

Торцевой калориметр детектора КМД-3

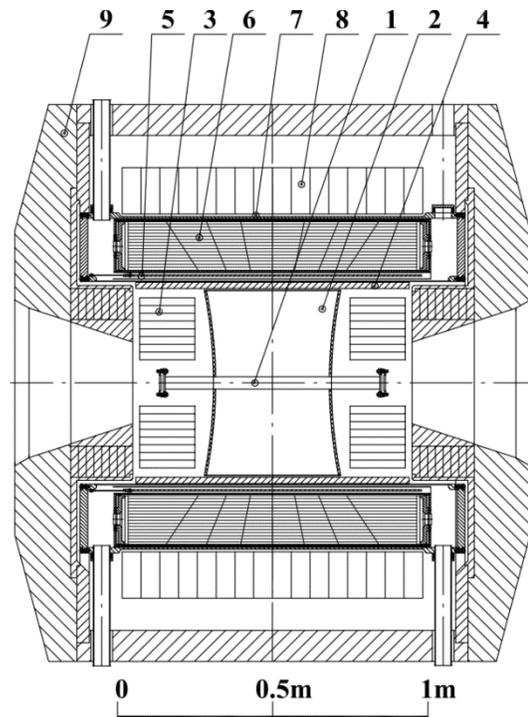
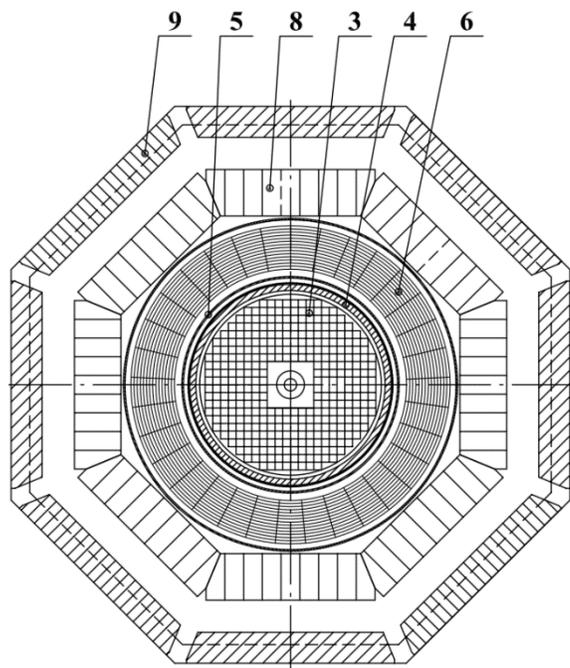
Р.Р. Ахметшин, Д.Н. Григорьев, И.С. Дубровин, В.Ф. Казанин, Ю.В. Юдин

ИЯФ СО РАН

Физика фундаментальных взаимодействий, Секция Ядерной Физики ОФН

ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 13.03.2026

Детектор КМД-3



- 1- ось пучков
- 2 - дрейфовая камера
- 3 - **торцевой калориметр (BGO)**
- 4 - Z-камера
- 5 - сверхпроводящий магнит 1,3 Т
- 6 - цилиндрический калориметр (LXe)
- 7 - времяпролетные счетчики
- 8 - цилиндрический калориметр (CsI)
- 9 - ярмо магнита

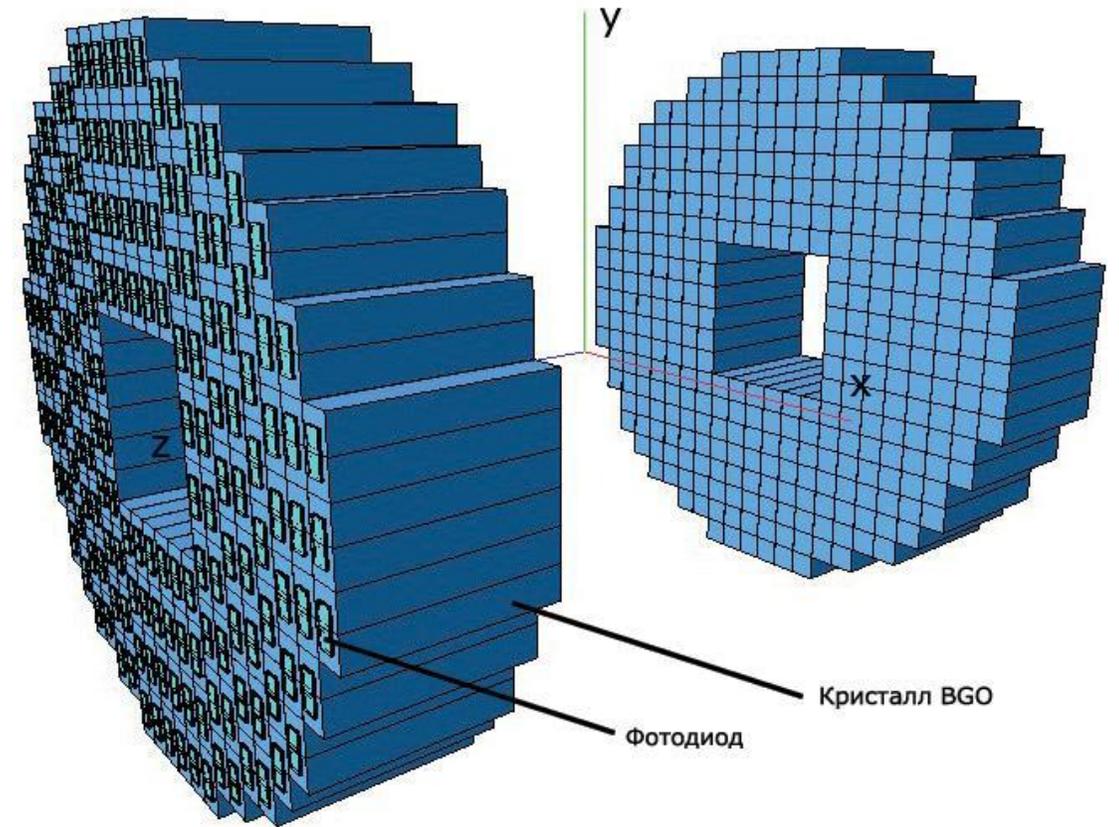
Калориметр расположен в торцах детектора.

Всего 680 кристаллов BGO, ~450 кг.

Полный телесный угол калориметров 0,94х4л

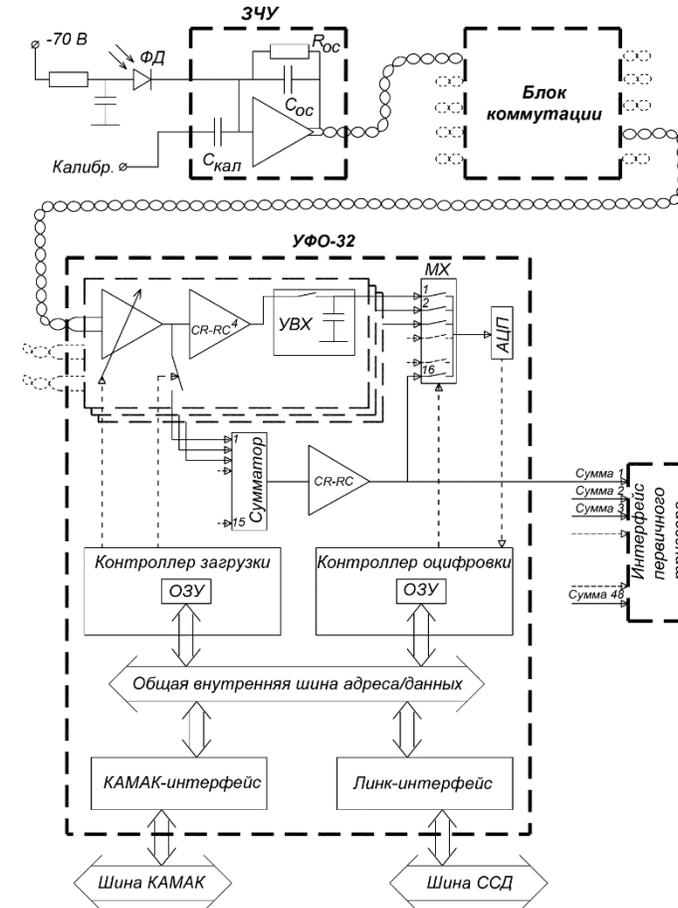
Основные элементы торцевого калориметра

- Полярные углы: $16-49^\circ$ и $131-164^\circ$ ($0,3 \times 4\pi$)
- Длина кристалла 150 мм (13,4 X0)
- Поперечный размер кристалла 25 мм (~радиус Мольера 22 мм)
- Фотоприемники: PIN фотодиоды чувствительная площадь 1 кв.см (S3590-08 Hamamatsu)

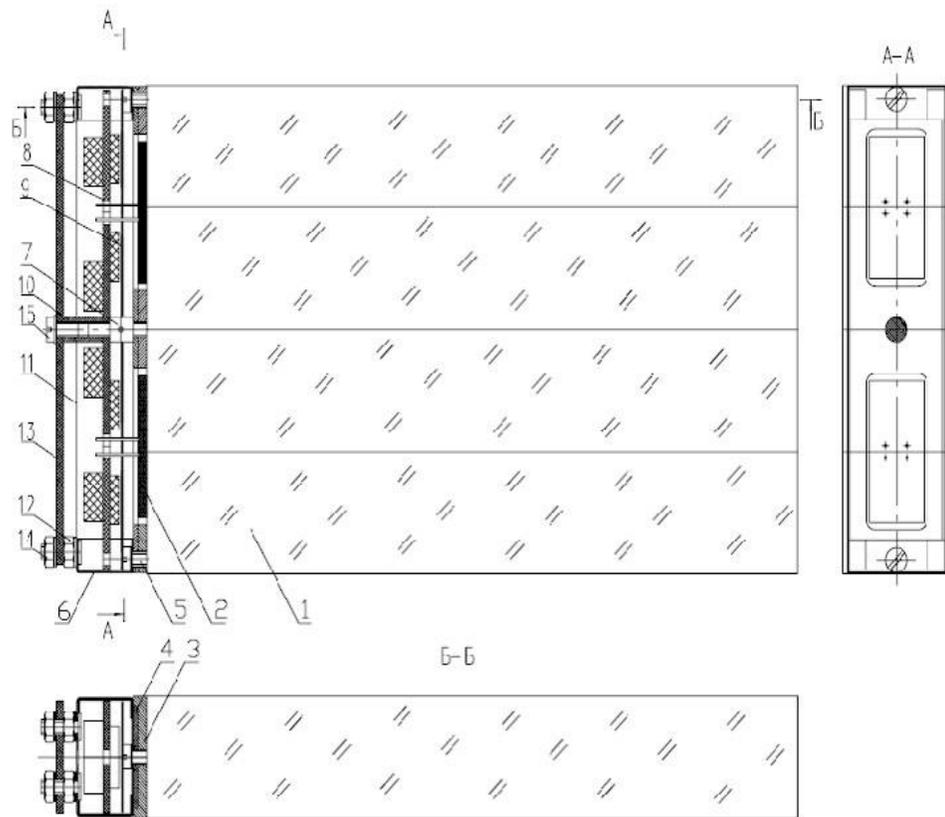


Электроника торцевого калориметра

- Зарядочувствительные усилители (ЗЧУ) расположены непосредственно на ФД для минимизации шумов
- Основная электроника в блоках Усилителей-Формирователей и Оцифровщиков (УФО-32)
- Между ЗЧУ и УФО-32 блоки коммутации для формирования групп кристаллов для триггера



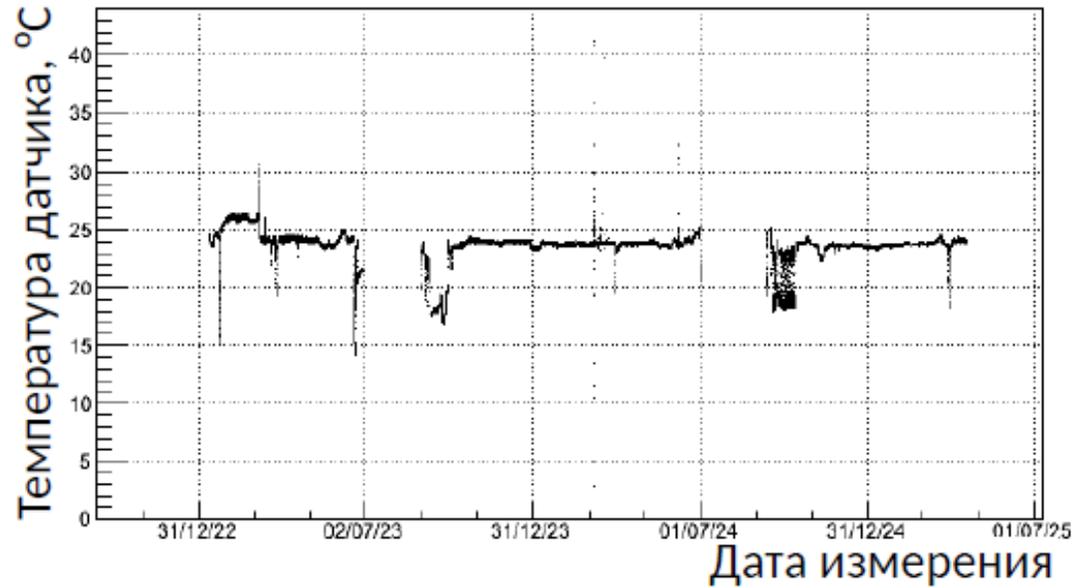
модуль торцевого калориметра (114 – из 4 кристаллов, 36 – из 6 кристаллов)



Полная длина модуля 178 мм



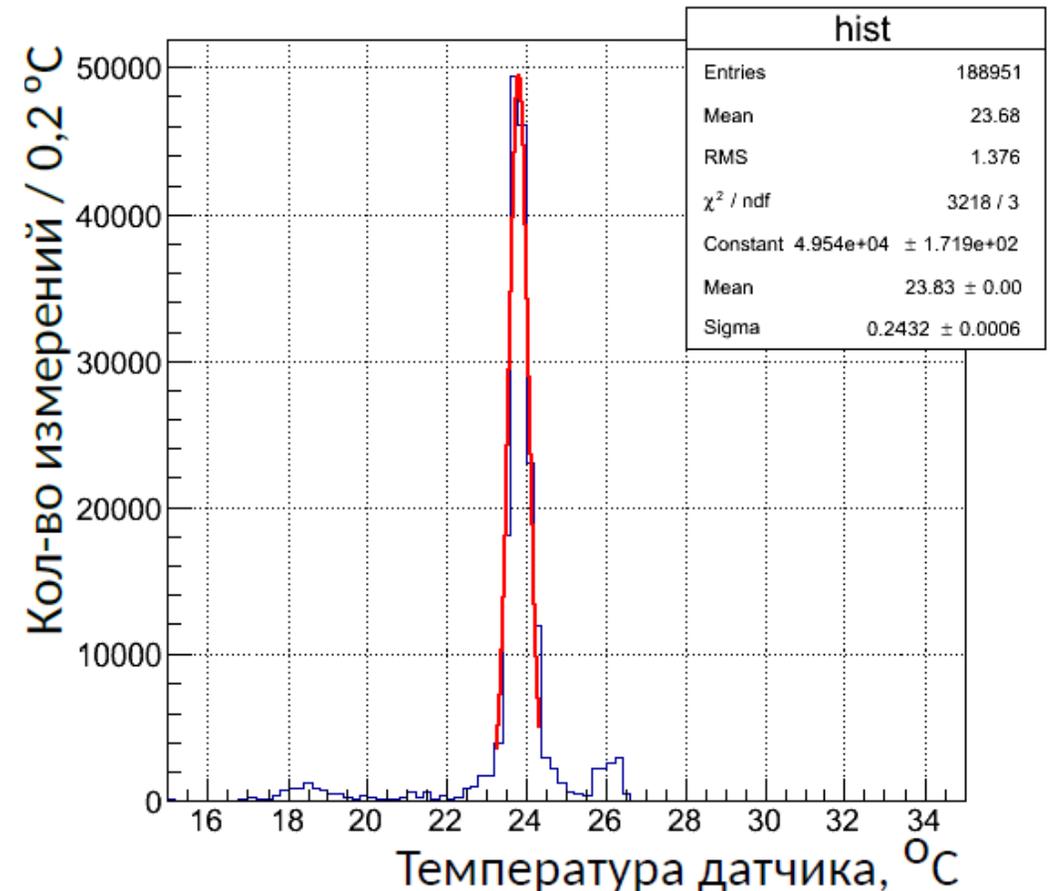
Термостабилизация торцевого калориметра (зависимость световыхода BGO от T -1,5%/градус)



Результат измерения температуры в течении ~2,5 лет

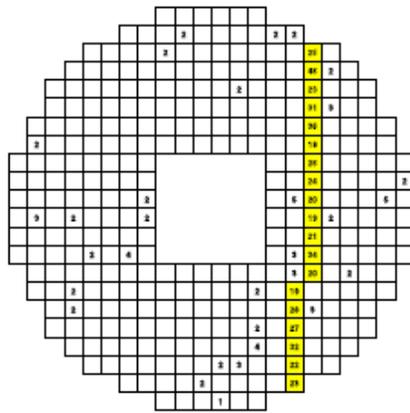
В рабочем режиме стабильность температуры ~0,25°C

→ незначительный вклад в разрешение



Оперативная калибровка по данным: космика

Run #4800 Event # 542

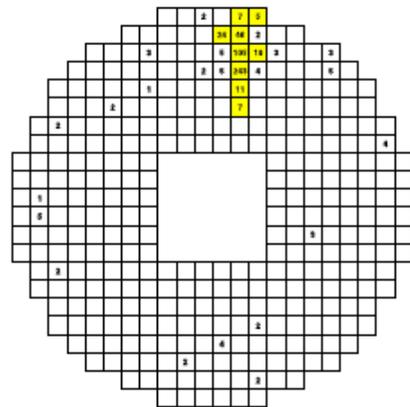


“cosmics”

Cluster Parameters

CrysNum	26
Energy	525.09
XCoord	-13.14
YCoord	-0.39
ClusWord	4
MomRatio	14.52
ClusDisp	11.86
ClusNeigh	1.89

Run #4800 Event # 172



“shower”

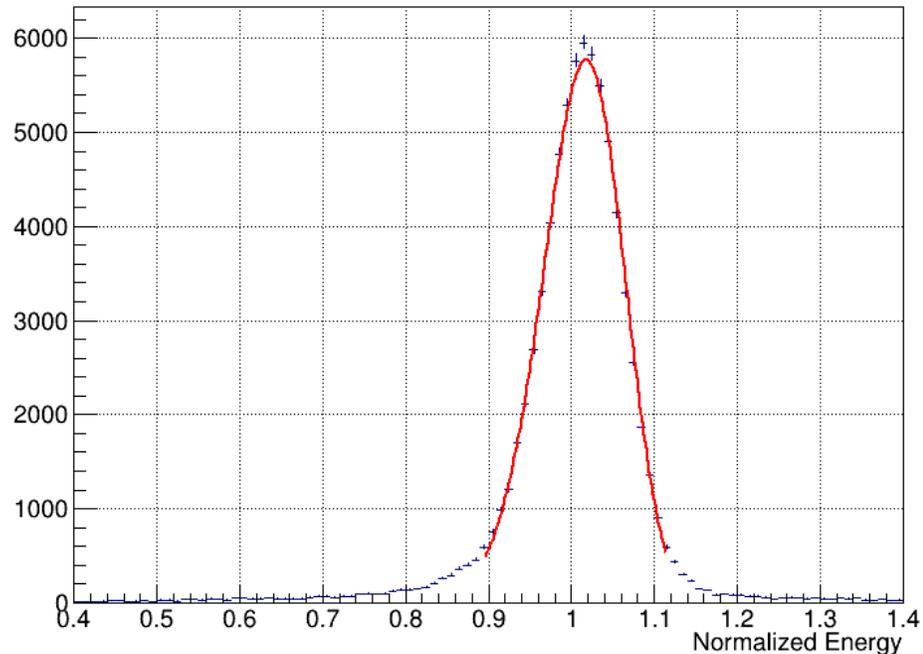
Cluster Parameters

CrysNum	14
Energy	492.48
XCoord	-4.05
YCoord	20.05
ClusWord	4
MomRatio	2.21
ClusDisp	63.47
ClusNeigh	2.89

- Проблема: ливнеобразующих частиц на 2 порядка больше при наборе данных чем событий космического излучения
- Отбор событий для калибровки:
- $J_{max}/J_{min} > 4$ (по аналогии с моментом инерции плоского тела $\rho \sim \Delta E$)
- Среднее энерговыделение $\Delta E_{cp} < 35$ МэВ
- Дисперсия энерговыделения $\sigma(\Delta E) < 25$ МэВ
- Подавление фона $O(10^4)$, статистическая точность 1% за 2-3 дня набора данных

Абсолютная калибровка по событиям $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$

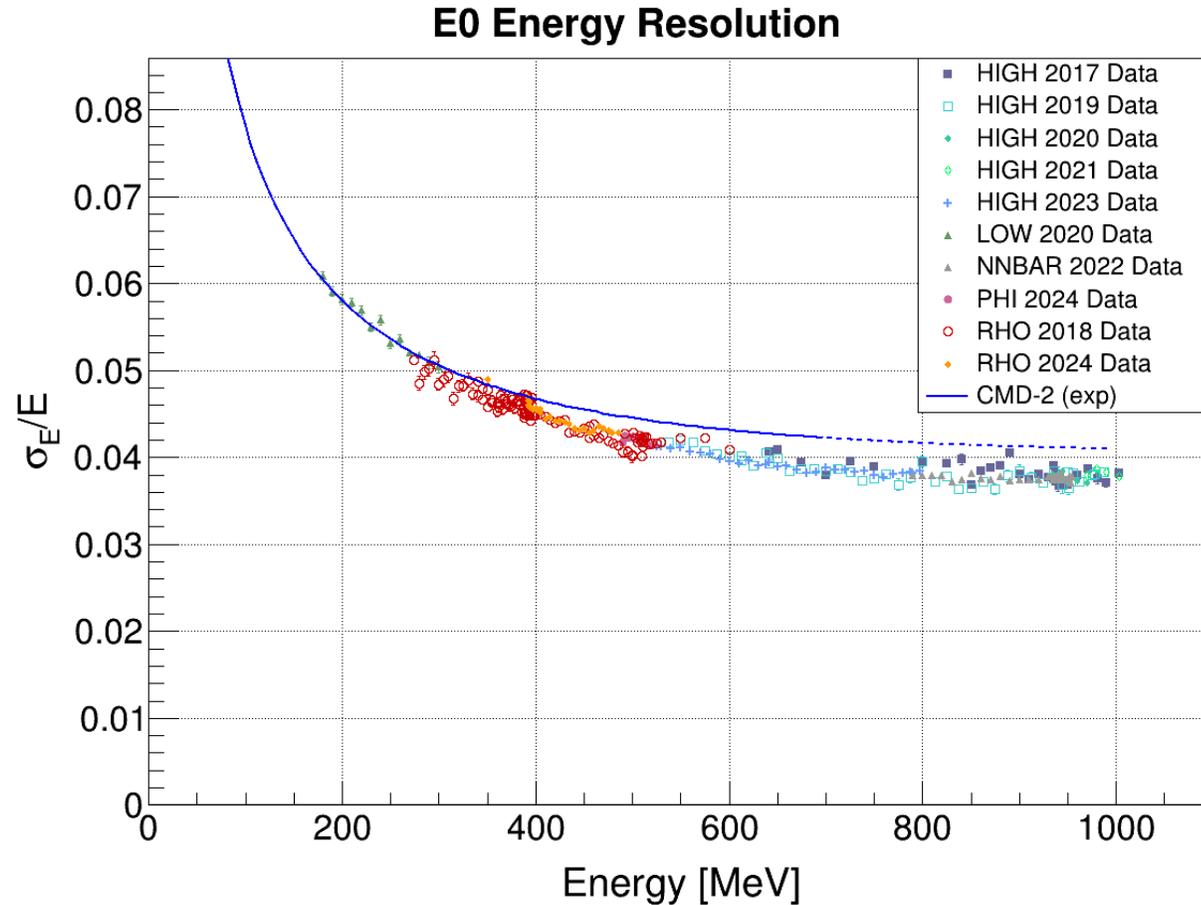
Corrected photon energy in 1 endcap



В качестве поправки используется отношение измеренной энергии кластеров к энергии пучка

- **Отбор событий:**
- В каждом торце есть хотя бы 1 кластер
- Сумма максимальных энергий кластеров в торцах $> E_{\text{пучка}}$
- расколлинеарность кластеров по полярному углу $< 0,15$ рад
- Количество срабатываний проволочек в Дрейфовой Камере < 4
- **Подгонка гистограмм:**
- Функция логарифмического гаусса
- Разрешение $\text{FWHM}/2.35$

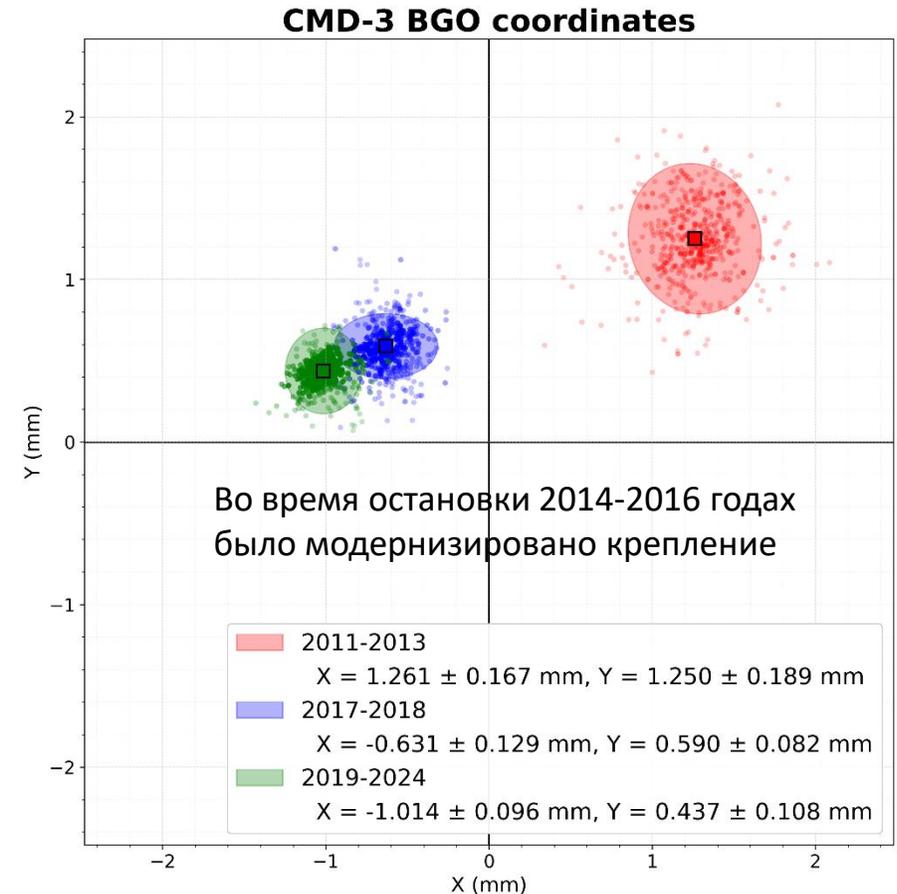
Энергетическое разрешение



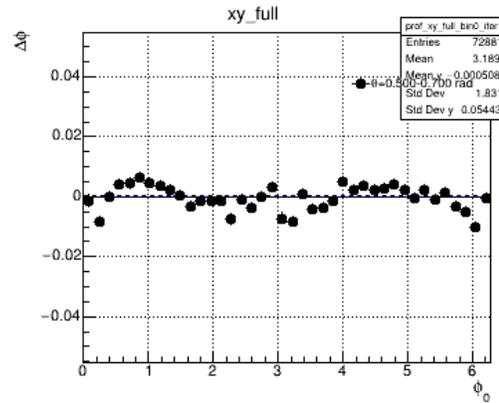
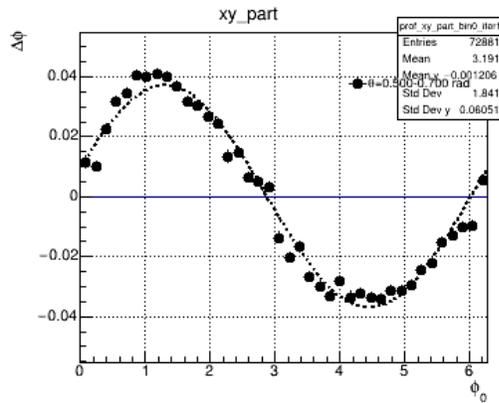
- При низких энергиях разрешение не изменилось, так как определяется шумами электроники и качеством кристаллов.
- При высоких энергиях разрешение улучшилось из-за увеличения стабильности калориметра

Коррекция системы координат торцевого калориметра по событиям $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$

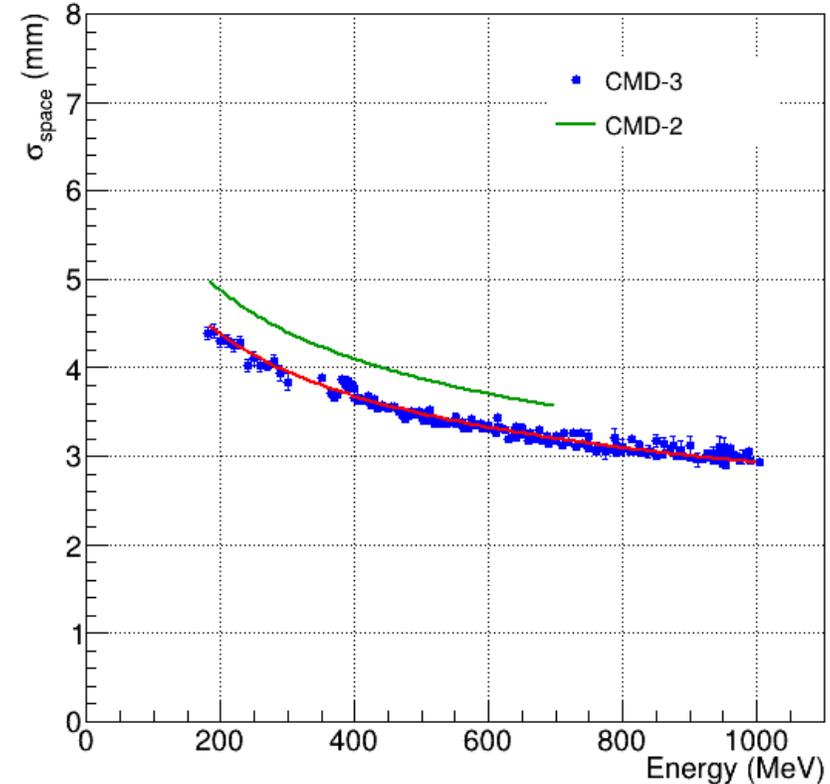
- Координаты взаимодействия частиц измеряются ДК, положение которой привязано к корпусу магнита.
- При сборке торцевого калориметра относительное положение кристаллов измеряется с точностью лучше 1 мм, но он фиксируется на ярме магнита и центр может не совпадать с осью ДК. Сдвиг центра торцевого калориметра был измерен по асимметрии событий $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$ относительно него.



Координатное разрешение

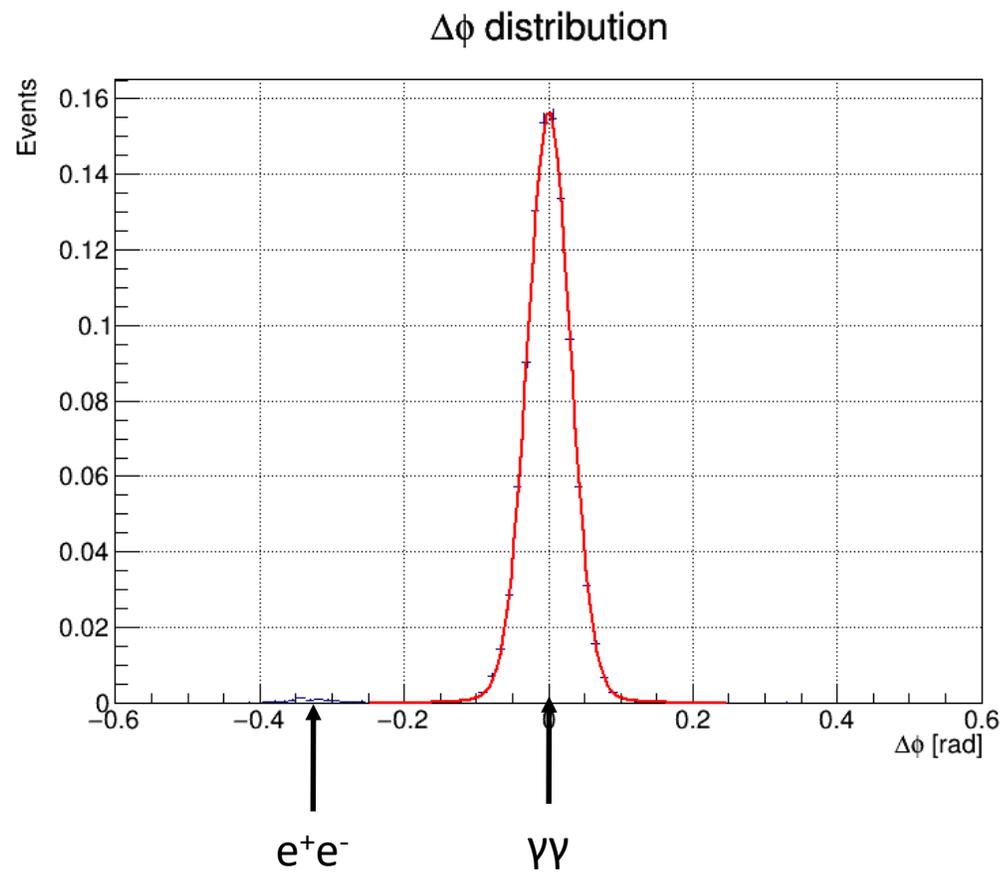


Угол расколлинearности в событиях $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$
Левый рисунок – до поправки положения центра торцевого калориметра
Правый рисунок – после поправки положения центра торцевого калориметра



Основная причина улучшения координатного разрешения в КМД-3 – измерения положения центра торцевого по событиям $e^+e^- \rightarrow 2\gamma$. На КМД-2 для этого не хватало статистики.

Спасибо за внимание!



- Примесь событий упругого рассеяния меньше 10^{-3}