

РАЗРАБОТКА СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНОГО МЕТОДА РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗАЦИИ В ДЕТЕКТОРАХ НА ОСНОВЕ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ

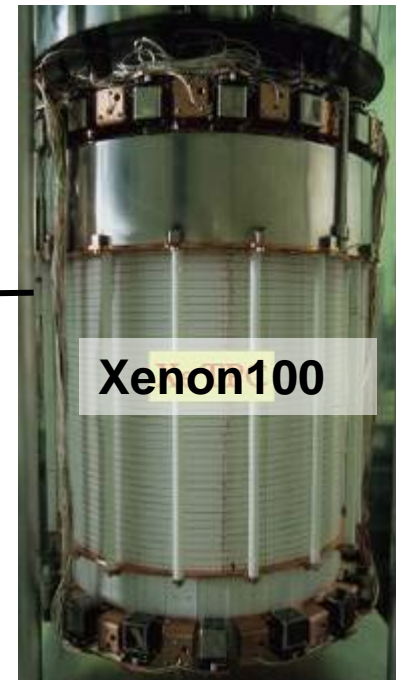
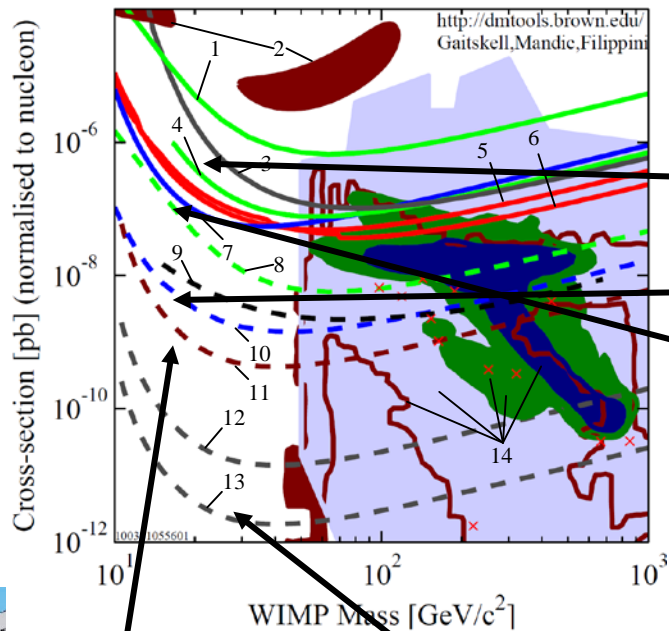


1

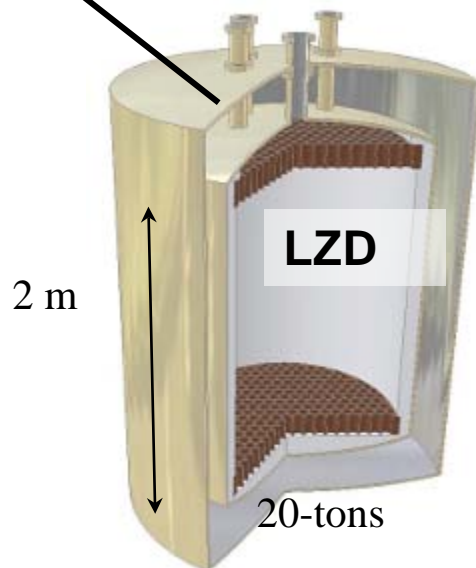
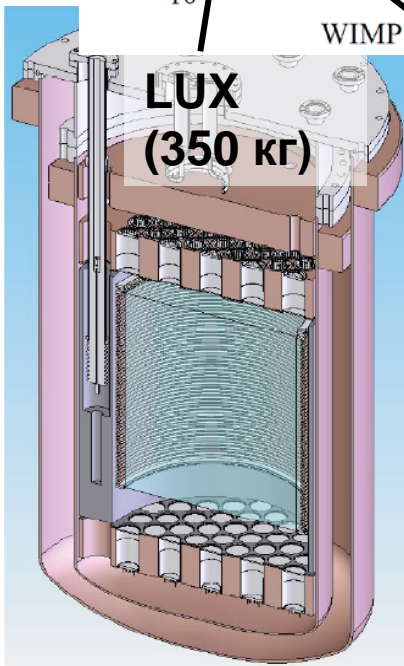
Работа выполнена в Институте Теоретической и
экспериментальной физики

Научный руководитель:
Кандидат физико – математических наук, Д.Ю.
АКИМОВ

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОИСКУ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ



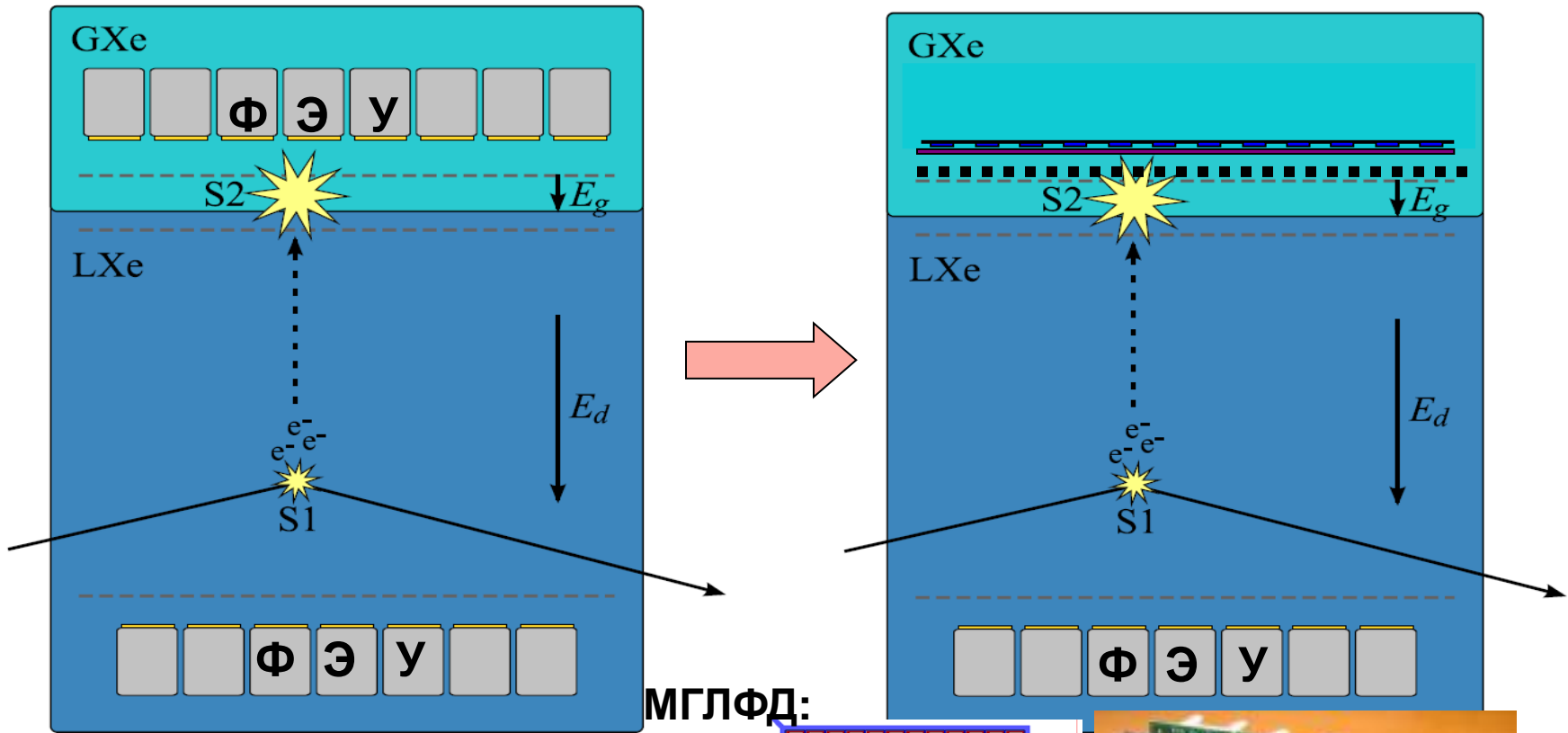
XMASS



Все детекторы используют ФЭУ для регистрации вакуумного ультрафиолета.

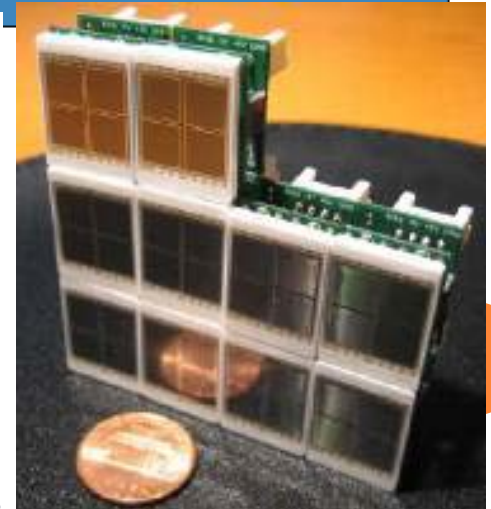
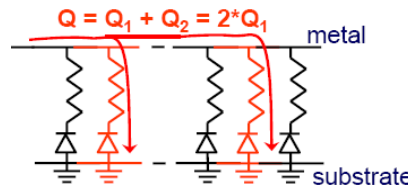
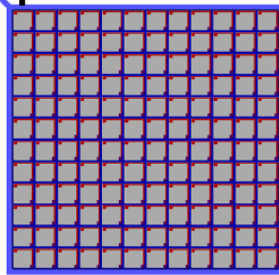
ФЭУ – самый радиоактивный элемент в детекторе

Ф Э У → МГЛФД+ Спектросместитель+ТГЭУ

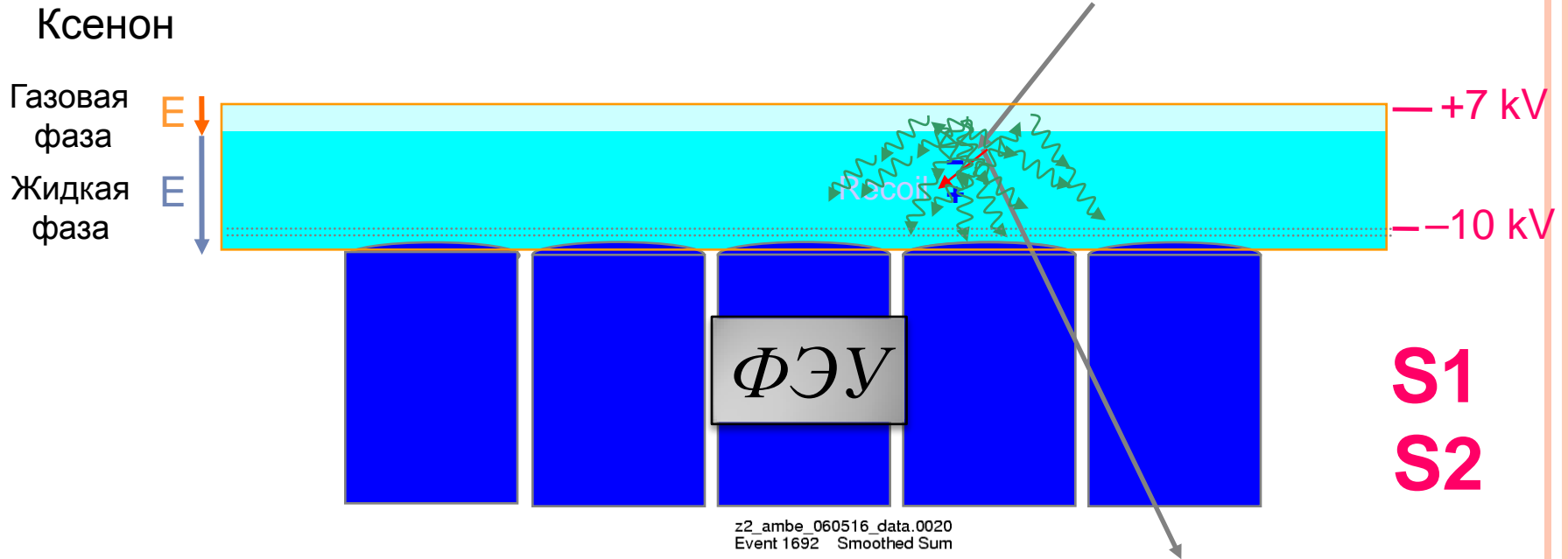


МГЛФД:

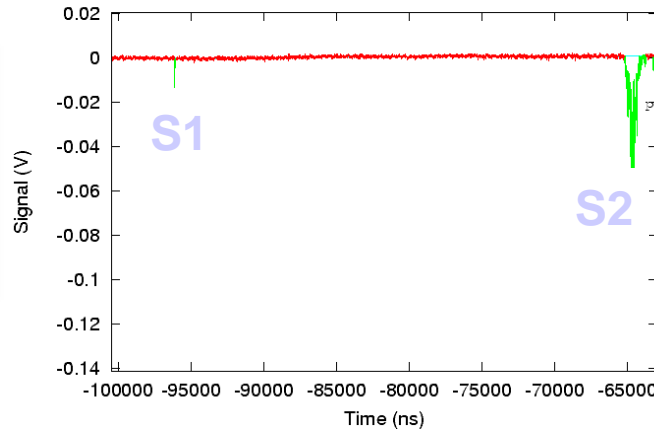
- Уменьшено количество радиоактивных элементов
- Улучшена координатная точность, особенно для слабых сигналов



Принцип работы двухфазного эмиссионного детектора



z2_ambe_060516_data.0020
Event 1692 Smoothed Sum



По отношению сигналов S1 и S2 можно определить тип частицы



МНОГОПИКСЕЛЬНЫЙ ГЕЙГЕРОВСКИЙ ЛАВИННЫЙ ФОТОДИОД

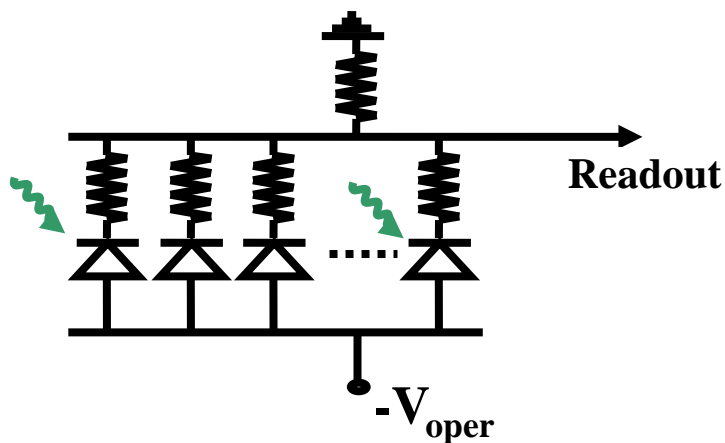
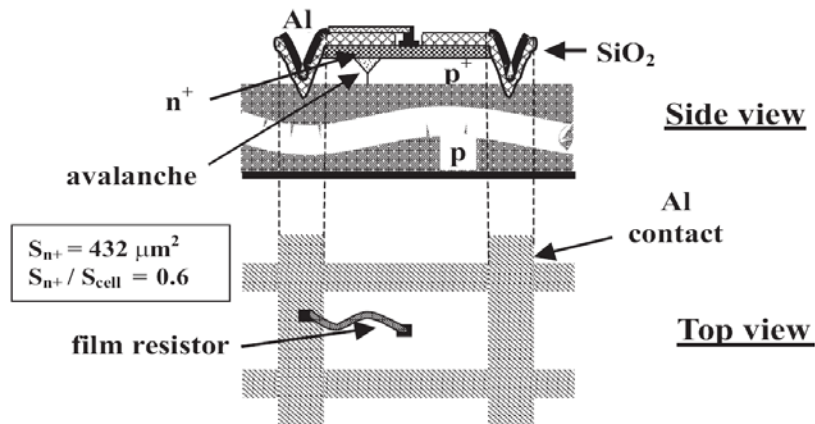
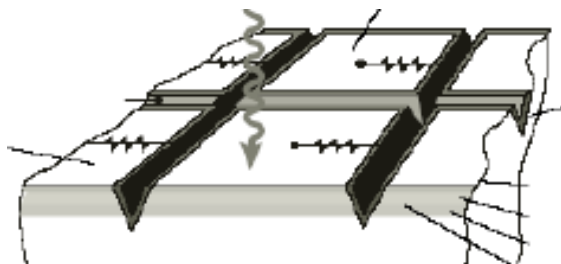


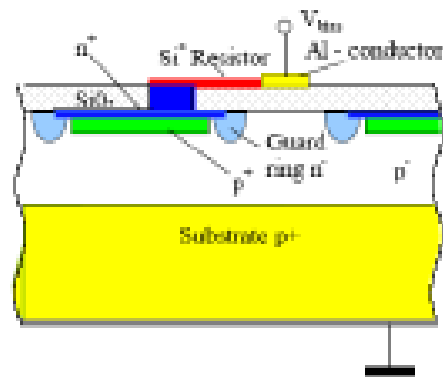
Схема МГЛФД



Структура ячейки



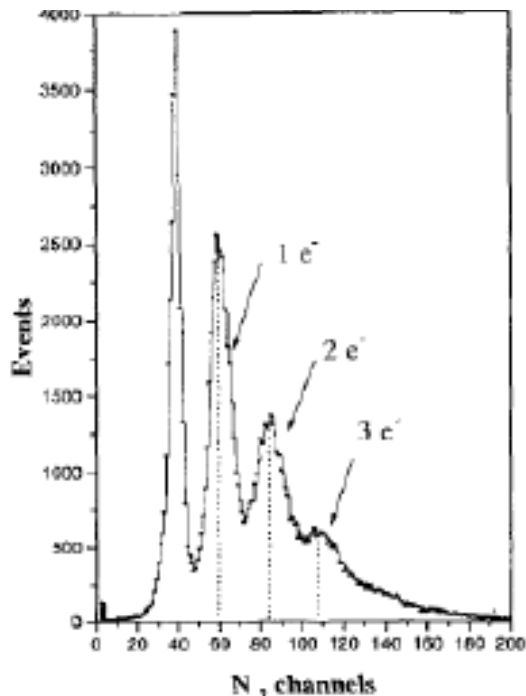
Вид матрицы ячеек



МНОГОПИКСЕЛЬНЫЙ ГЕЙГЕРОВСКИЙ ЛАВИННЫЙ ФОТОДИОД

LED pulse spectrum

(A. Akindinov et al., NIM387 (1997) 231)



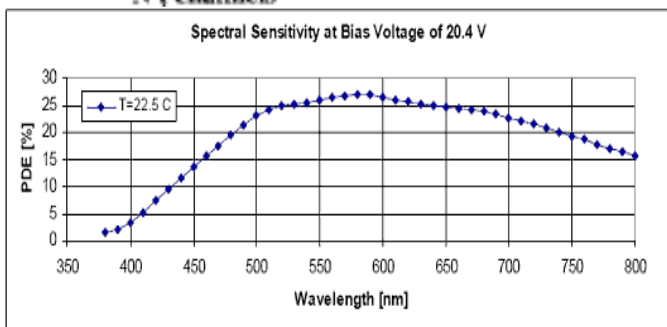
$$\text{Умножение: } M = C * (U - U_{br})$$

$$\text{Заряд: } Q = e * N_{cell} * C * (U - U_{br})$$

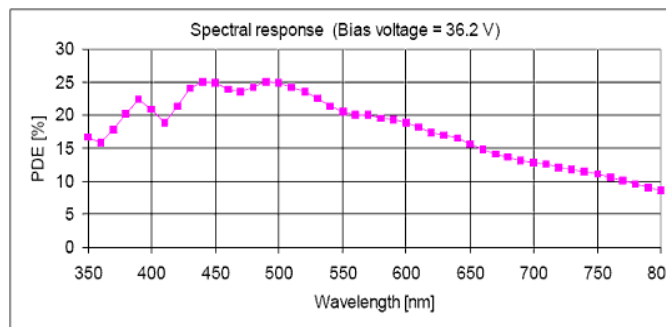
Эффективность регистрации
фотонов:

$$PDE = Q.E. * R_G * \epsilon_{geom}$$

*PDE в зависимости от длины
волны для диодов ЦПТА 2x2
mm²*

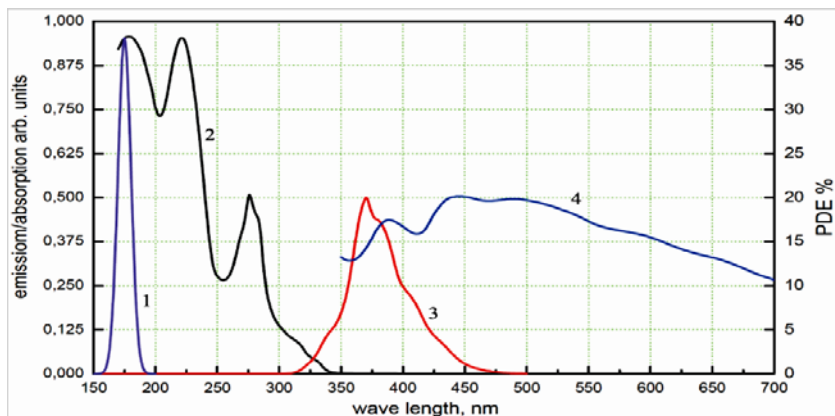


ЦПТА – «зеленый»



ЦПТА – «синий»

Работы были начаты с поиска эффективного переизлучателя из ВУФ в синюю область и испытаний МГЛФД



- 1- спектр излучения Хе,
- 2 – спектр поглощения р-терфенила,
- 3 – спектр излучения р-терфенила,
- 4 – спектральная чувствительность МГЛФД (ЦПТА)

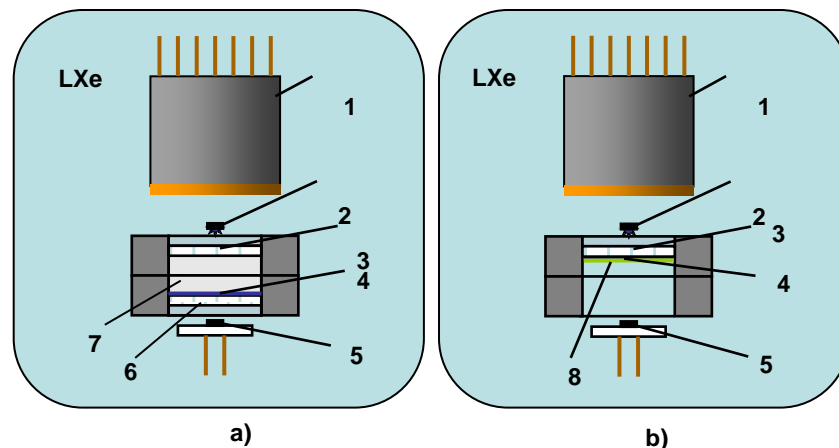
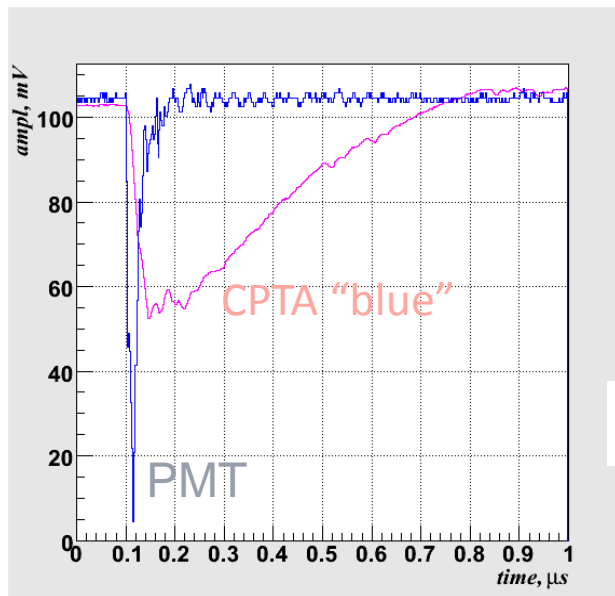


Схема измерений. а) Слой р-терфенила герметизирован между окнами, б) р-терфенил покрыт слоем поли-пара-ксилиленом. 1 – ФЭУ Hamamatsu R7200, 2 – α -источник ^{241}Am , 3 – окно (сапфир), 4 – р-терфенил, 5 – МГЛФД, 6 – окно, 7 – Ag атмосфера между окнами, 8 – слой поли-пара-ксилилена.

➤ Оработана технология нанесения переизлучателя (р-терфенил) на сапфир и покрытия его конформной защитной пленкой поли-пара-ксилилена, исследованы спектральные характеристики переизлучателя.

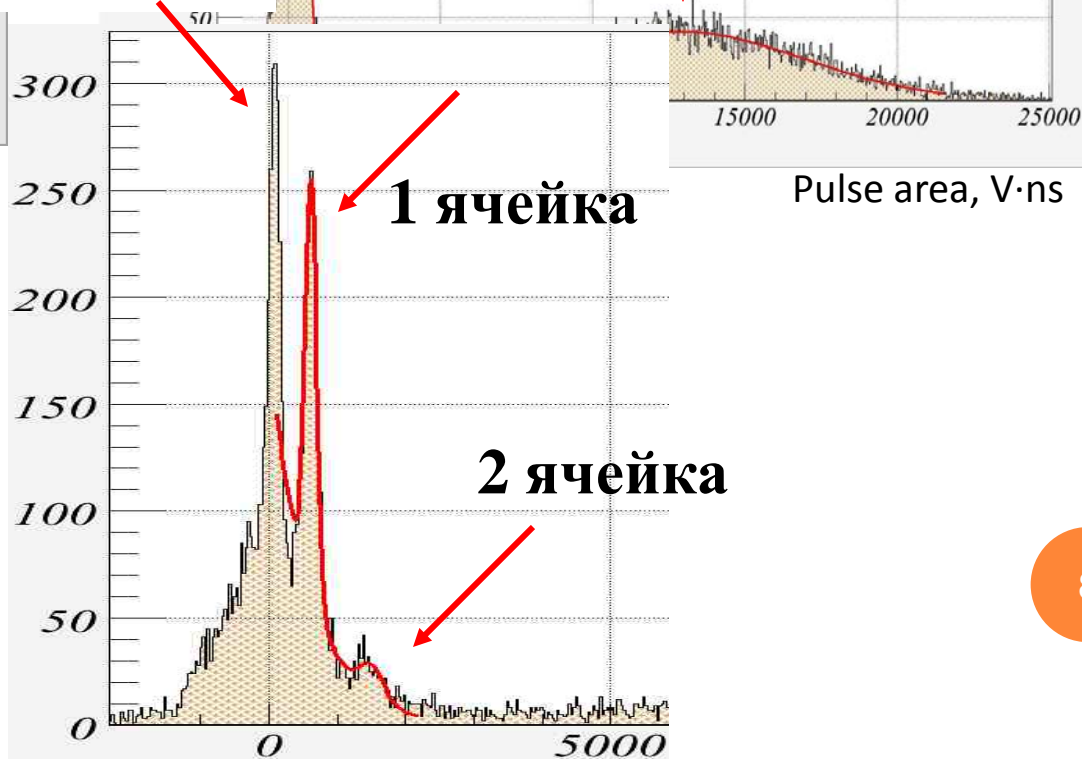
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ



пьедестал

шум

α ПИК



Pulse area, V·ns

Положения α пика
1 вариант 27 ячеек
2 вариант 84 ячеек

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ВЫЧИСЛЕНИЙ

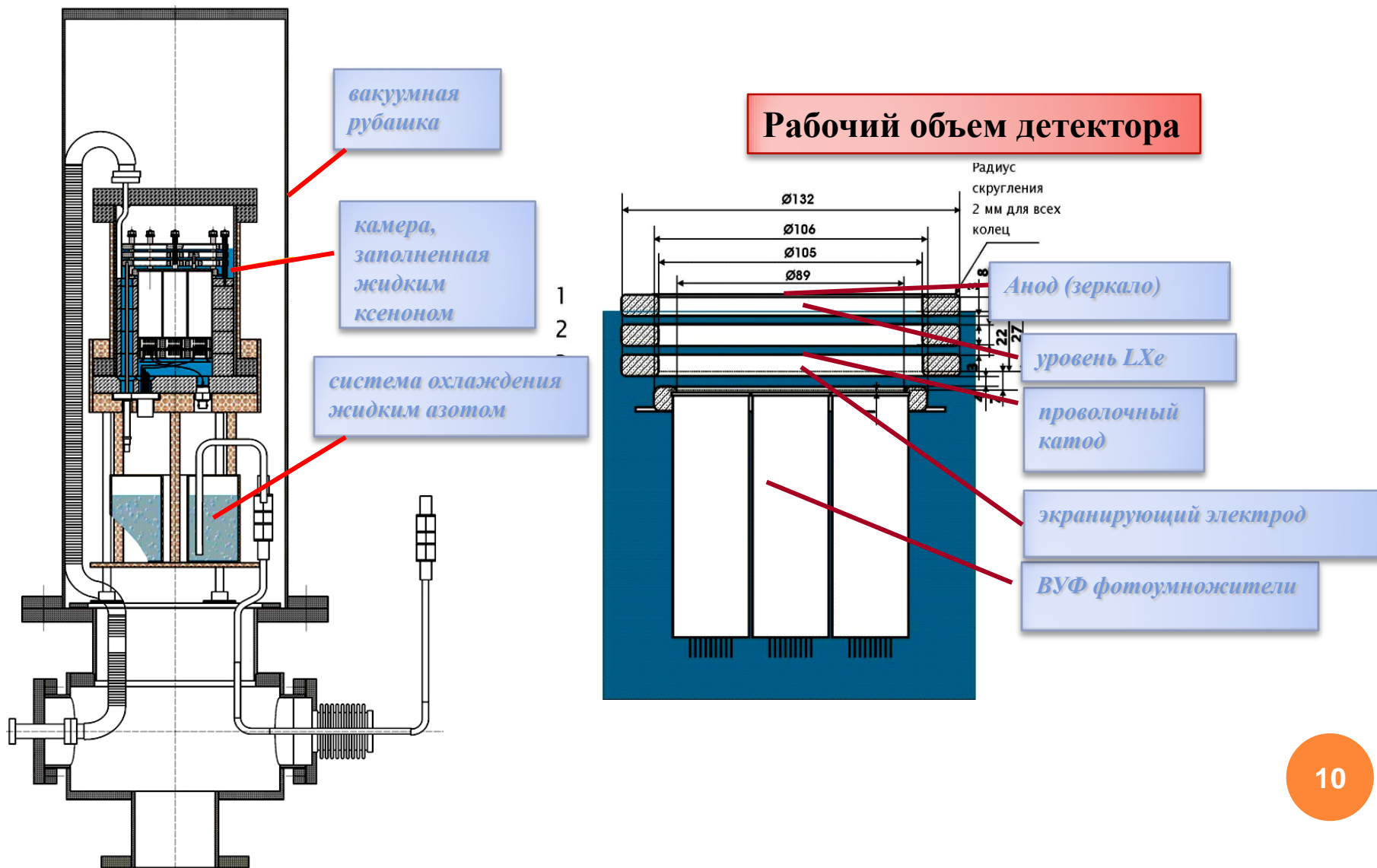
Конструкция спектросместителя	N_{cells}	Ω	PDE ,%
P-терфенил герметизирован между двумя оптическими окнами	24 ± 0.5	$1.35 * 10^{-3}$	9.7 ± 1.2
P-терфенил покрыт поли- пара-ксилиленовой пленкой	72 ± 1.5	$1.99 * 10^{-2}$	8.4 ± 1.1

P. Benetti, et al., *Nucl. Instr. Meth.* **A505**, 89
(2003).

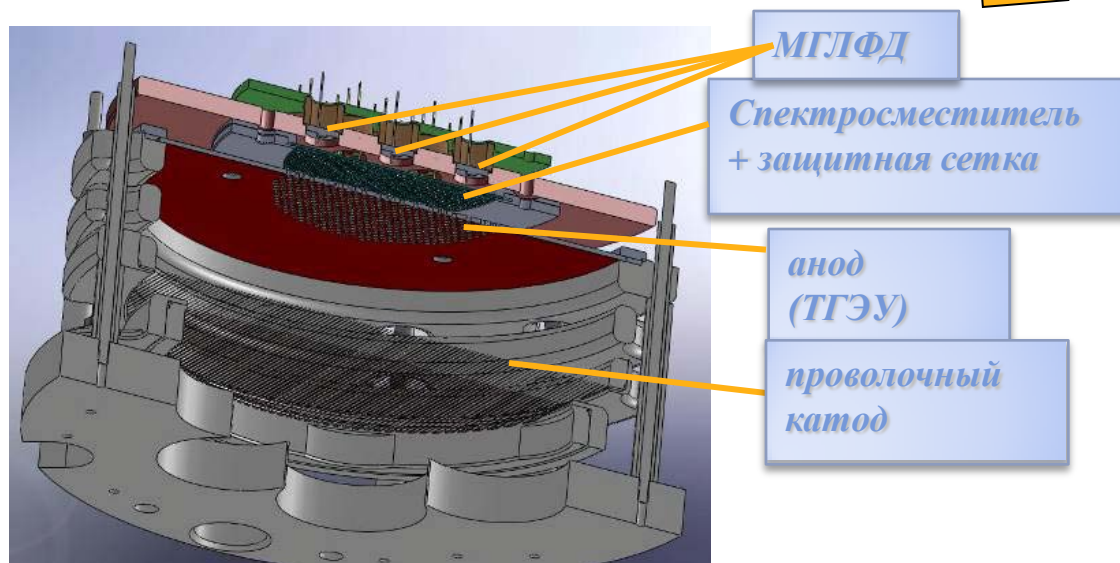
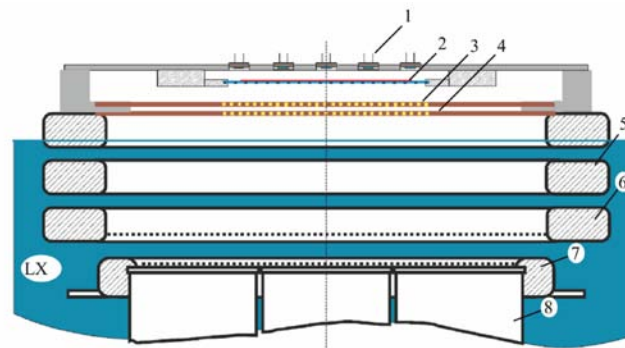
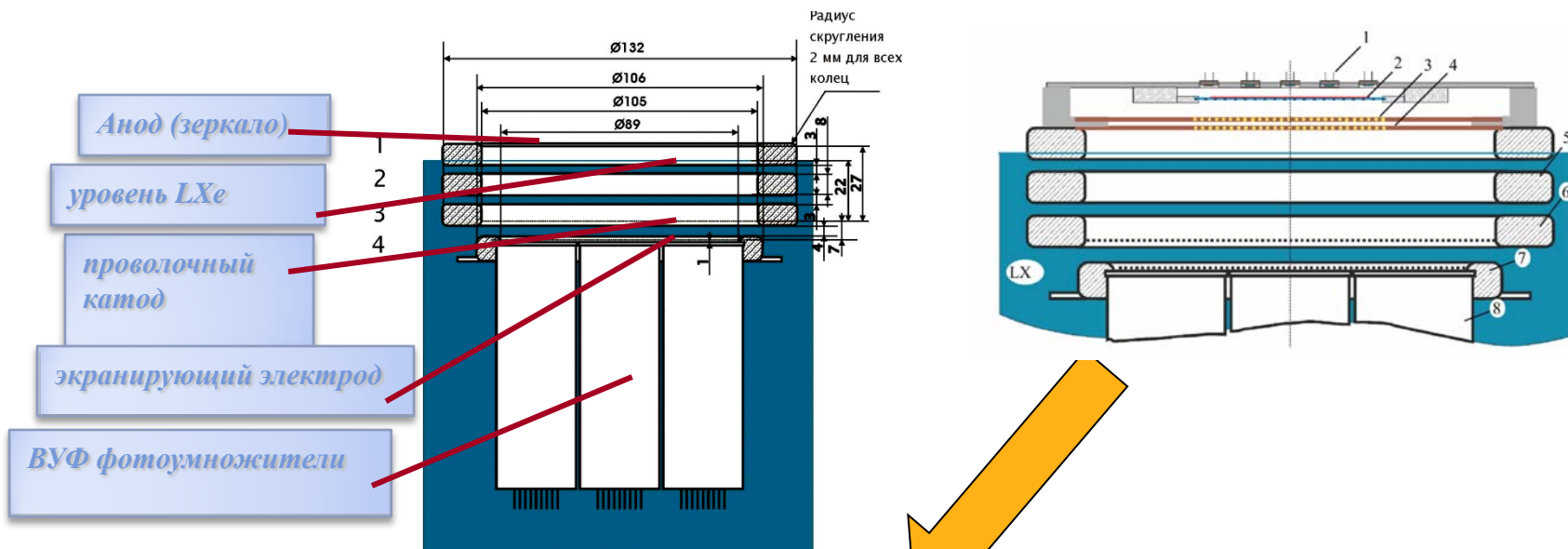
For a blue sensitive PMT (QE $\approx 20\%$) with

WLS: $\sim 10\%$

Демонстрационный прототип регистрирующей системы ТГЭУ + Спектросместитель + матрица МГЛФД установлен в тестовую камеру ИТЭФ (прототип детектора ZEPLIN III).

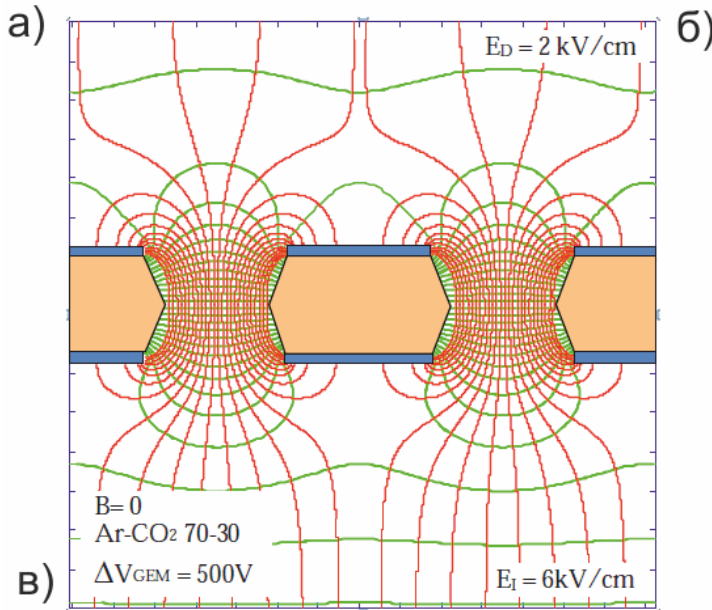
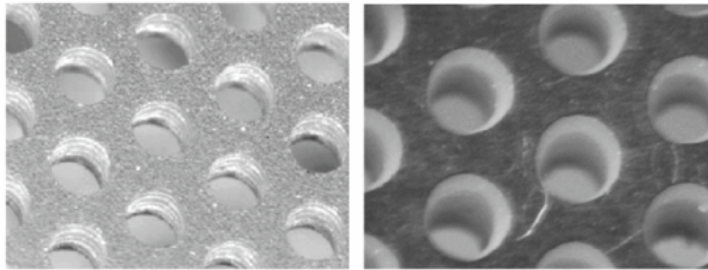


Демонстрационный прототип регистрирующей системы ТГЭУ + Спектрсмещитель + матрица МГЛФД



Диаметр ТГЭУ = 50 мм
Диаметр рабочей области
камеры = 106 мм

Газовый Электронный Умножитель

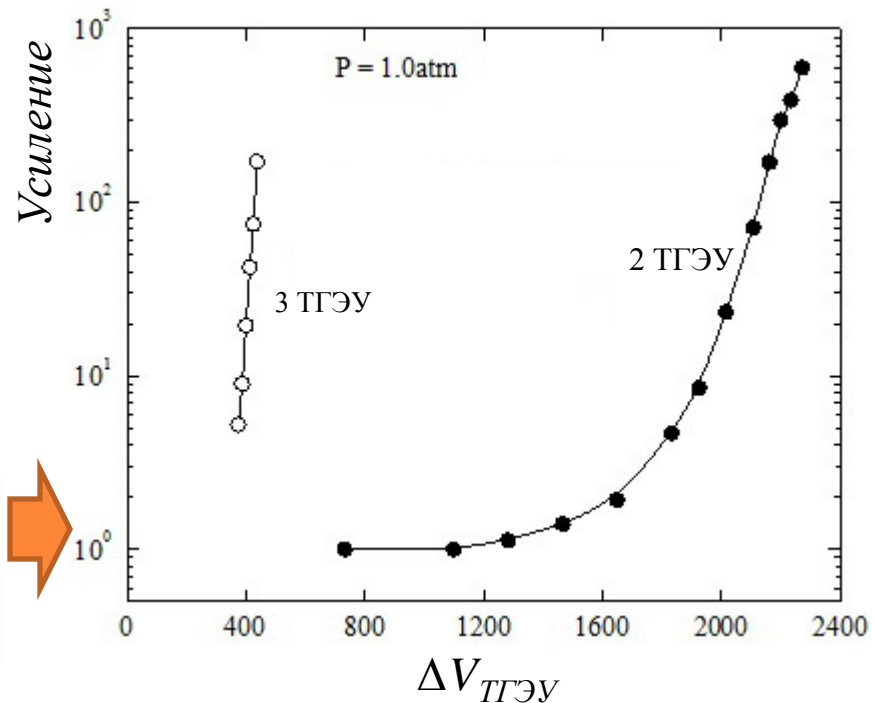


Фрагменты ТГЭУ, изготовленные по технологии печатных плат:

а) из фольгированного стеклотекстолита

б) из фольгированного фторопласта

в) Картина силовых линий электрического поля в ГЭУ



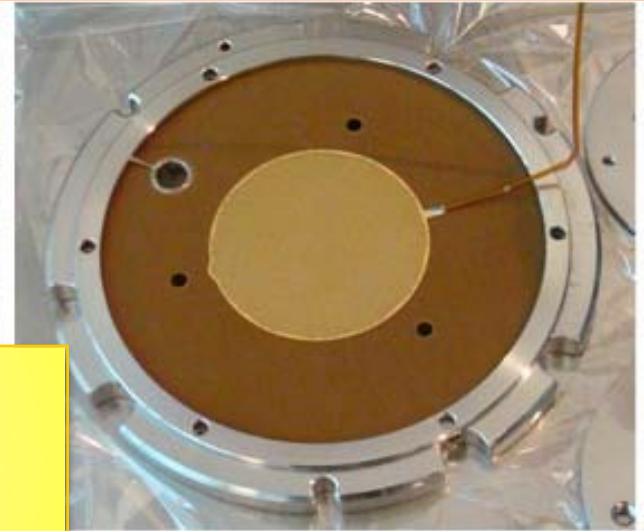
Усиление 2х и 3х каскадных ТГЭУ, полученная в двухфазном, ксеноновом детекторе

Компоненты системы



ГЭУ

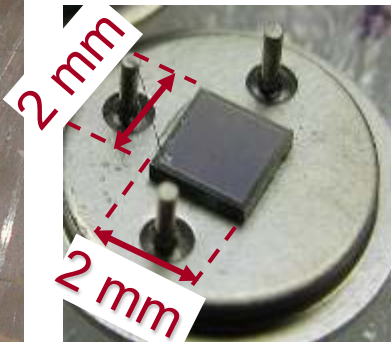
шаг - 0.7 мм,
диаметр - 0.4 мм,
толщина - 0.25 мм



Переизлучатель на сапфире + сетка



фотодиод
производства
ЦПТА

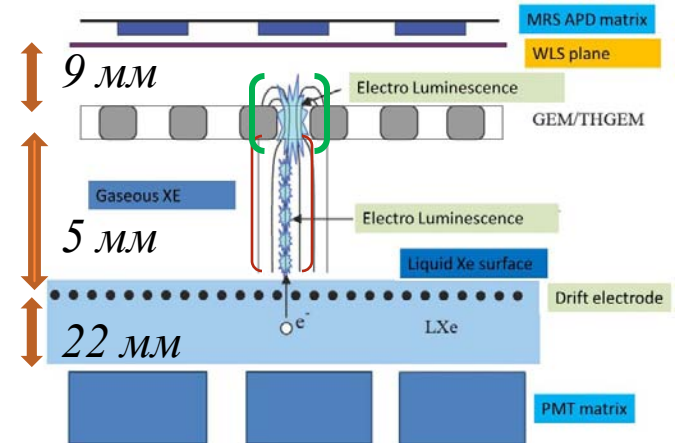
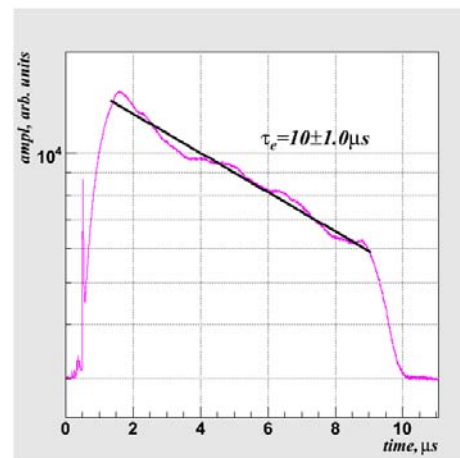
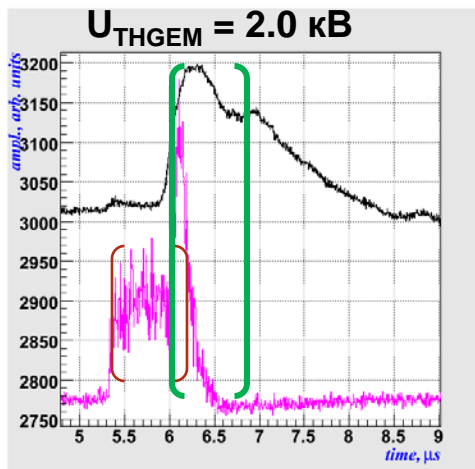
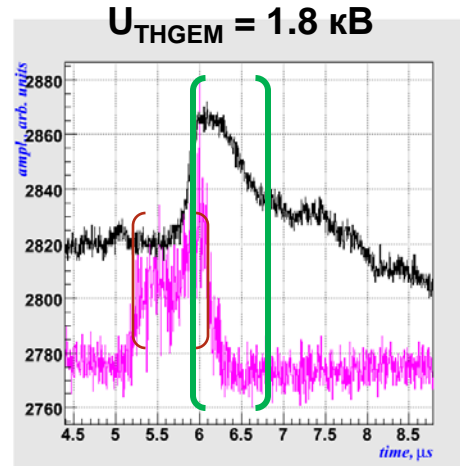
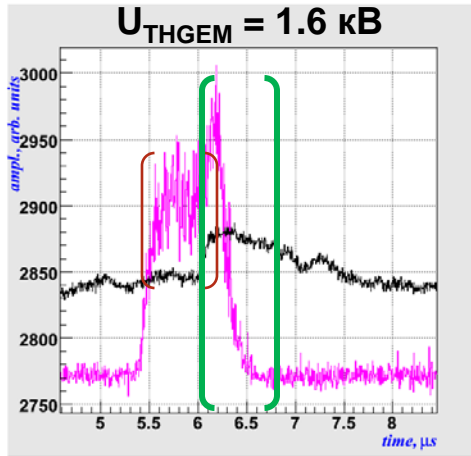


Матрица: 19 фотодиодов



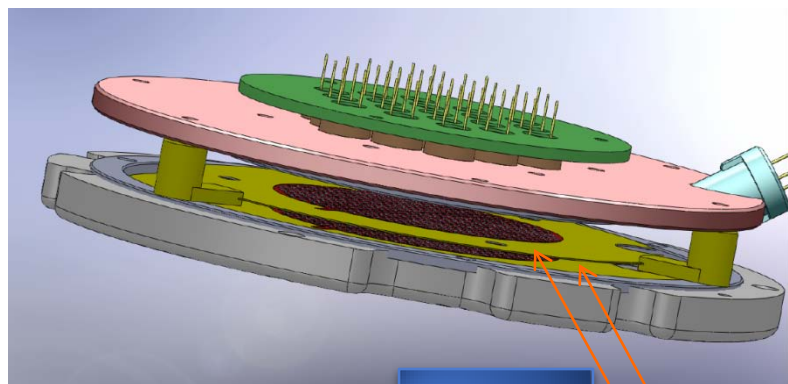
Первые результаты

Испытания системы были проведены в декабре 2010 – январе 2011



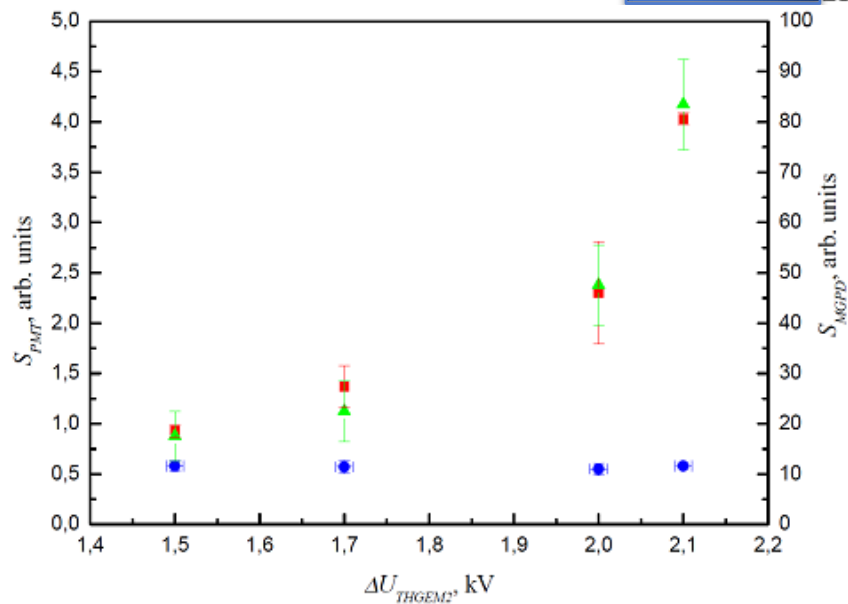
Время жизни электрона ~ 10 мкс

Схема 2ТГЭУ + Спектросместитель + МГЛФД - Результаты

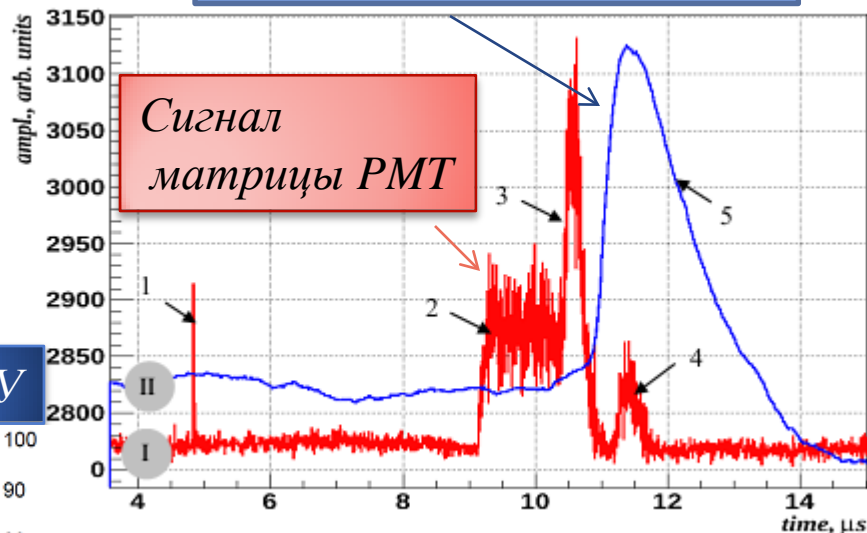


2 ТГЭУ

1 ТГЭУ



Сигнал матрицы MRS APD

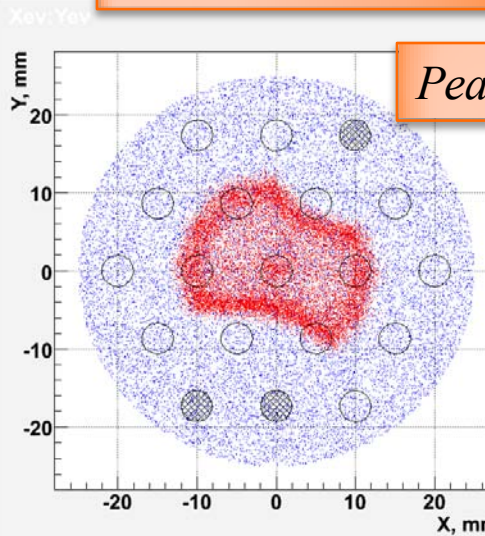


Сигнал матрицы PMT

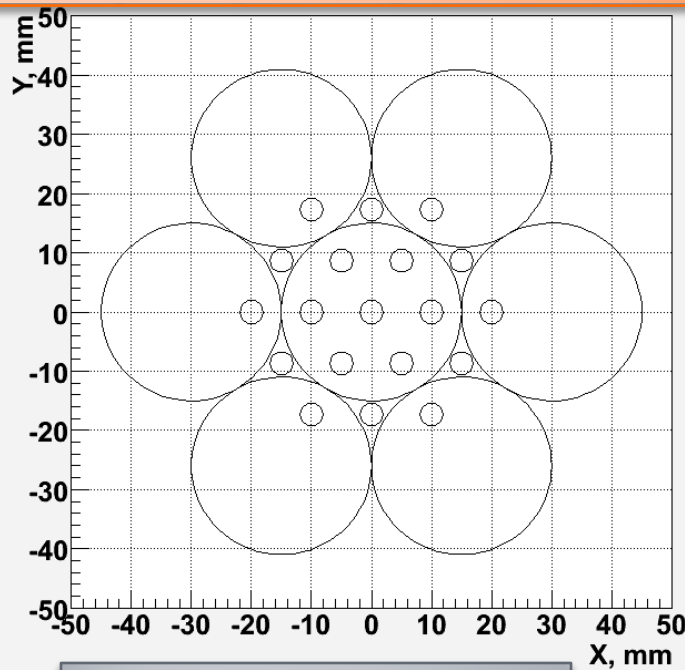
Сигналы с 1-го ТГЭУ и 2-го ТГЭУ (площади соответствующих сигналов) от ΔU_{TGM2} . Синие и красные маркеры – величина сигнала, полученного с матрицы ФЭУ, источники сигнала - 1й ТГЭУ и 2й ТГЭУ (Левая шкала); Зеленые маркеры – величина сигнала, полученного с матрицы МГЛФД, источник - 2й ТГЭУ (Правая шкала).

Моделирование светосбора методом Монте-Карло

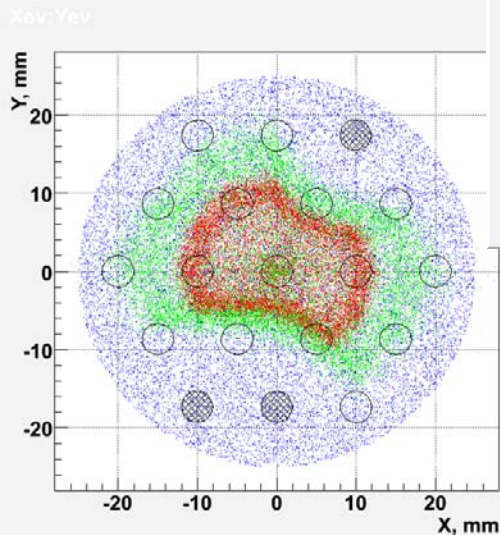
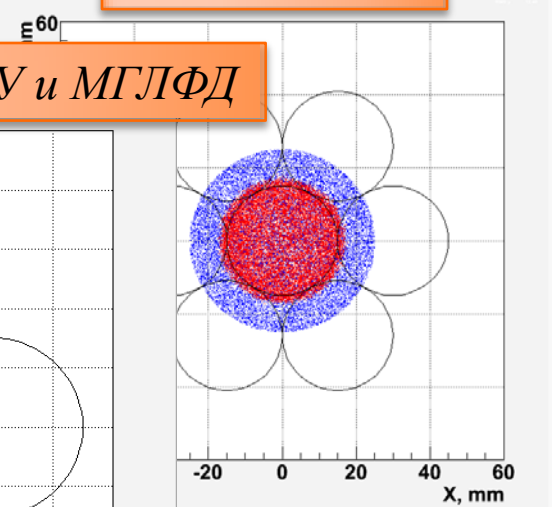
Матрица МГЛФД



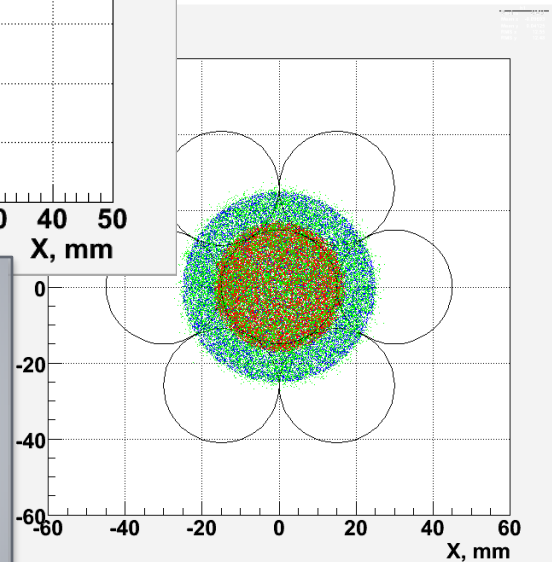
Реальные размеры матриц ФЭУ и МГЛФД



Матрица ФЭУ

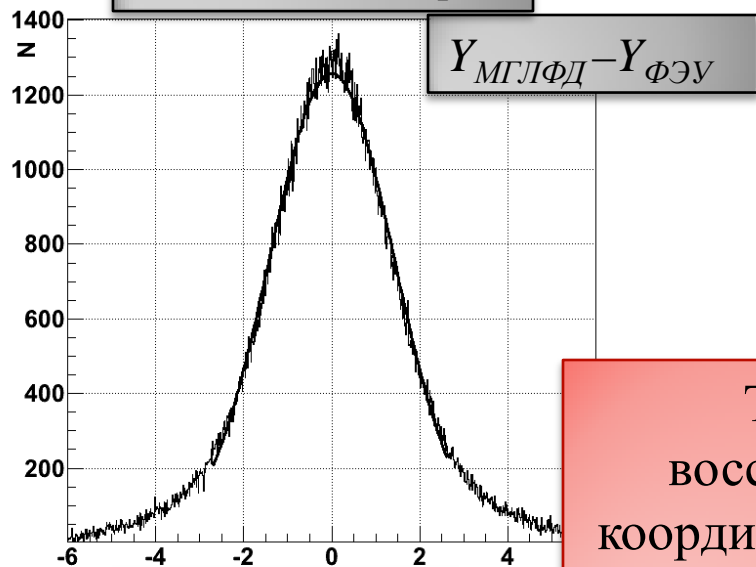


Синие точки – метод Монте-Карло,
Красные точки – полученные координаты с помощью метода центра масс
Зеленые точки - полученные координаты с помощью метода центра масс с учетом коррекции

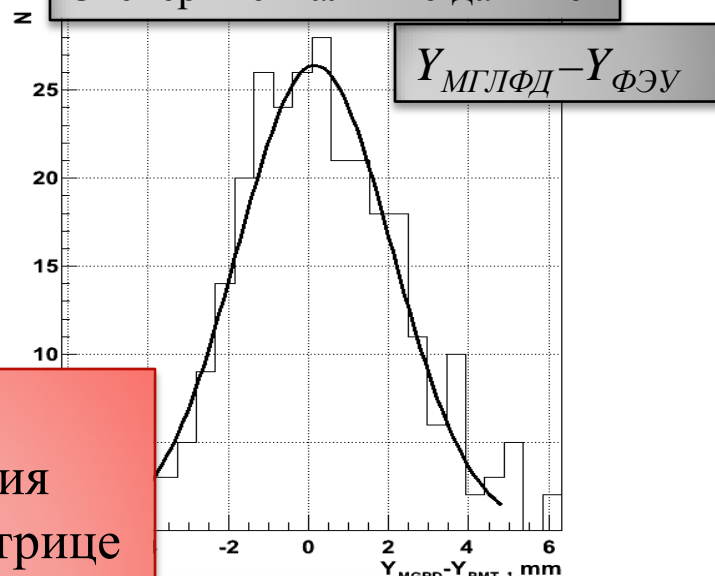


Моделирование светосбора методом Монте-Карло

Метод Монте-Карло



Экспериментальные данные



Точность

восстановления

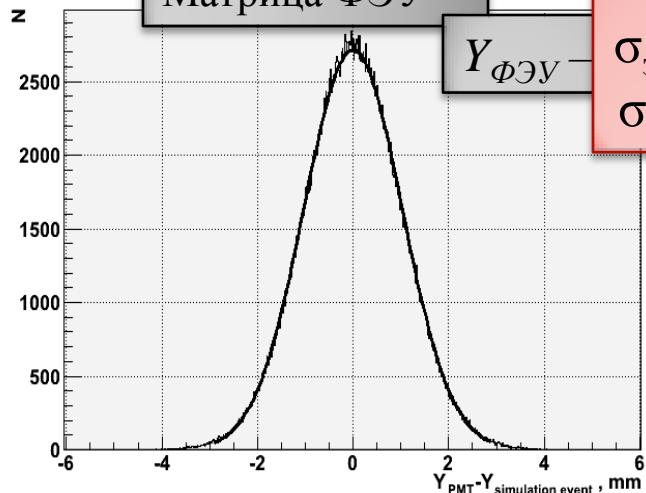
координат по матрице

МГЛФД

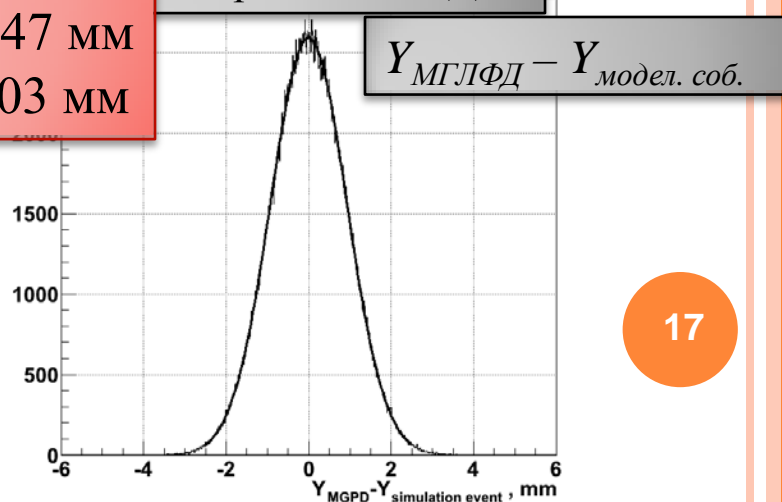
$$\sigma_{\text{эксп}} = 1.869 \pm 0.147 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{мод}} = 1.357 \pm 0.003 \text{ мм}$$

Матрица ФЭУ



Матрица МГЛФД



Оценка чувствительности

Чувствительность схемы ТГЭУ+Спектрсмещитель+МГЛФД составила 0.75 ± 0.1 ячейки/е (При данном значении перенапряжения (~ 1 В), PDE $\sim 1/3$ от полного значения)



Фактор заполнения(Геометрическая эффективность) $\sim 6\%$. Можно достичь $\sim 50\%$, (при использовании фотодиодов большой площади),



чувствительность составит ~ 20 ячеек/е,

сравнимо с современными матрицами ФЭУ.

Современные фотодиоды фирмы КЕТЕК GmbH обладают эффективностью $> 40\%$ на длине волны 420 нм (в 2 раза выше чем у фотодиодов ЦПТА, которые были использованы в данной работе)

Для новых МГЛФД РМ6660 фирмы КЕТЕК отношение размера чувствительной области (6.0 x 6.0 мм) к полной площади (7.0 x 7.5 мм) = 0.69.



Чувствительность ~ 50 ячеек/е
(при использовании МГЛФД РМ6660)

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Эффективность регистрации (PDE) для системы фотодиод + спектросместитель составила 10%
- Успешно протестирована защита р-терфинила, предотвращающая загрязнение ксенона электроотрицательными примесями.
- Успешно протестирован переизлучатель большой площади с защитным слоем в двухфазном детекторе.
- Продемонстрирована работа ТГЭУ в ксеноне (электролюминесцентное усиление).
- Показана работоспособность многоканальной системы лавинных Гейгеровских фотодиодов в криогенном детекторе на благородном газе (впервые в мировой практике).
- Показано отсутствие существенного выделения загрязнений многочисленными органическими элементами системы.

Отметим, что для работы системы в составе детектора Темной Материи требуются более мощные средства очистки благородного газа от электроотрицательных примесей: максимально достигнутое время жизни свободных электронов составило 10 мкс при имевшемся ранее значении ~ 15 – 20 мкс.