

Определение энергии пионов в калориметрическом комплексе эксперимента АТЛАС методом локальной адронной калибровки

Научный руководитель:

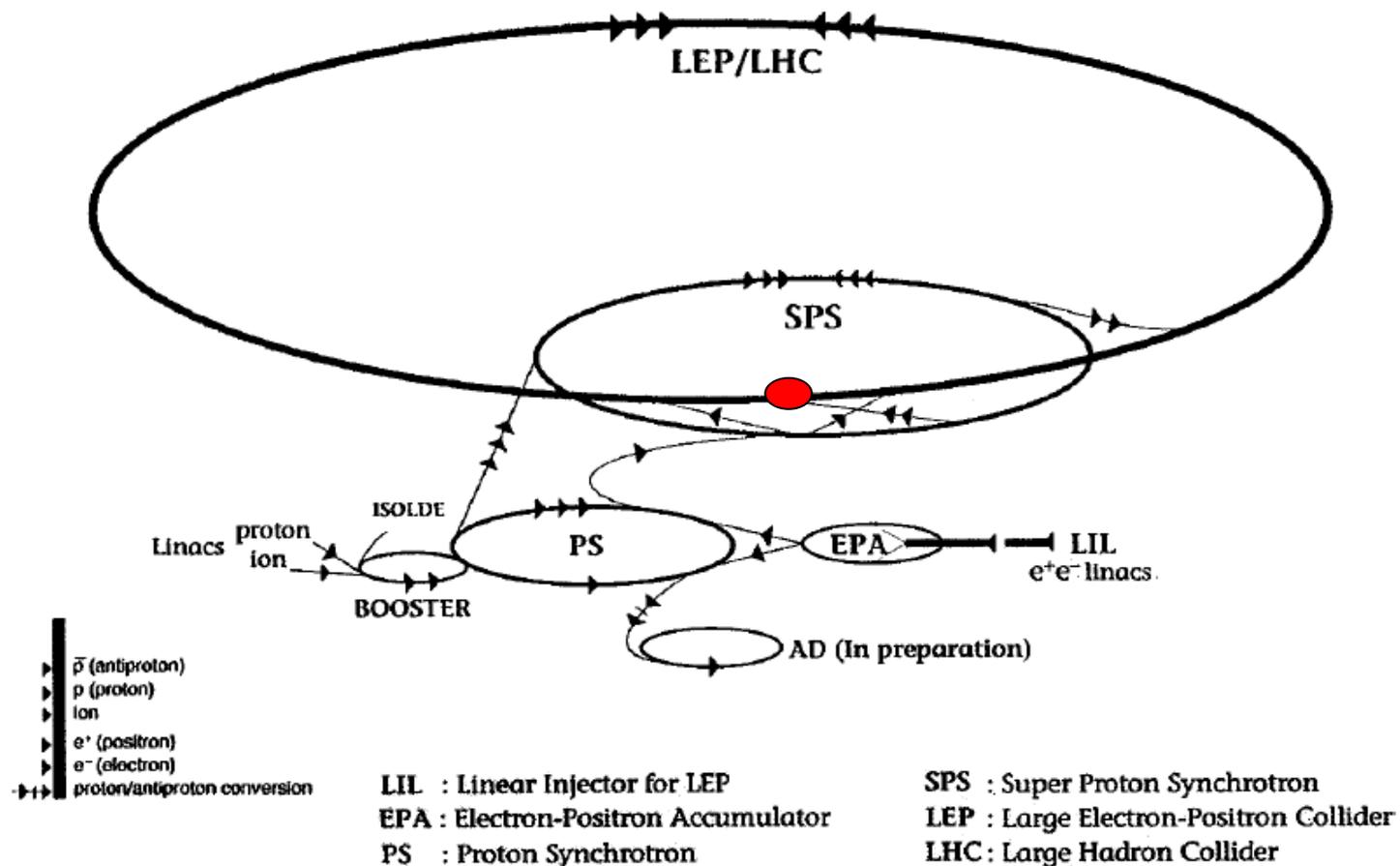
Кульчицкий Ю.А.

Кекелидзе Дмитрий Владимирович

кафедра физики элементарных частиц
МГУ им. Ломоносова
609 группа

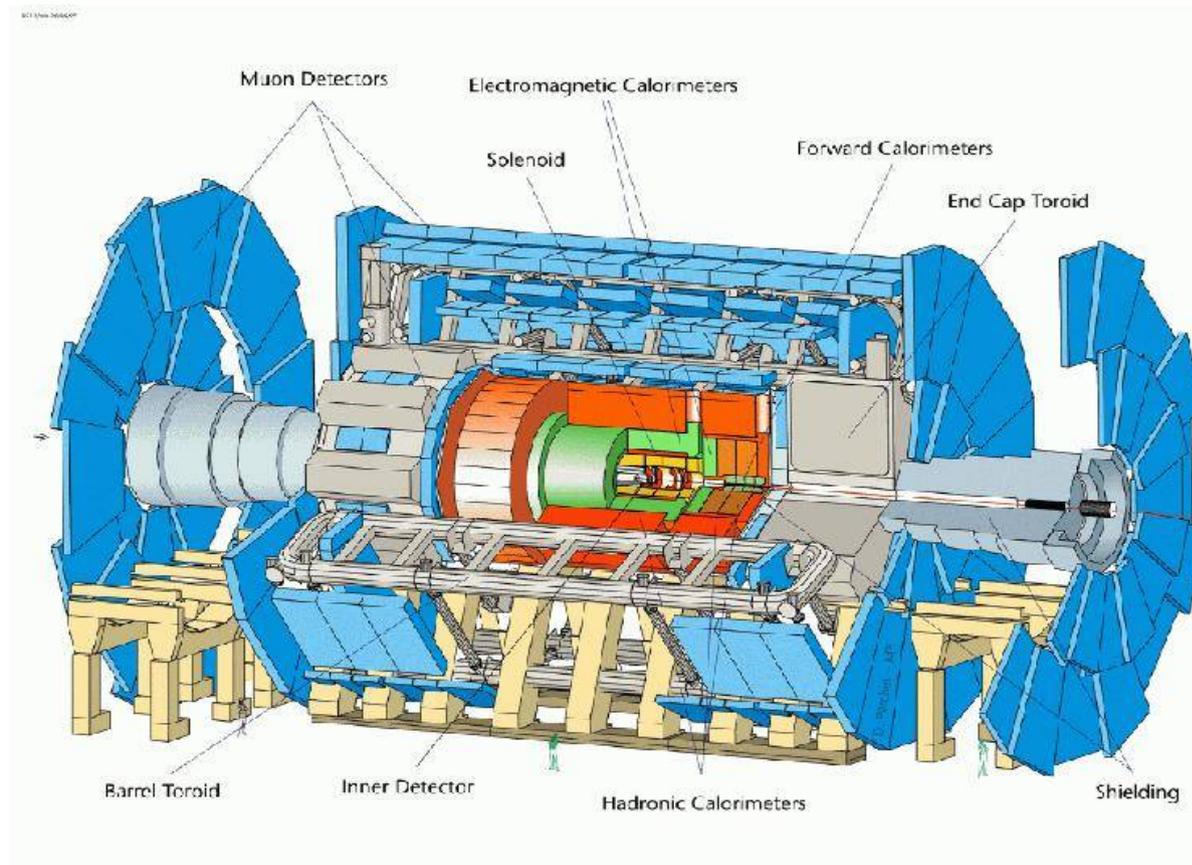
Большой адронный коллайдер (ЛНС)

- На рисунке показана схема ускорительного комплекса CERN.
- Проектные характеристики данного протон-протонного коллайдера позволят получать встречные пучки с энергией 14 ТэВ в системе центра масс при светимости порядка $10^{34} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$



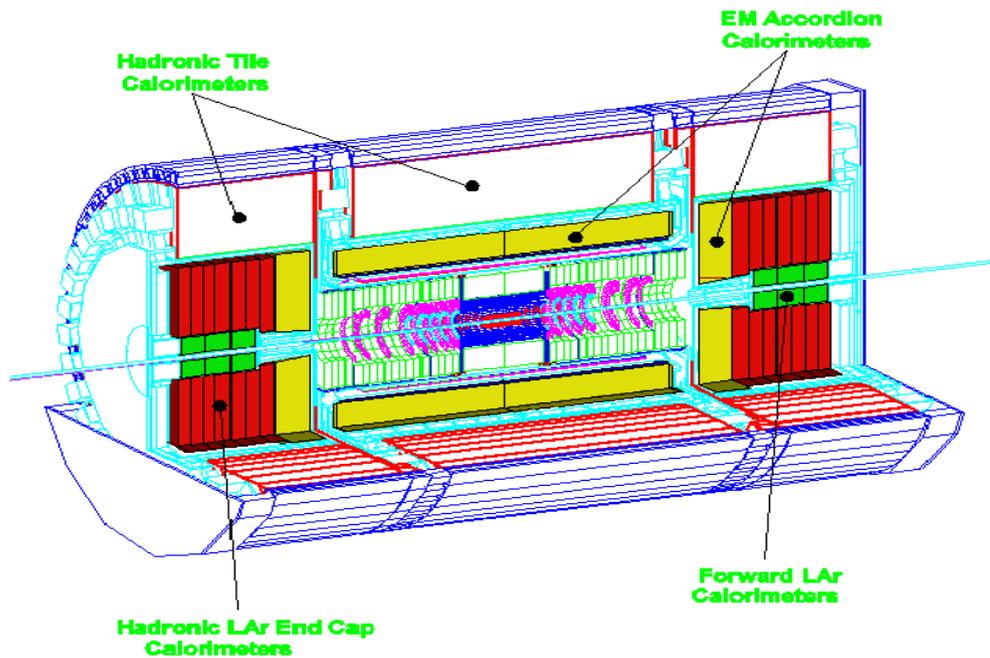
Эксперимент ATLAS предназначен для исследования различных физических явлений при высокоэнергетичных столкновениях частиц на ускорителе LHC (CERN).

Основной задачей эксперимента является поиск бозона Хиггса. Предполагается, что даже если его не удастся наблюдать на установке ATLAS, то может быть обнаружен другой механизм электрослабого нарушения симметрии.

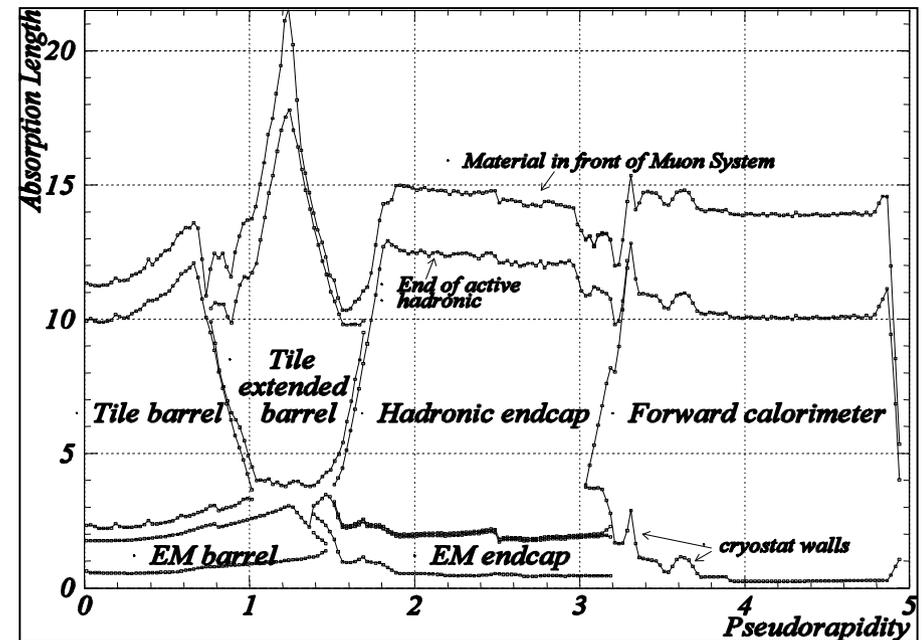


Задачи калориметрии в коллайдерных экспериментах следующие: измерение энергий и координат входа для электронов и фотонов, измерение энергий направлений адронов и адронных струй, измерение недостающей поперечной энергии, идентификация частиц (например, отделение электронов и фотонов от адронов и адронных струй).

ATLAS Calorimetry (Geant)



Трехмерный вид калориметрии ATLAS



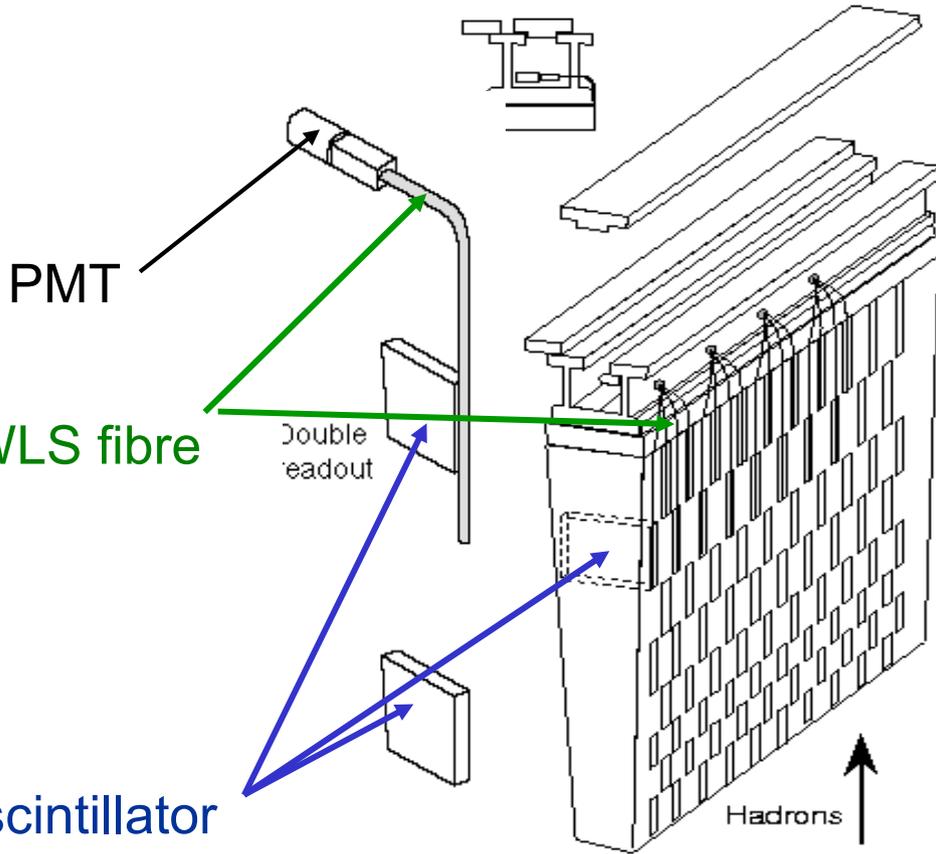
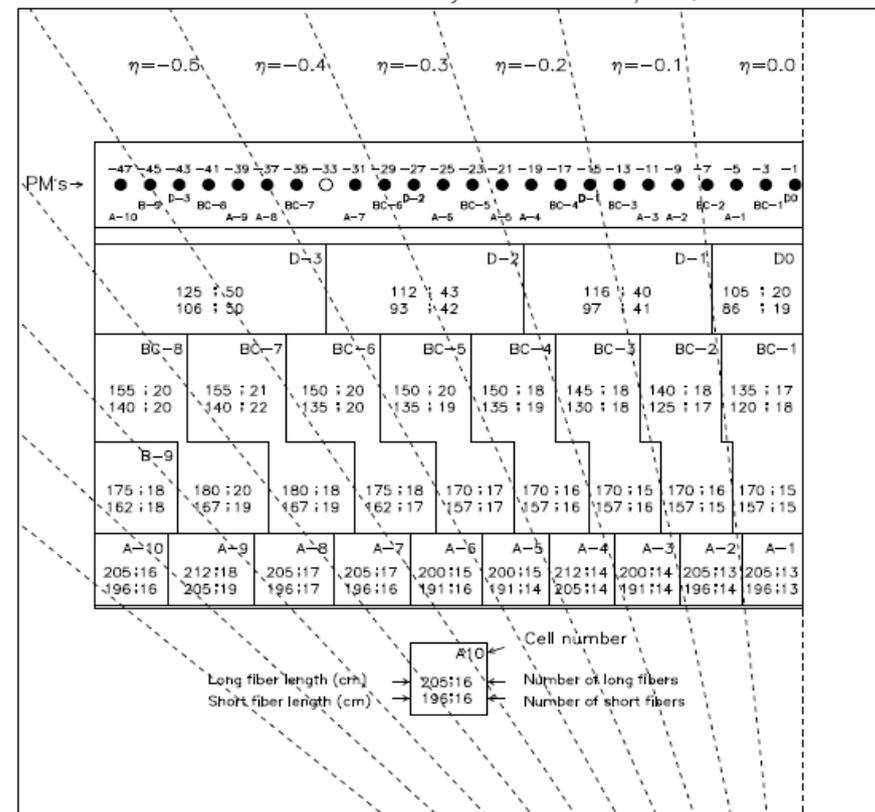
Количество вещества (поглощающие длины) в калориметрии ATLAS как функция η

Адронный Тайл-калориметр

$$\eta = -\ln(\tan \Theta / 2)$$

Расположение ячеек в половине модуле адронного tile кало-риметра.

Barrel Readout Cell Geometry in Module 0 - $\eta < 0$, ODD

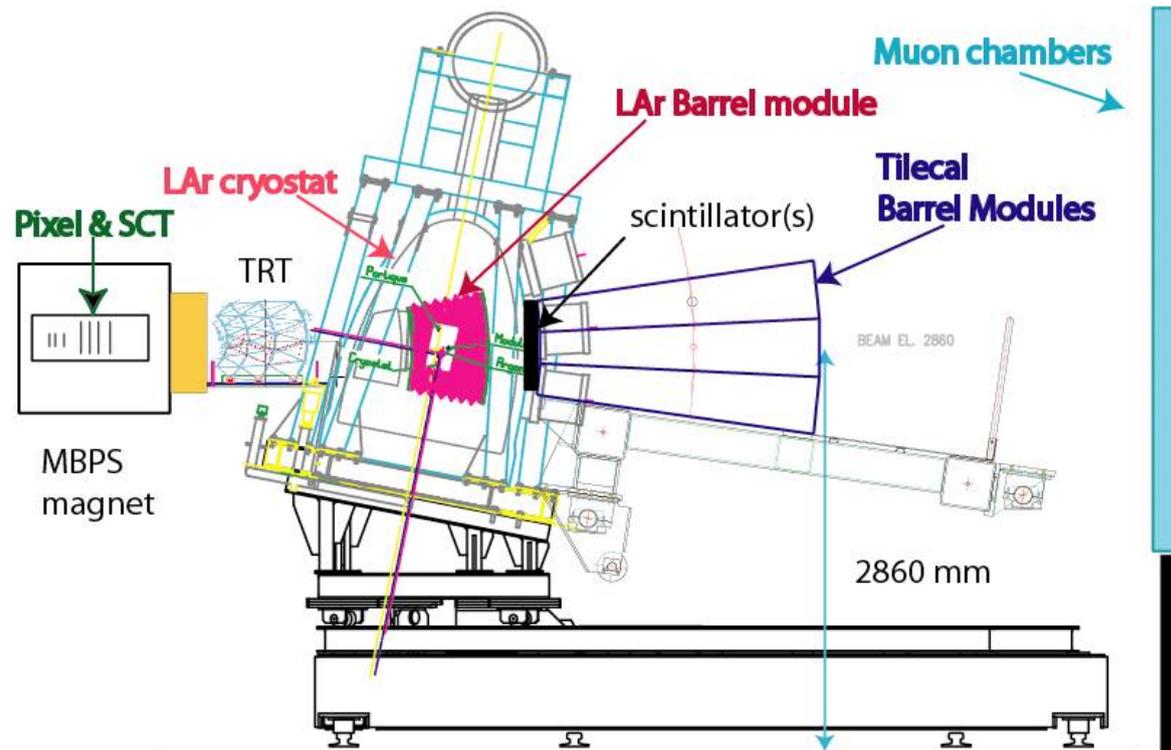


Концептуальный вид расположения элементов конструкции калориметра

- Данные со сцинтиляционных пластин передаются по WLS волокнам
- WLS волокна переизлучают световой сигнал в зелёном цвете
- Ячейки определяются группировкой WLS волокон на ФЭУ.

Требуемое разрешение: $50\%/\sqrt{E} \oplus 3\%$

CTB 2004



- Получение данных Май-Октябрь 2004
- Pixel, SCT, TRT, LAr, TileCal, MDT, RPC
- Пучки электронов, пионов и мюонов
- Диапазон энергий 10-350 ГэВ

Базовый e/h метод

Адронный ливень в калориметре можно представить в виде суммы электромагнитной и адронной составляющих. Отклик калориметра на эти компоненты, как правило, различен.

Для комбинированного калориметра энергия определяется как сумма энергий, выделенных в электромагнитном калориметре (E_{LAR}), в адронном калориметре (E_{Tile}) и теряемой в «мёртвом» веществе между калориметрами (E_{dm}).

$$E_{e/h} = (e/h)_{LAR} E_{LAR} + (e/h)_{Tile} E_{Tile} + E_{DM}$$

Значения e/h определяются из нижеприведённой формулы:

$$\frac{e}{\pi} = \frac{(e/h)}{1 + (e/h - 1) f_{\pi^0}} \quad f_{\pi^0} = 0.11 * \ln(E)$$

Метод Локальной Адронной Калибровки

Цель работы – восстановление энергии пионов методом локальной адронной калибровки.

В этом методе энергия находится по формуле:

$$E_{rec} = C_{LAR} * E_{LAR} + E_{Tile} + E_{DM(LAR-Tile)} + E_{DM(bef-LAR0)} + E_{DM(LAR0-LAR1)} + E_{leak}$$

Где:

$$E_{LAR} = E_{LAR0} + E_{LAR1} + E_{LAR2} + E_{LAR3} \quad \text{и} \quad E_{Tile} = E_{Tile0} + E_{Tile1} + E_{Tile2}$$

$$E_{sampling} = \sum E_{cor}^{cell}$$

$E_{rec,em}^{cell}$ - восстановленная энергия для ячейки в электромагнитной шкале

$$E_{cor}^{cell} = w * E_{rec,em}^{cell}$$

$$w = f(E_{beam}, sampling, \rho) \quad w = E_{truth,MC}^{cell} / E_{rec,em,MC}^{cell} \quad \text{- веса, вычисляются из данных Монте-Карло}$$

$$\rho = E_{rec,em}^{cell} / Volume^{cell} \quad \text{- плотность энергии в ячейке}$$

Данные:

- Данные CTB04 для E=10-350 GeV при $\eta=0.25$
- ATHENA release 12.0.31
- 4/2/0 CaloTopoCluster
- 10000 событий для каждого значения энергии

Монте-Карло моделирование:

- ATHENA release 12.0.6
- Physics List QGSP_GN
- Cells inside 4/2/0 CaloTopoCluster
- 20000 событий для каждого значения энергии

Ограничения на веса

Весы – ключевой момент в методе локальной адронной калибровки. Для улучшения энергетического разрешения путём увеличения относительной разницы между весами для низких и высоких плотностей энергии в ячейках и принимая во внимание некомпенсированность калориметра ($e/h_{\text{LAr}} = 1.74$ and $e/h_{\text{Tile}} = 1.36$), мы ввели ограничения на веса.

$$E_{\text{truth}} > E_{\text{rec,em}} \quad \text{and} \quad w > 1$$

Мною были проанализированы данные для различных весов:

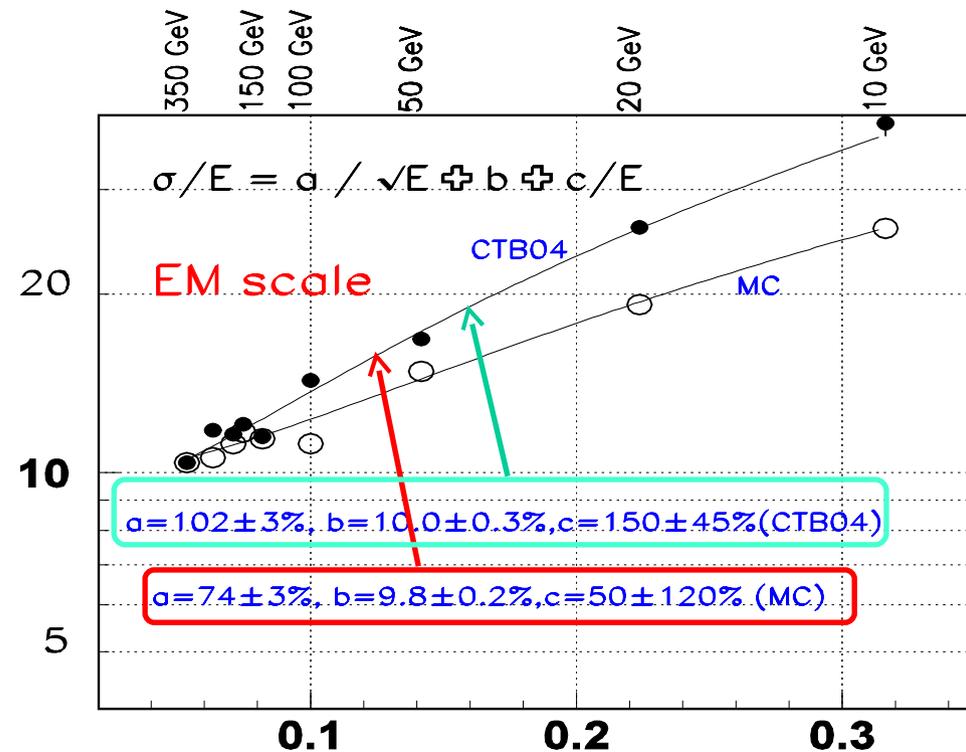
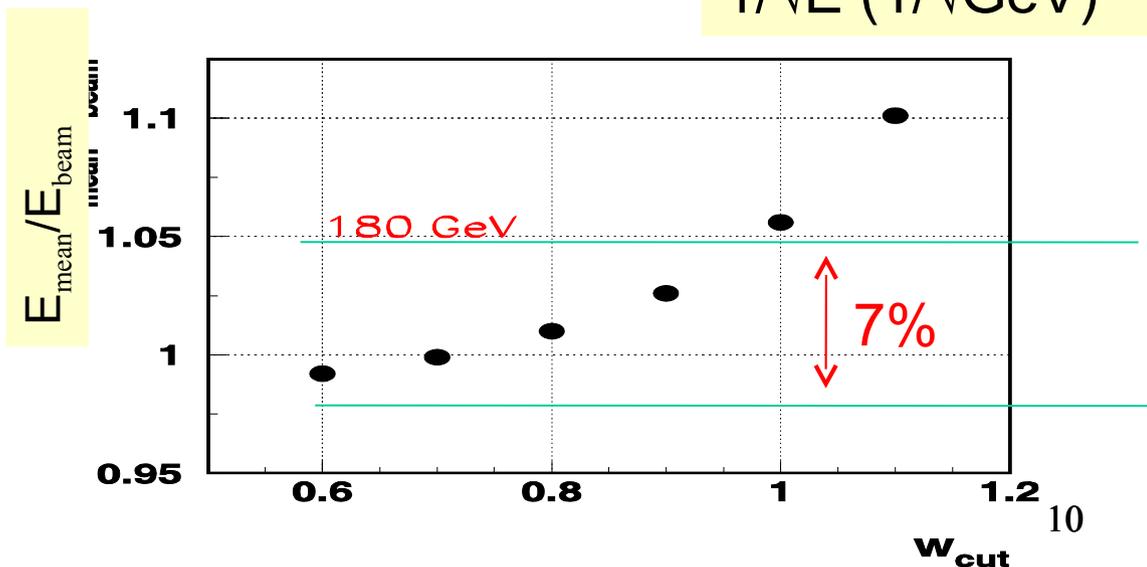
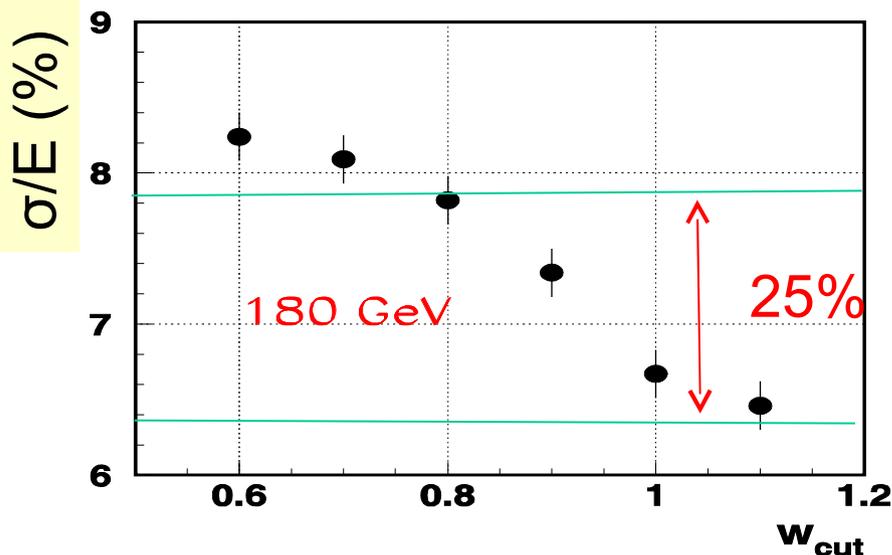
- веса без ограничений
- веса с различными ограничениями $w_i > w\text{-cut} = 1, 1.025, 1.05$; для области с высокой плотностью энергии (где более 90% - электромагнитная энергия) ограничения не вводились

Электромагнитная шкала

Видна существенная разница (28% в параметре “a”) в энергетическом разрешении для реальных данных и Монте-Карло в электромагнитной шкале. Это доказывает, что энергетические флуктуации в ячейках для реальных событий больше, чем для моделированных Монте-Карло.

Energy reconstruction vs w-cut for 180 GeV

Энергетическое разрешение улучшается с ростом w_{cut}



Средняя энергия увеличивается с ростом w_{cut}

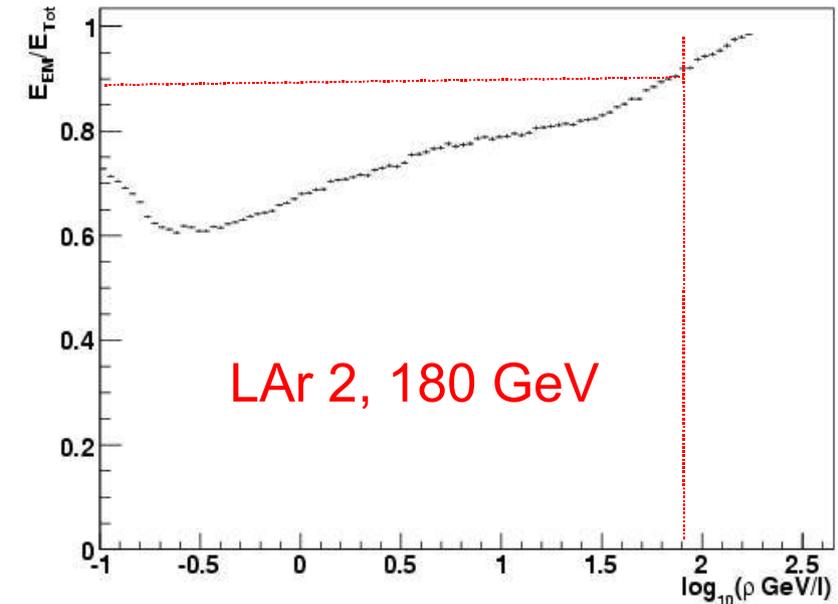
Доля электромагнитной энергии

Для каждой энергии пучка и выборки определялись минимальные значения плотности энергии, при которых доля электромагнитной энергии >90%.

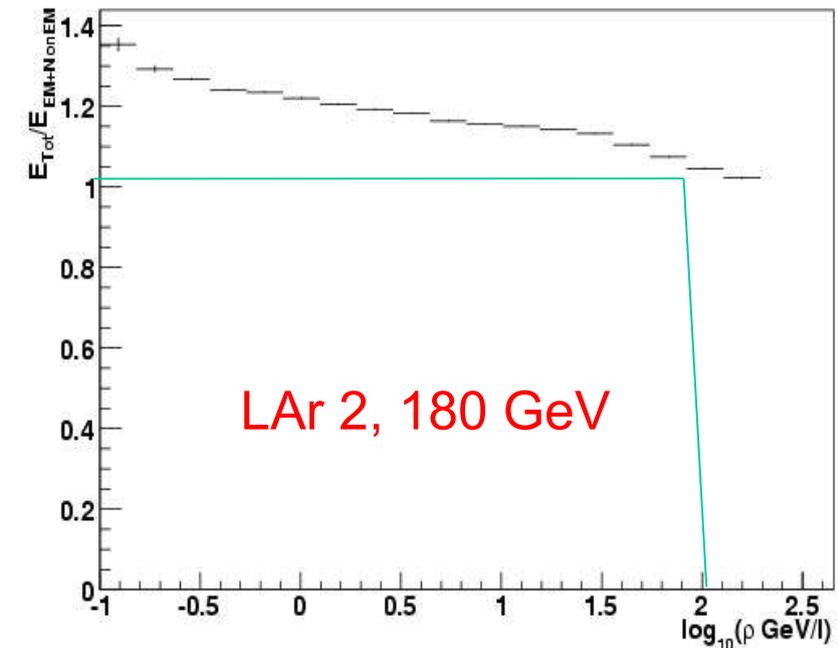
Сравнение функции катов с реальными весами:

$$w_{truth} = E_{truth} / (E_{em} + E_{non-em})_{truth} = f(\rho)$$

LAr 2, 180 GeV, $\eta = 0.25$



LAr 2, 180 GeV, $\eta = 0.25$



Поправки для “dead material”

✂ До LAr0 :

$$E_{bef-LAr0} = p_1 E_{LAr0}$$

✂ Между LAr0 и LAr1:

$$E_{LAr0-LAr1} = p_0 + p_1 \sqrt{E_{LAr0} \cdot E_{LAr1}}$$

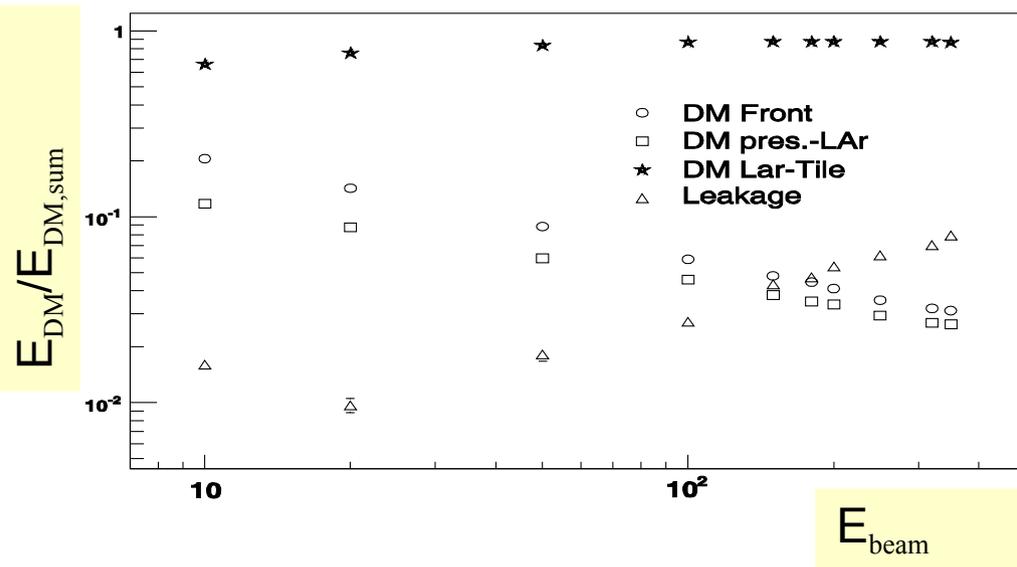
✂ Между LAr и Tile

$$E_{LAr-Tile} = 1.52 \cdot \sqrt{E_{LAr3} \cdot E_{Tile0}}$$

✂ Утечки

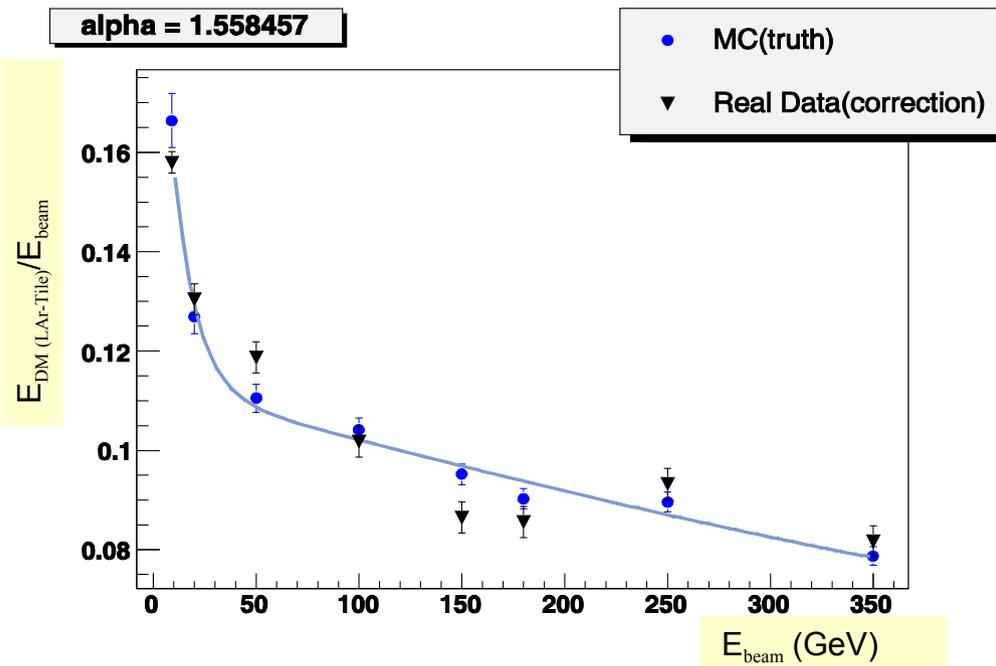
$$E_{leak} = p_1 E_{beam}$$

DM, $\eta = 0.25$



Относительный вклад поправок для различных областей dead-material.

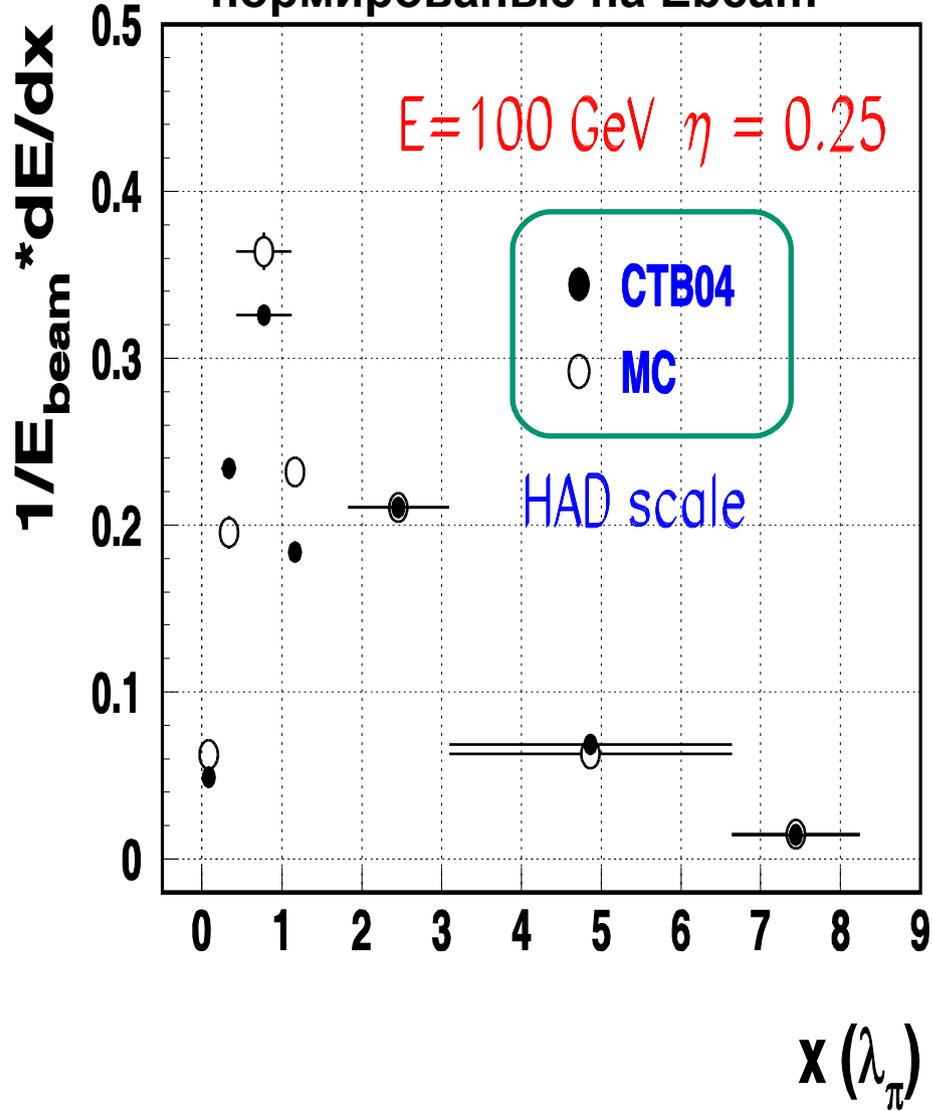
Относительные энергетические потери для участка между LAr и Tile как функция E_{beam}



alpha = 1.558457

Сравнение продольных профилей МС и СТВ04

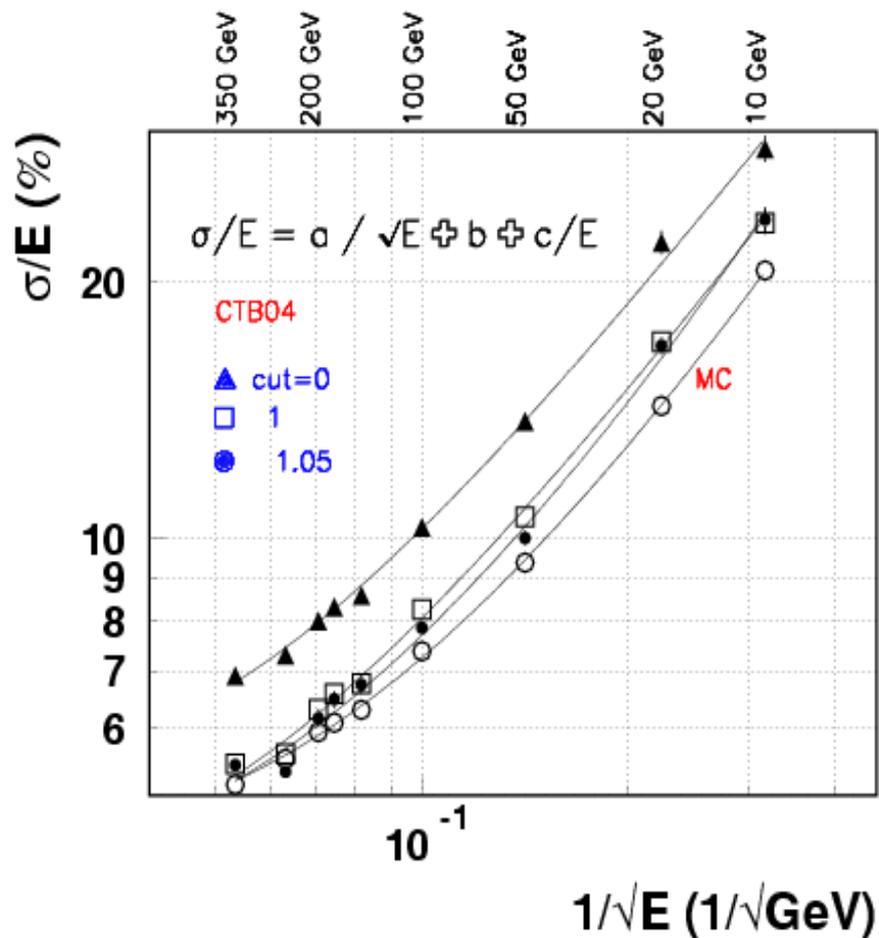
Продольные профайлы при 100 GeV
нормированные на Ebeam



По этой причине для улучшения адронного разрешения для СТВ04 был введён дополнительная нормировочная константа для LAr в формуле:

$$E = 1.05 E_{\text{LAr}} + E_{\text{Tile}} + E_{\text{dm}}$$

Энергетическое разрешение



w-cut	a, %	b, %	c, %
0	90±3	4.8±0.4	70±60
1.0	72±2	3.6±0.2	58±34
1.025	67±2	3.9±0.2	115±30
1.05	66±2	3.8±0.2	110±20
MC	59±1	4.1±0.1	90±11

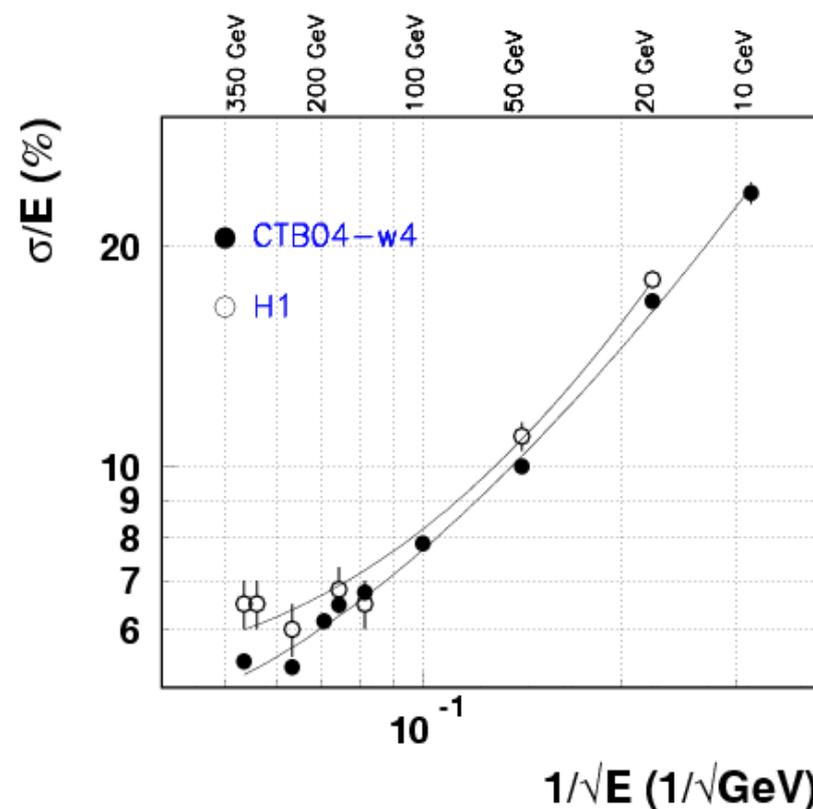
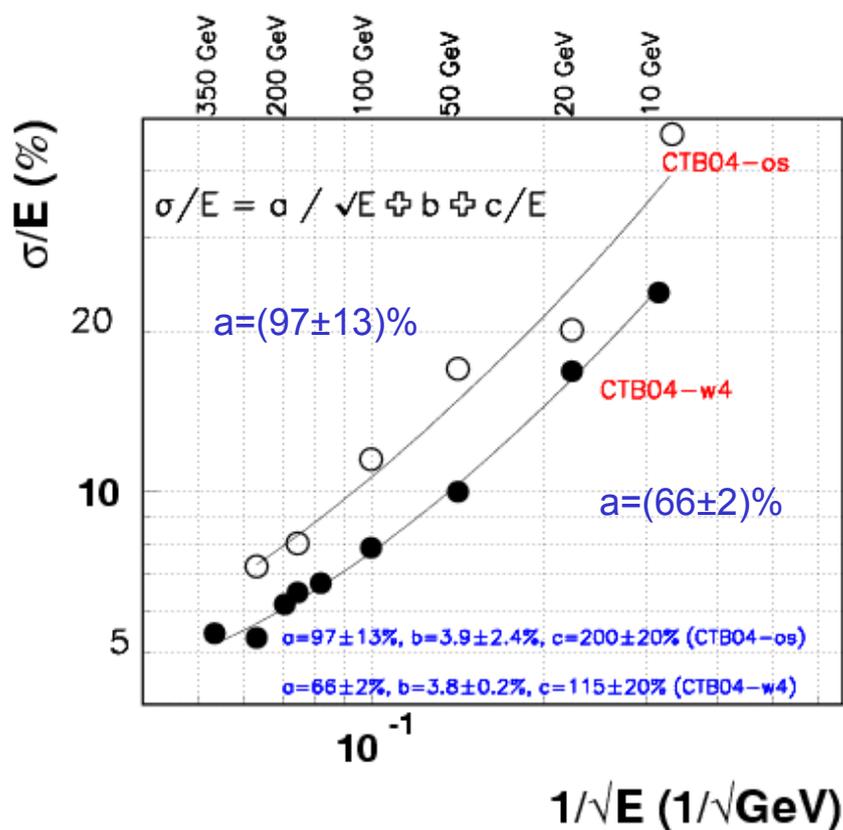
Разрешение растёт с ростом ограничения

Наилучшее энергетическое разрешение было получено при ограничении w-cut=1.05, для которого $a=66\pm 2\%$.

Сравнение результатов

Oxford-Stockholm группа: Локальная Адронная Калибровка ($w \geq 0.6$, $\eta = 0.45$)

Группа из Пизы: H1-метод ($\eta = 0.35$)

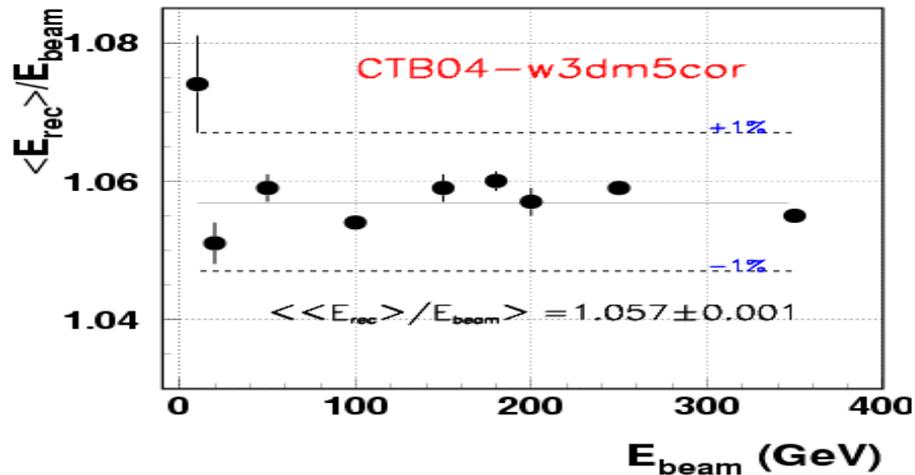


Полученное мной энергетическое разрешение в 1.5 раза лучше

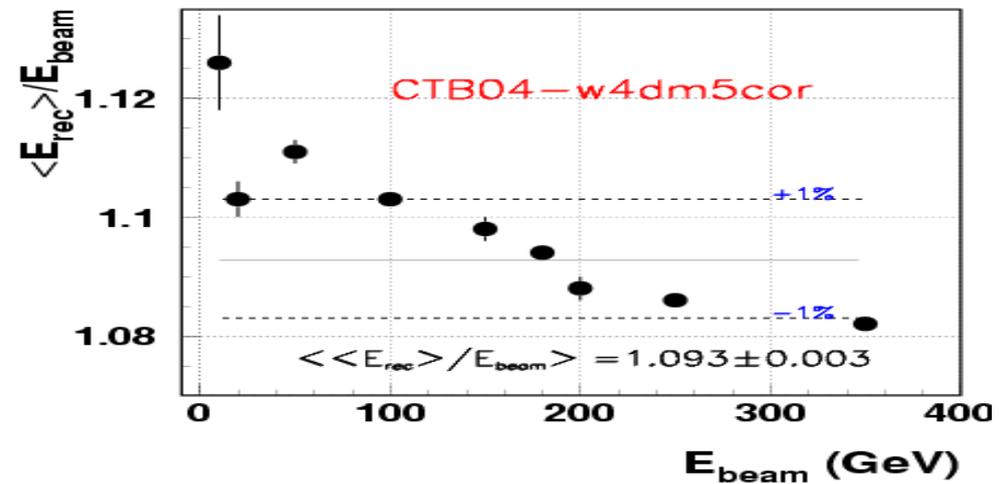
Полученное мной энергетическое разрешение немного лучше, чем методом H1

Линейность

w-cut = 1.0

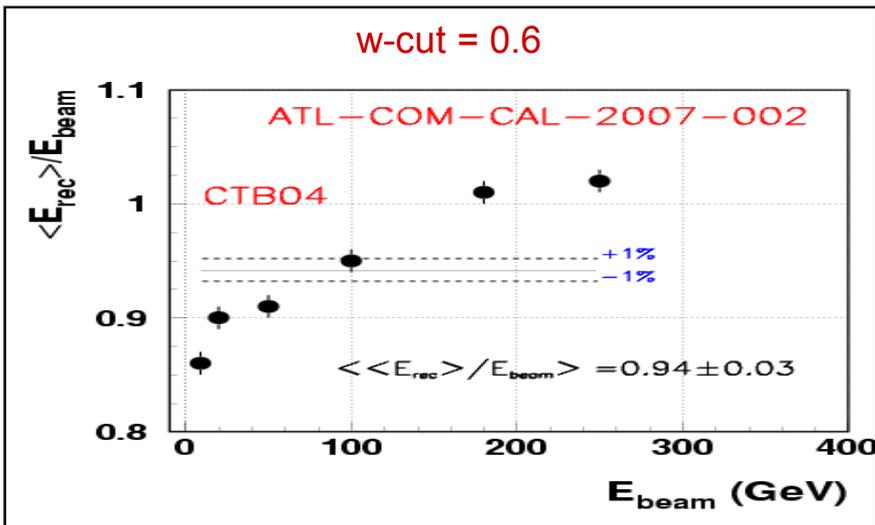


w-cut = 1.05



Наша линейность лежит в пределах $\pm 1\%$

w-cut = 0.6



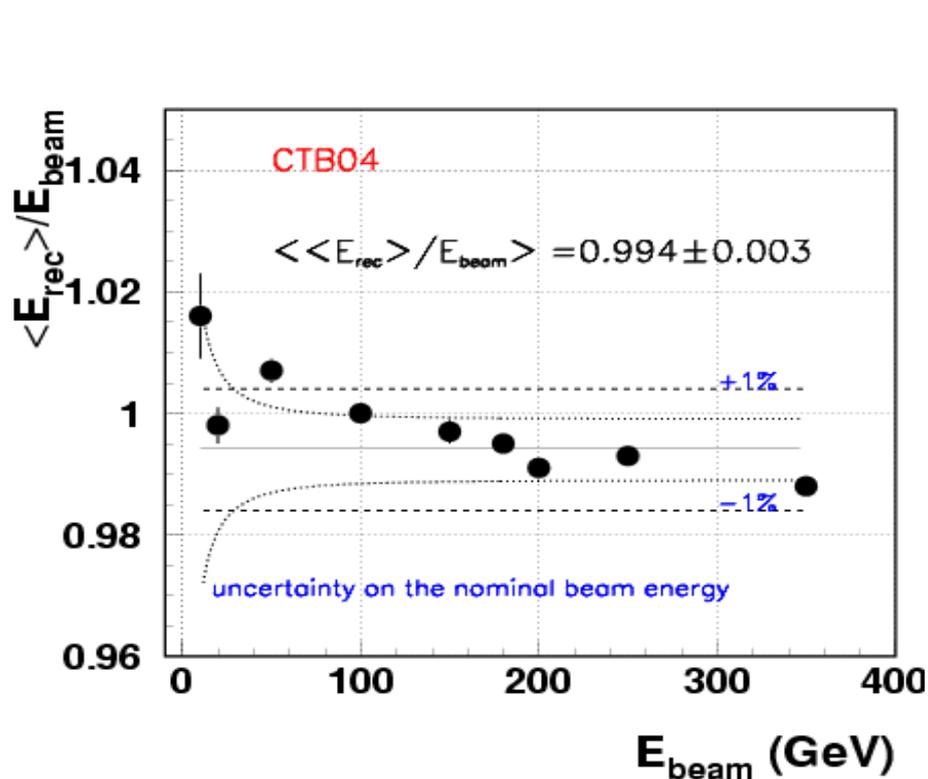
$\pm 8\%$

cut	mean
1.0	1.057 ± 0.001
1.025	1.083 ± 0.002
1.05	1.093 ± 0.003

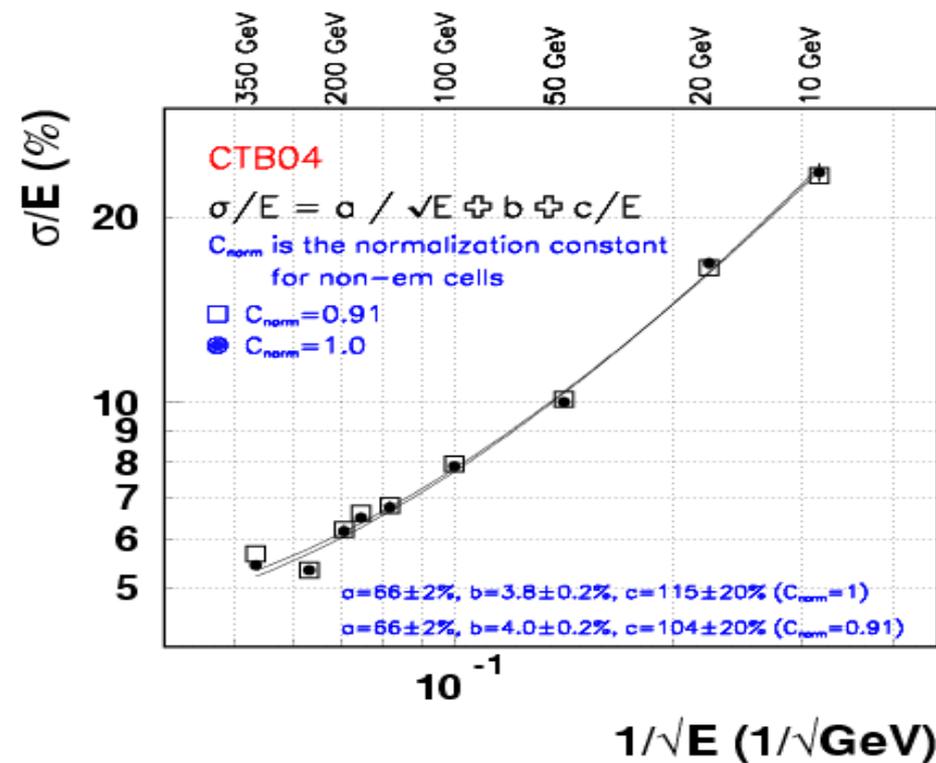
Линейность O-S группы в пределах $\pm 8\%$

Линейность и разрешение с учётом нормировочной константы 0.91

Была определена нормировочная константа, с учётом которой при $w\text{-cut}=1.05$ линейность примерно 1. Ячейки, в которых электромагнитная составляющая $>90\%$, также не затрагивались.



Отклонения от единицы в пределах $\pm 1\%$



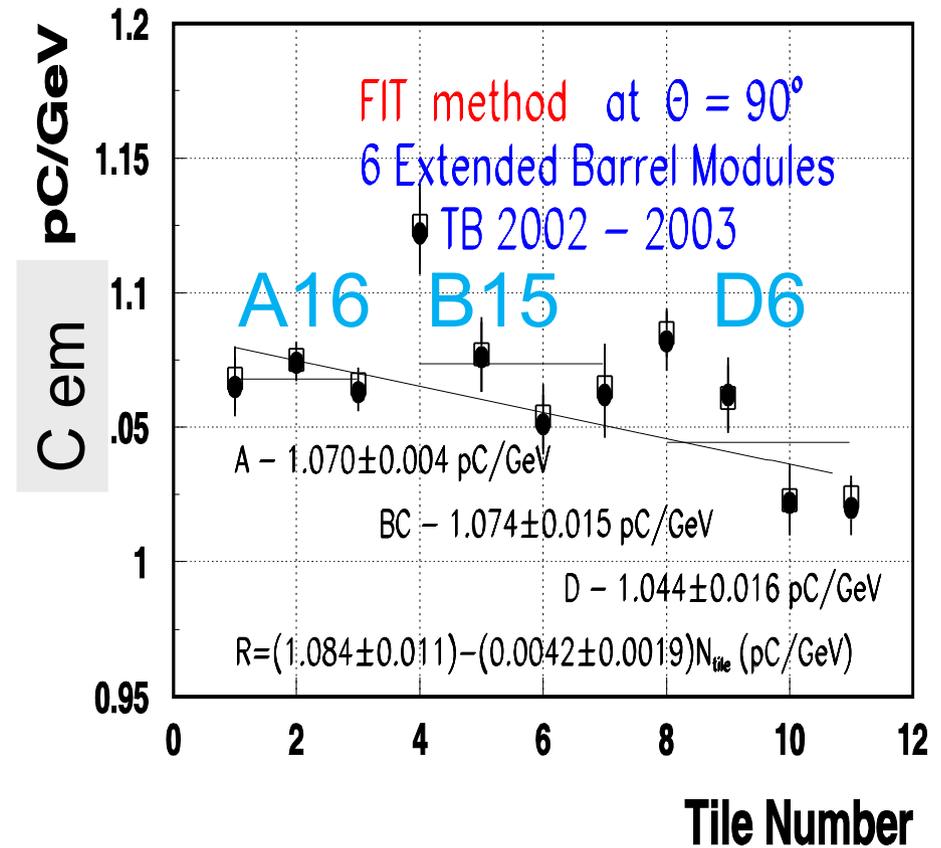
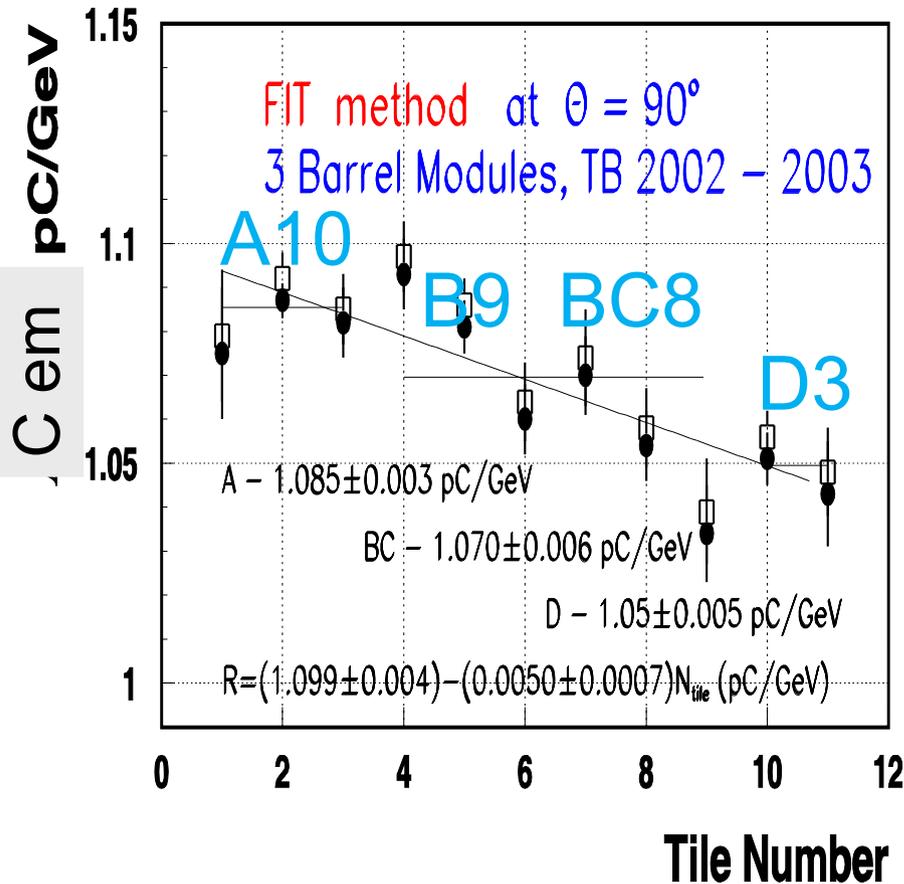
Энергетическое разрешение не изменилось с введением константы.

Калибровка Tile-калориметра

Поправка для цезиевых трубок с учётом облучения их электронами под 90 градусов.

3 Barrels (JINR12, 27, 55)

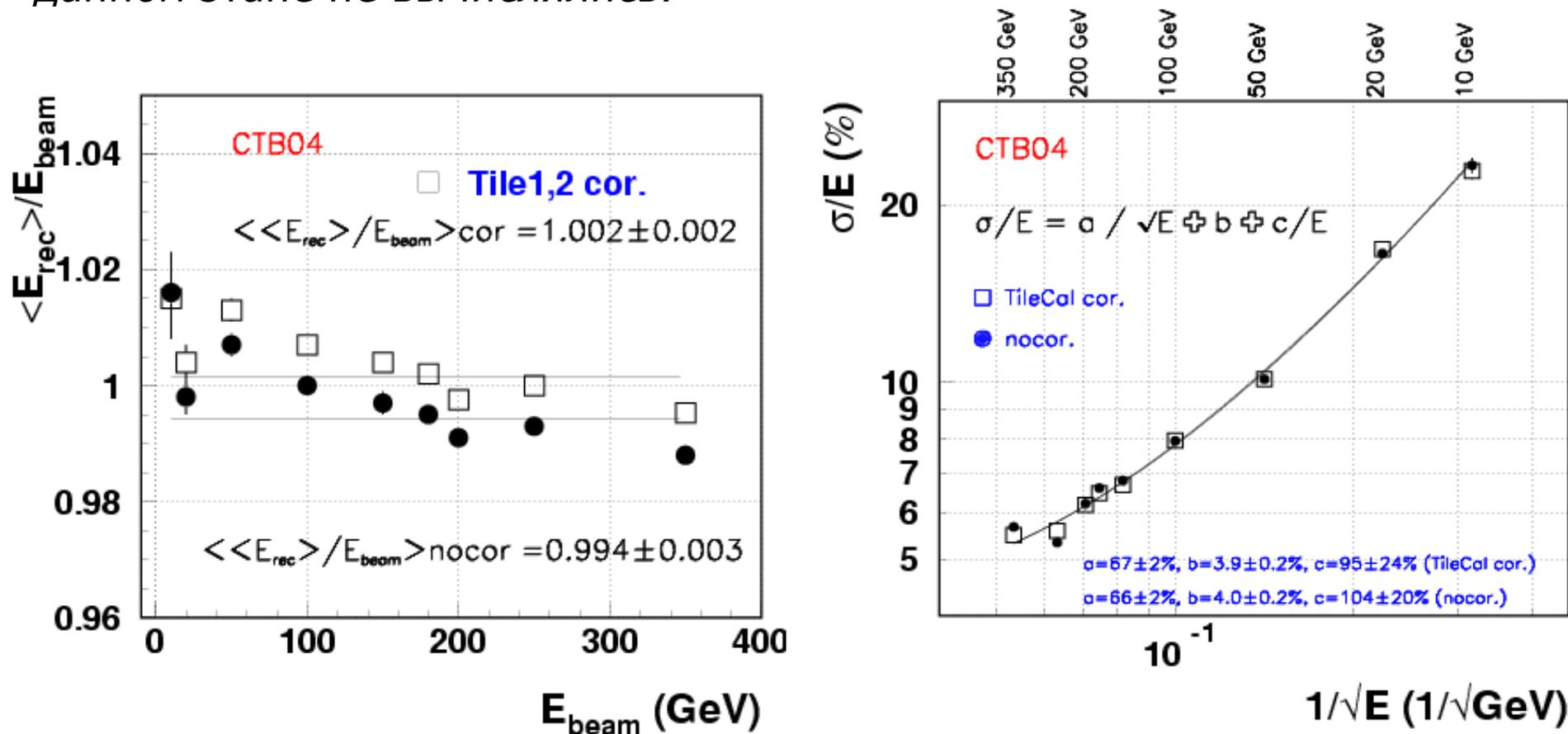
6 EBs: (IFA27,42+ANL3,30,42,44)



Линейность и энергетическое разрешение с учётом поправок калибровки Tile-калориметра

Была произведена поправка калибровки Tile1 (на 2.5%) и Tile2 (на 4.5%). Среднее значение линейности увеличилось примерно на 1% и составило 1.002 ± 0.002 . Энергетическое разрешение не изменилось.

На графиках приведены статистические ошибки. Систематические ошибки на данном этапе не вычислялись.



Заключение

- Были проведены расчёты весов и последующей реконструкции энергии пионов. Наилучшее энергетическое разрешение среди всех ограничений на веса было достигнуто при $w\text{-cut}=1.05$

$$\sigma/E = \frac{(67 \pm 2)}{\sqrt{E}} \square (3.9 \pm 0.2) \square \frac{(95 \pm 22)}{E}$$

- Полученные мною результаты лучше, чем с помощью метода H1, использованного группой из Пизы и в 1.5 раза лучше результатов Оксфорд-Стокгольмской группы.
- Была проведена поправка калибровки Tile1 (на 2%) и Tile2 (на 4%). В связи с этим значение линейности лежит в пределах $\pm 1\%$ и среднее значение равняется 1.002 ± 0.002 . Разрешение не изменилось.

Перспективы:

- *Применение нейронных сетей для определение энергетических потерь в dead-material между LAr и Tile калориметрами.*
- *Отказ от использования Ebeam при вычислении весов.*