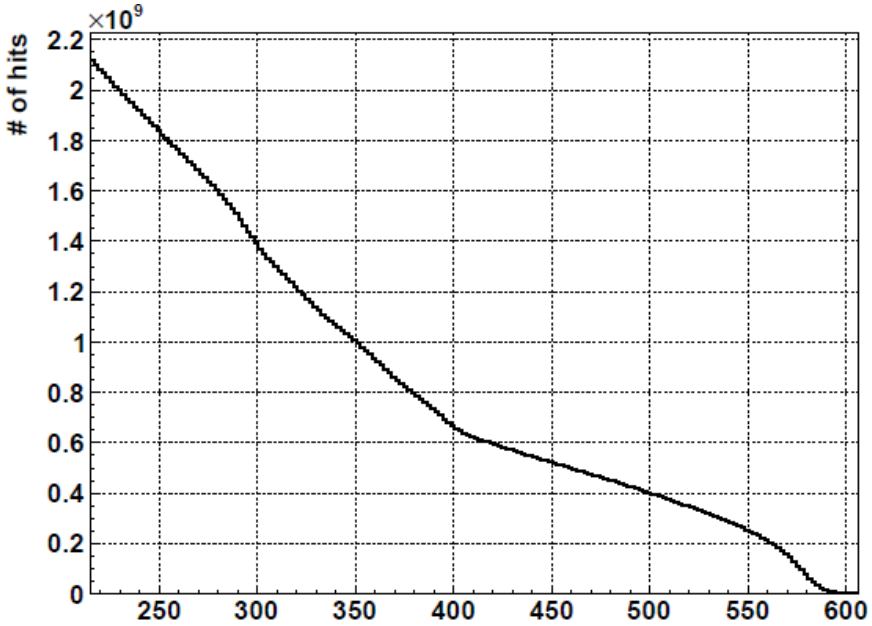

256
Y
1
1
X (column number)
256
0
13.75
27.5
41.25
55

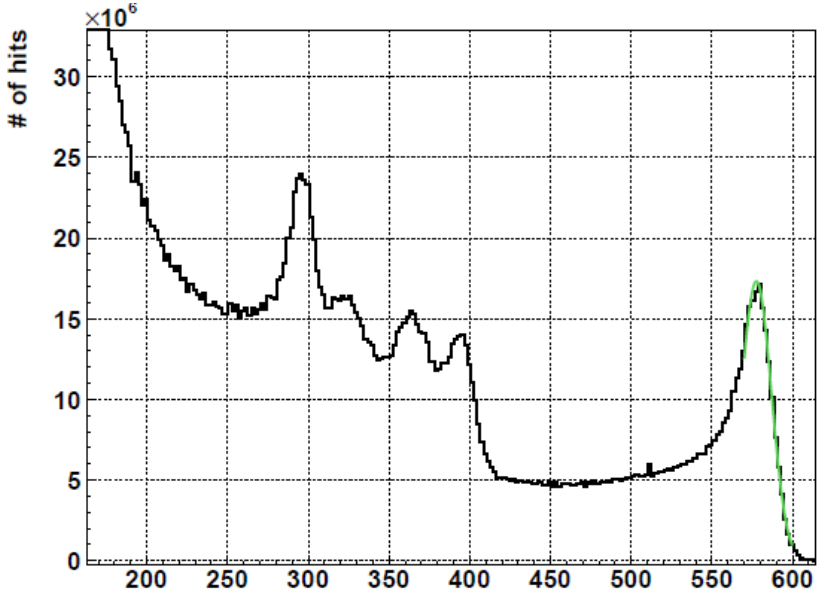

256
Y
1
1
X (column number)
256
0
13.75
27.5
41.25
55


256
Y
1
1
X (column number)
256
0
1.25
2.5
3.75
5


256
Y
1
1
X (column number)
256
0
13.75
27.5
41.25
55


Frame Browser Preview
File
Options
View
Service Frames
Frame:
Update
Min level:
Lock
Under warning
Max level:
253.73
Over warning
Auto range:
Min - Max
Count rate
Time:
Histogram:
Auto refine
[X,Y]:
[253, 255]
Count:
Min:
Max:
11810
Total:
2.2518e+006
Mean:
34.359
Std. dev.:
625.12
Color map:
Jet
Filter chain:
None
Auto update preview
X (column number)
0
63.43
126.9
190.3
253.7



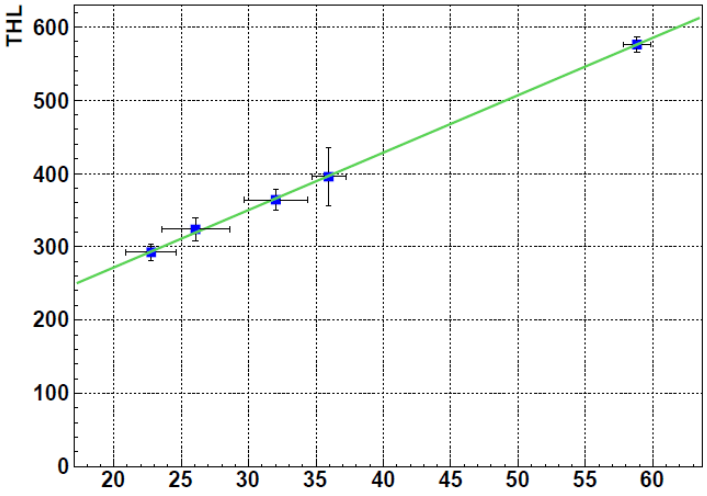


Энергия в ед THL

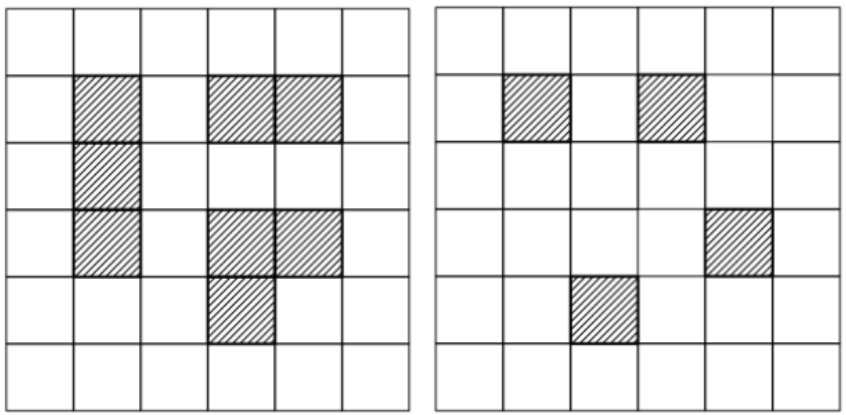
Измеренный и продифференцированный спектры сканирования по THL для Am-241. Зеленая кривая - аппроксимирующий гауссиан.

- Третий пик справа является наложение пика флуоресценции теллура (смесь K_β линий) в 30,990 кэВ и его собственного пика вылета с энергией 28,55 кэВ.
- Четвертый пик - пик вылета кадмия в 36,343 кэВ.

THL (E) = a • E + b

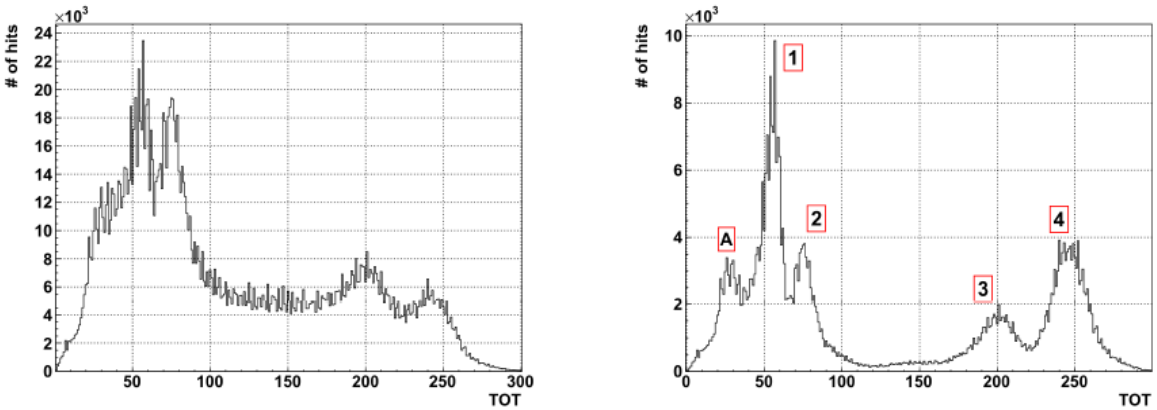


Энергия [кэВ]



(а) **(б)**

Рис. III.12**.** При процедуре однократной кластеризации только события типа (б) принимаются в рассмотрения, а события типа (а) отбрасываются.



(а) до однократной кластеризации (б) после однократной кластеризации

ТОТ спектр Co-57 до (а) и после (б) однократной кластеризации: соответствие линий -(A) Статистический артефакт; (1) 14.41 кэВ пик Co-57; (2) фото пики Cd и Te; (3) пики вылета Cd и Te; (4) слившиеся пики Co-57 122,06 кэВ и 136,47 кэВ

.

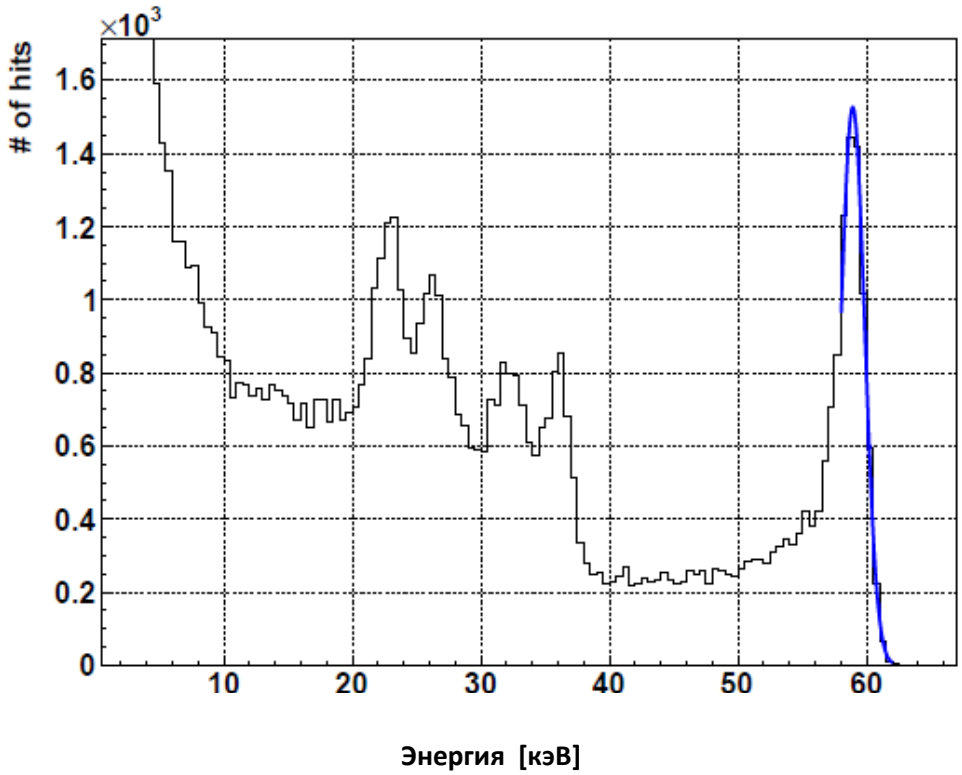
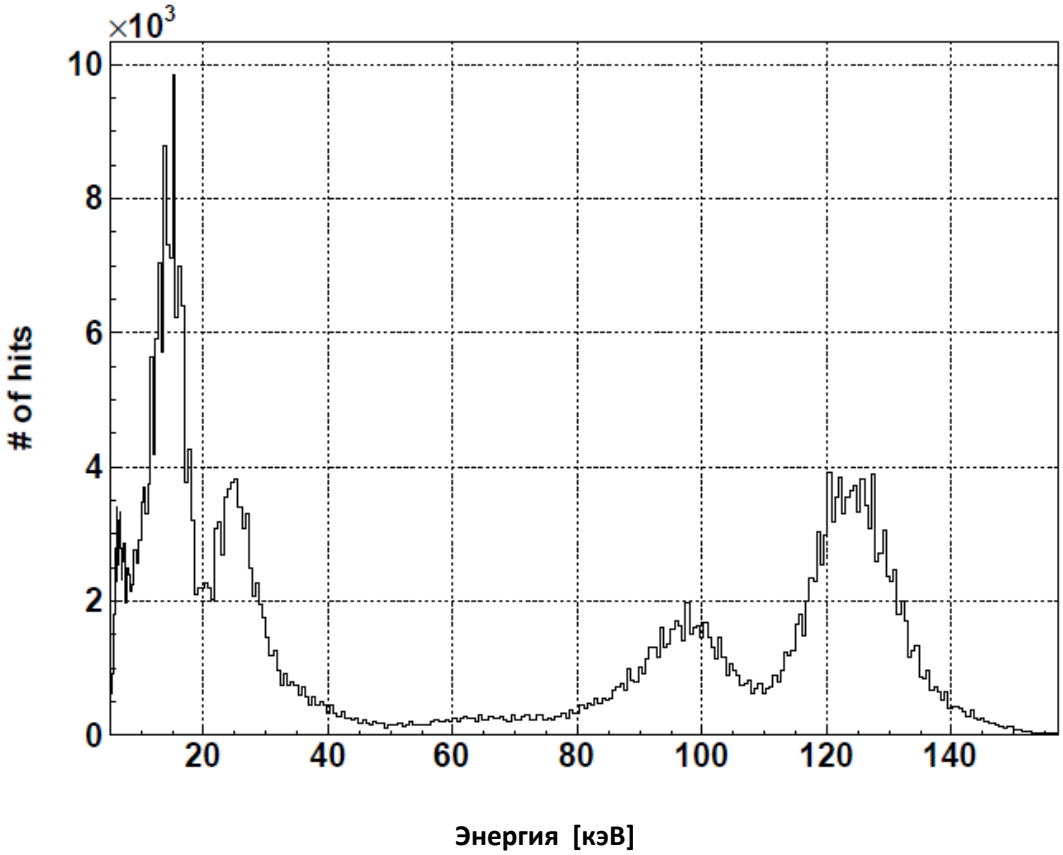


Рис. III.17. Моделирование спектра выделяемой в детекторе Timepix энергии с использованием специальной программы.

Аппроксимация зависимости TOT(E) имеет следующий вид

$$TOT(E) = a\,E + b + c/(E - t).$$

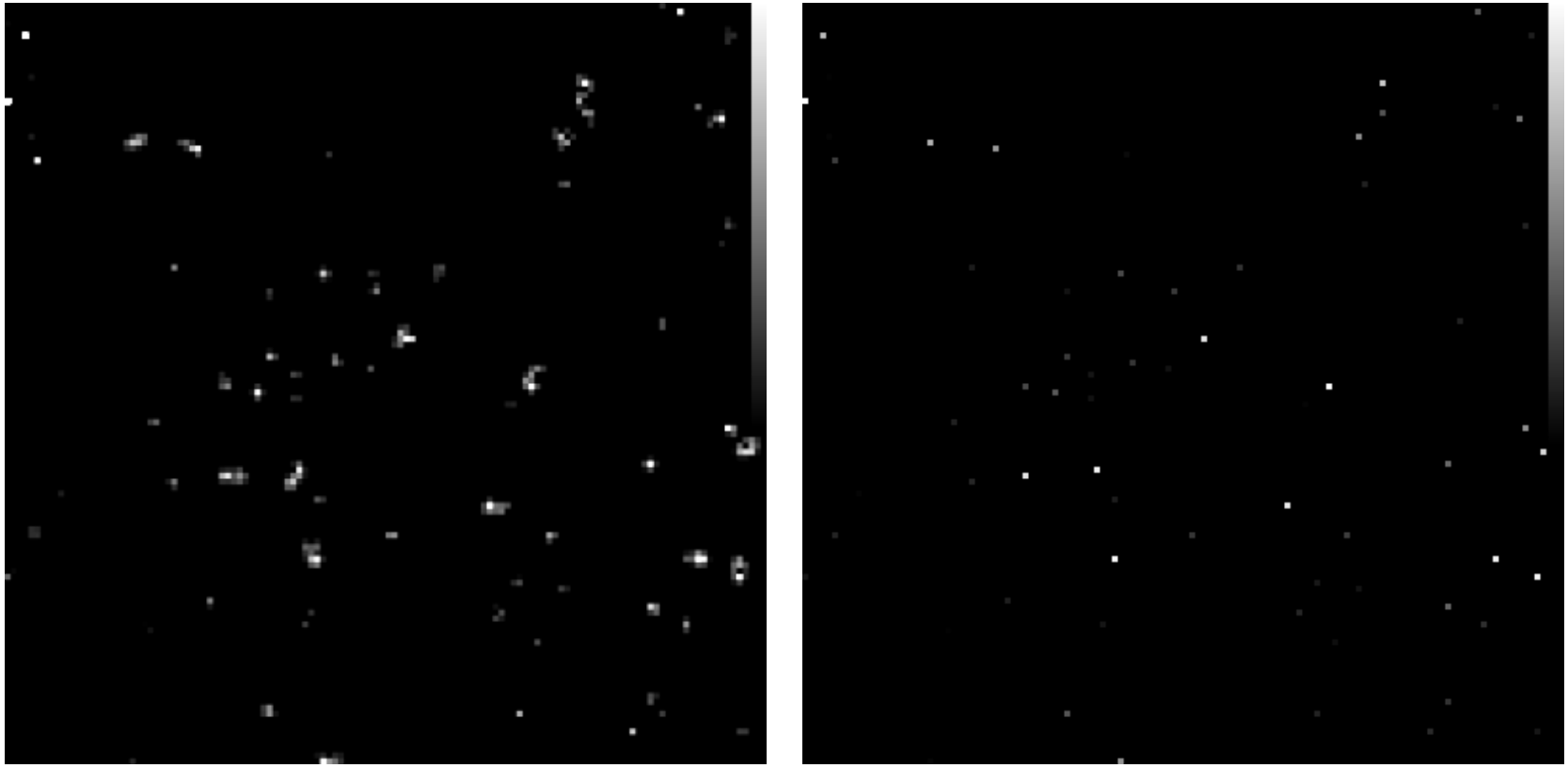


Реконструкция энергетического спектра Co- 57 с использованием глобальной калибровки. Пик при 122,06 кэВ смещается на 4,01 кэВ вправо (по сравнению с предсказываемым положением).

Для получения спектров с более точным положением гамма-линий по энергии необходимо проводить попиксельную калибровку детектора. При этом точность определения энергии заметно возрастает [11].

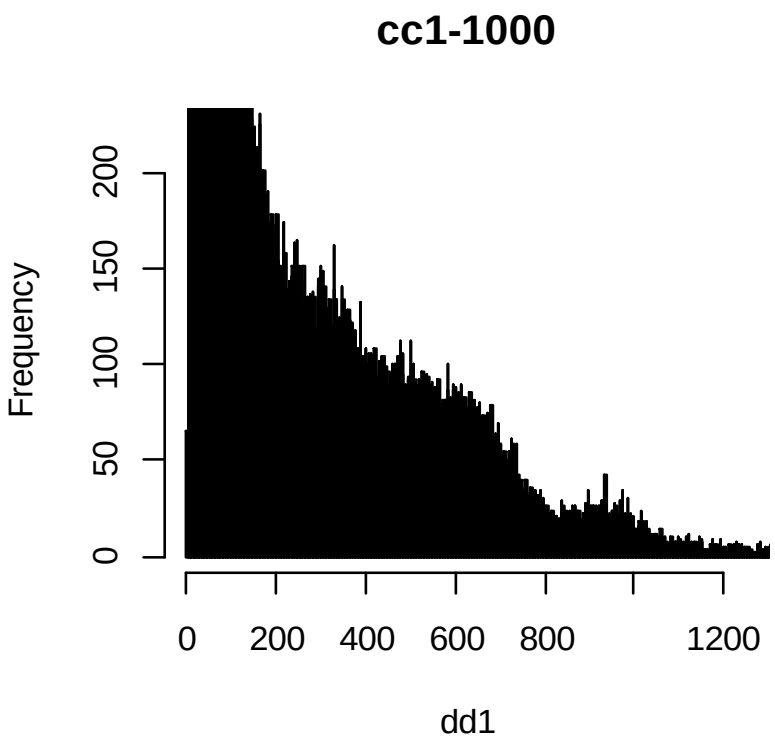
Для нахождения энергетических спектров гамма источников с большими энергиями - при E > 200 кэВ, необходим расчет выделения энергии квантов в кластере в пределах нескольких пикселей детектора.

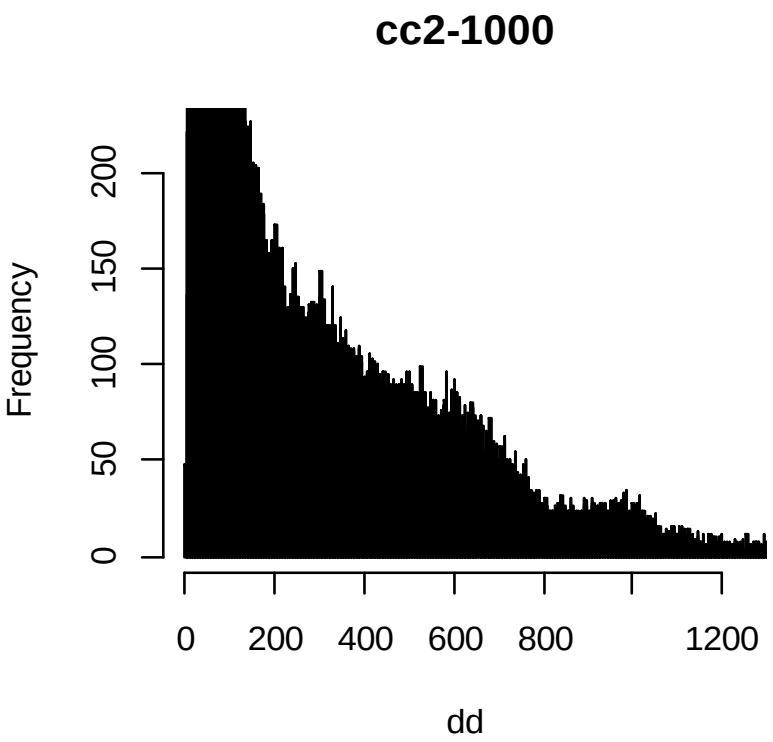
Требуются эффективные программы для корректного выделения и обработки кластеров !!!



Источник Co-60 в лаборатории. Уровень потока и экспозиция выбраны так, чтобы не иметь наложения взаимодействий.

Спектры гамма квантов с энергией порядка 1000 кэВ





Два спектра источника Co-60, полученные с помощью специальной обработки сигнала детектора Medipix2

Спектр с высоким разрешением (источник Cs-137)

попиксельная энергетическая калибровка детектора и точный расчет энергиив кластерах отдельных событий

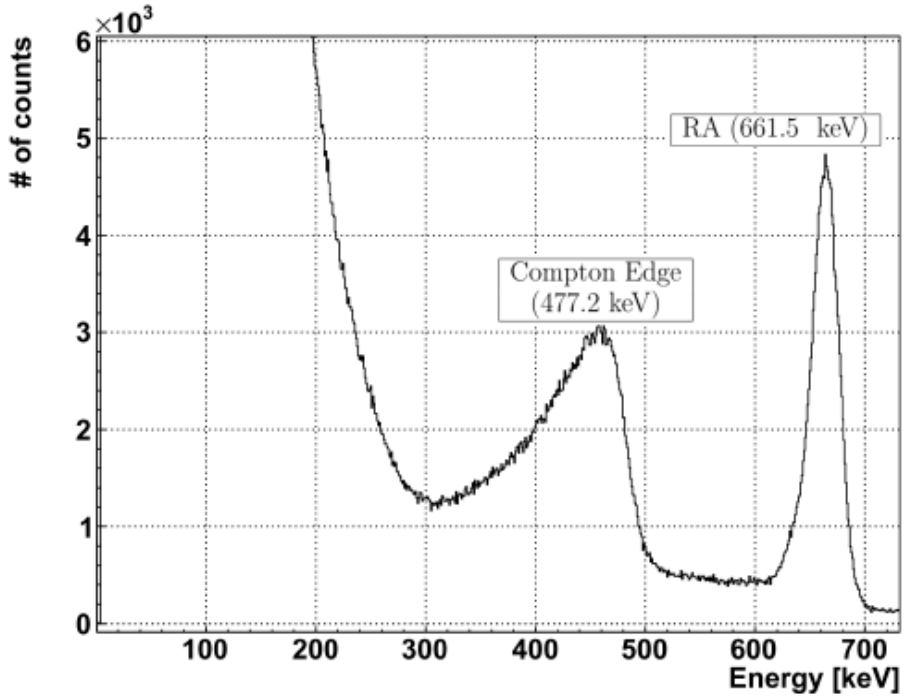


Figure IV.22: ^{137}Cs - clustering spectrum. The abbreviations are the origin of the peaks: RA - γ-line of a radioactive emitter.

IV.3.1 The energy resolution for tracks at 661.5 keV

Often the 661.5 keV line of ^{137}Cs is used to calibrate and characterize spectroscopic detectors. In order to compare the energy resolution quality of the 110 μm Timepix to other detectors, we measured the energy resolution of this line. The complete electron spectrum (after removing α-particles, muons and low energy photons) is shown on figure IV.22 where you see the Compton spectrum and the photo peak. We measured an energy resolution of 1.9 % at the photo peak. As the probabilty for the electrons to escape is now much lower, the full, expected Compton spectrum can be seen. This is in good quantitative correspondence with the simulation results.

Источник Am-241

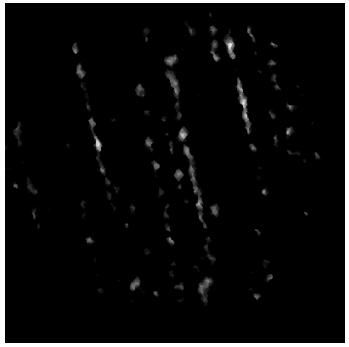
мюонный трек

трек удален

Теневые картины

V

V



Восстановленные изображения

Требуется надежный и быстрый алгоритм поиска/удаления треков !!!

Портативная комптоновская и комбинированная портативная камера с двумя детекторами Медипикс

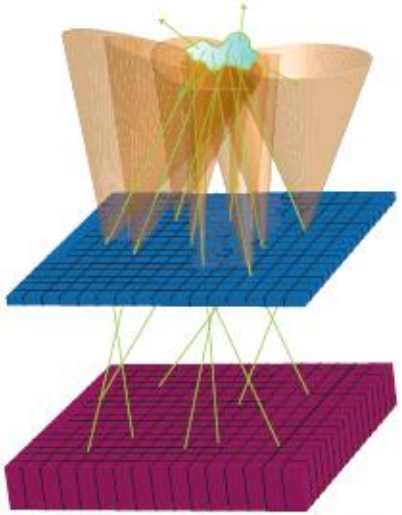


Figure 2.4: Inverse problem for Compton scattering detector system.

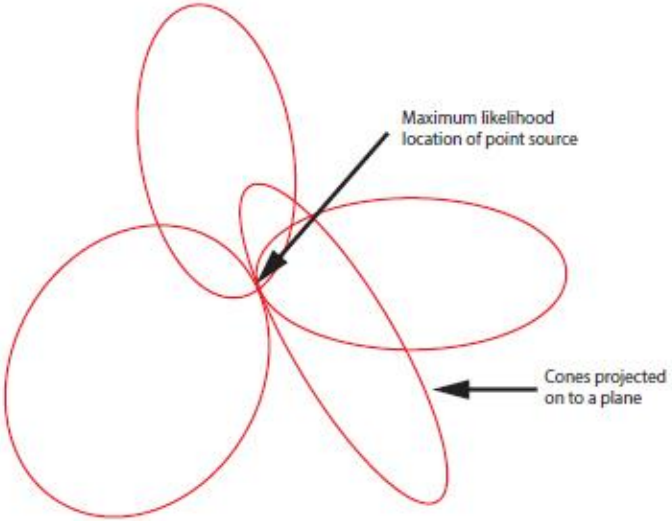


Figure 2.5: Cones of possible origin locations of source intersected with a plane.

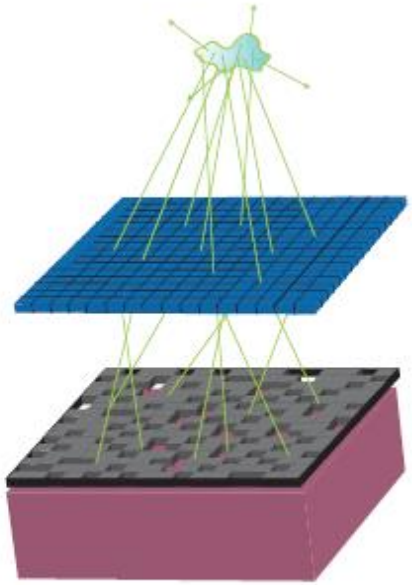


Figure 2.8: Novel Compton scattering coded aperture system.

Исследование двойного бета распада

Isotope	$Q_{\beta\beta}$ [keV]	$M_{0\nu}$	Natural Abundance [%]
^{76}Ge	2039	4.6	7.44
^{130}Te	2528	3.5	33.799
^{116}Cd	2814	2.7	7.49
^{136}Xe	2458	2.2	8.9
^{48}Ca	4272	0.6	0.187
^{100}Mo	3034	3.0	9.63
^{82}Se	2995	4.1	8.73
^{150}Nd	3367	3.1	5.64

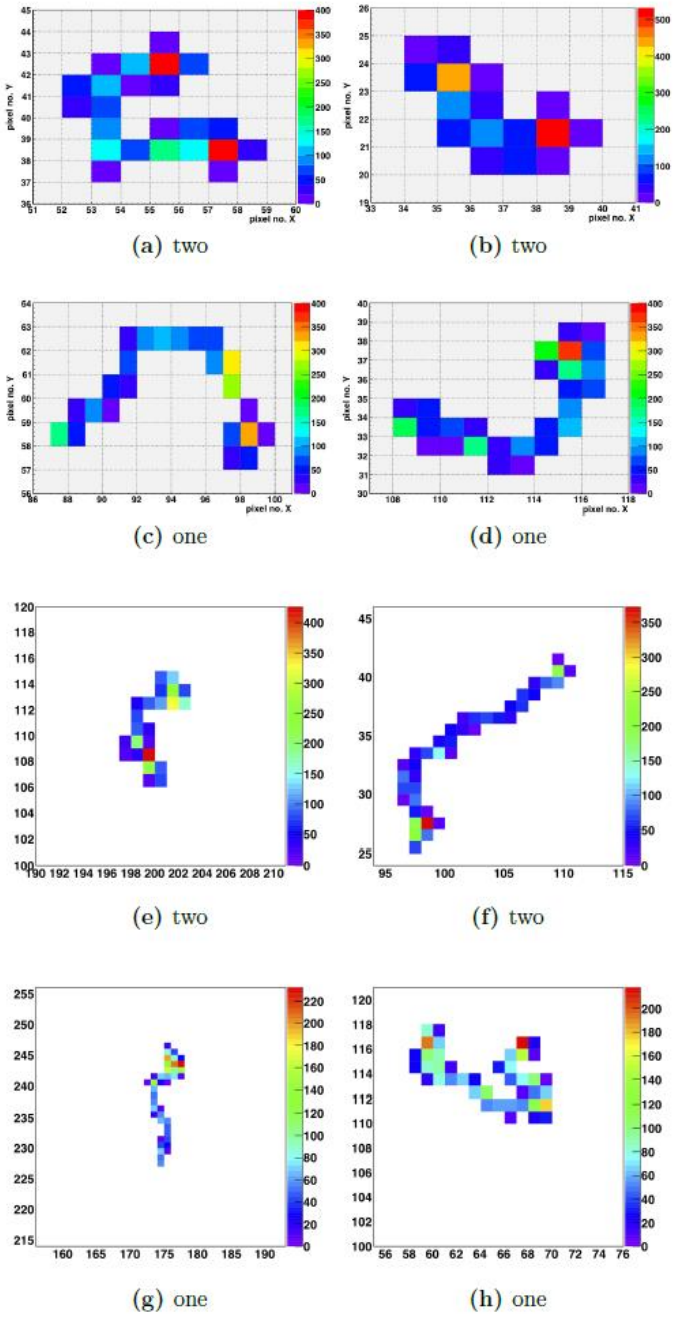


Figure IV.9: Four two electron (a,b,e,f) and four one electron tracks (c,d,g,h). Tracks (a) - (d) were measured whereas (e) - (f) were generated by simulations. Particles on (a) - (d) had an energy of about 2.3 MeV and (e)-(f) are tracks of particles with 2.8 MeV.

Спасибо за внимание !

Пожалуйста, ваши вопросы.