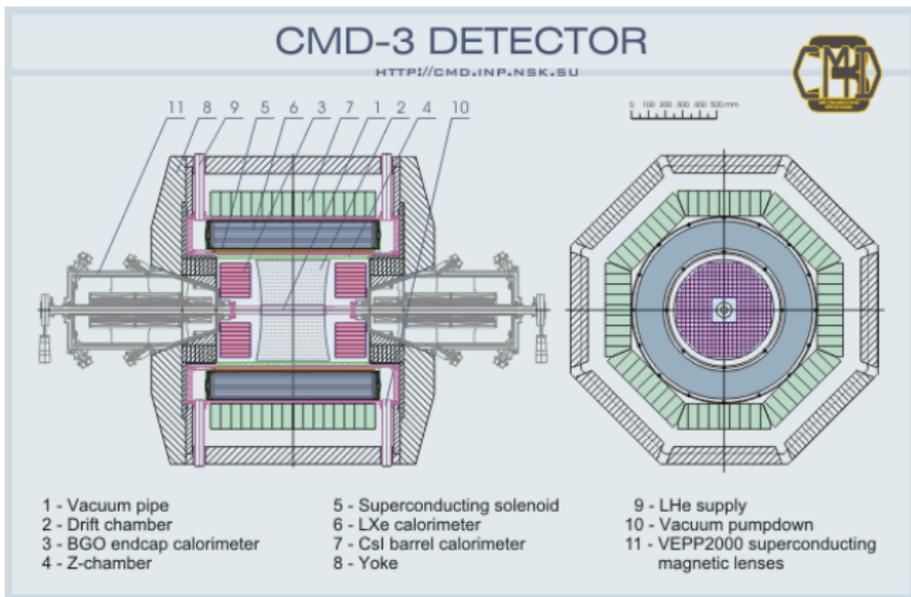
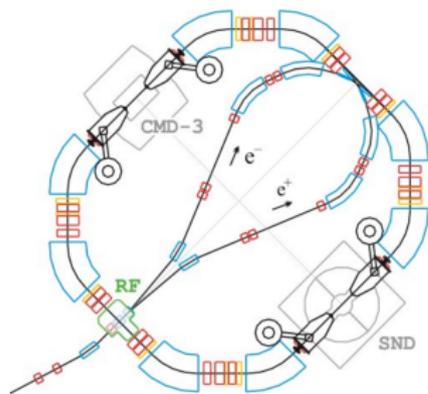


Реконструкция фотонов в комбинированном LHe/CsI калориметре детектора КМД-3

Т. А. Кузнецов, ИЯФ СО РАН, НГУ



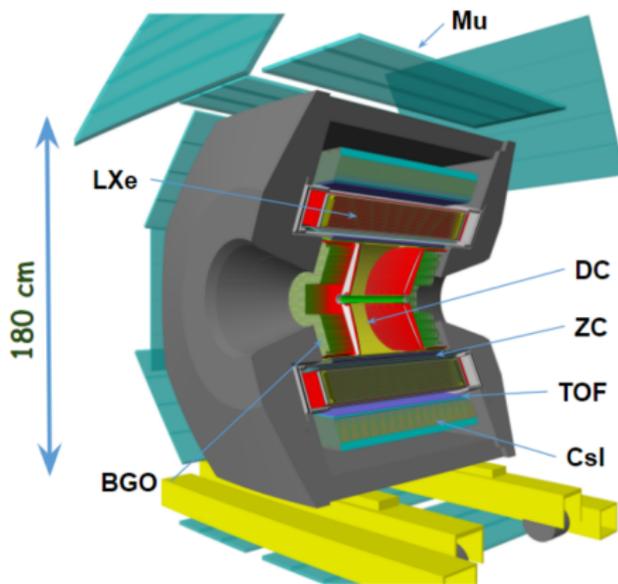
ВЭПП-2000 и КМД-3



VEPP-2000

e^+e^- -коллайдер. Начало эксплуатации 2010 г.

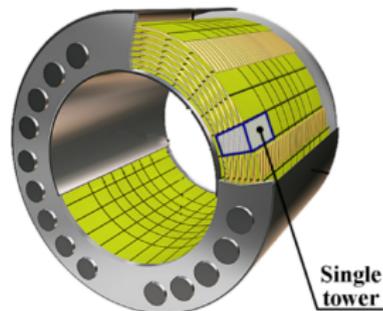
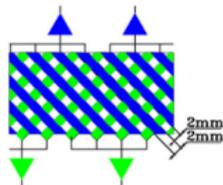
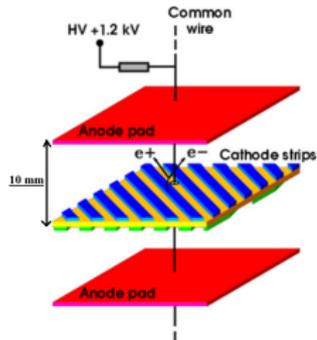
- ▶ $E_{cm} = 0.3 \dots 2.0$ ГэВ
- ▶ Светимость
 $L = 10^{32}$ 1/(см² с)



КМД-В-3Д

- ▶ Измерение $\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})$
- ▶ Комбинированный LXe + CsI калориметр

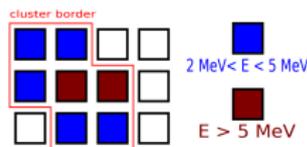
Ксеноновый калориметр и стандартная реконструкция



Структура электродов LXe калориметра

Структура калориметра

- ▶ Координата фотона определяется «по полоскам», энергия считается «по башням».
- ▶ Находятся все пересечения полосковых кластеров, пересечение с наименьшим цил.радиусом принимается за точку конверсии фотона в e^+e^- пару.
- ▶ При наличии нескольких кандидатов – берётся ближайший к центру масс башенного кластера.



Кластеризация сигнала

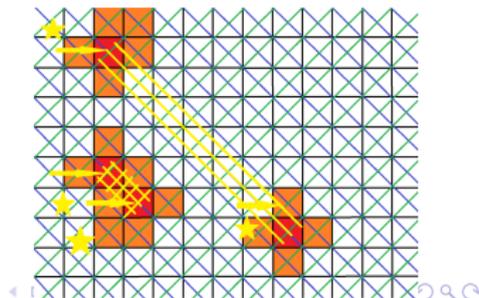
Проблемы & Мотивация

- ▶ Попадание двух близких фотонов в один башенный кластер. Целевой процесс – $e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma \rightarrow 3\gamma$ при $2E_{beam} \geq 1$ ГэВ.
- ▶ Углы разлёта фотонов в процессе $\pi^0\gamma$ в основном сконцентрированы в области минимального угла, который определяется соотношением

$$\sin\left(\frac{\psi_{min}}{2}\right) = \frac{m_{\pi^0}}{E_{\pi^0}}$$

Пороговое значение 0.4 рад достигается при энергии пиона 680 МэВ.

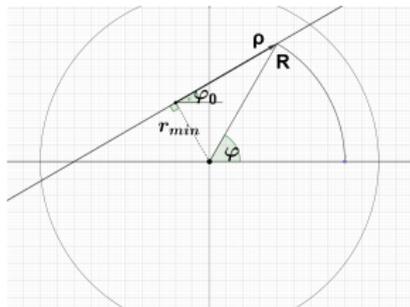
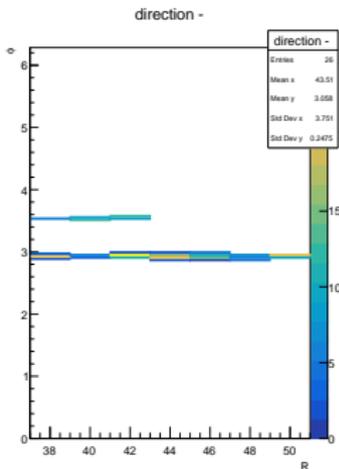
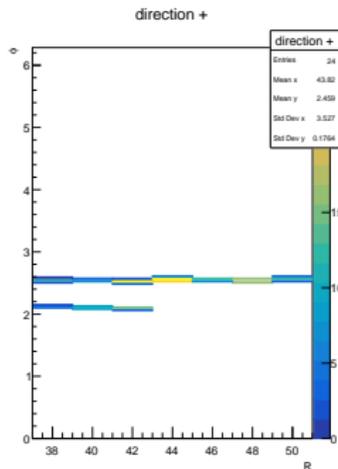
- ▶ На 2 ГэВ минимальный угол разлёта составляет 0.27 рад.
 - ▶ Сработавшие башни располагаются слишком близко друг к другу, в результате получается всего один башенный кластер.
-
- ▶ Каждая полоска пересекает около 8-16 башен. Поэтому, в башенный кластер возможно попадание полосок от других частиц (вероятность $\sim 6,4\%$ на каждую пару частиц).



Алгоритм реконструкции

Нахождение аналитической траектории незаряженной частицы

Параметризация полосок: ϕ — угол поворота спирали при $Z = 0$.



Пример: фильтрованный сигнал события $\pi^0(p = 794 \text{ МэВ/с}) \rightarrow \gamma\gamma$

Траектория фотона в «спиральной» системе координат:

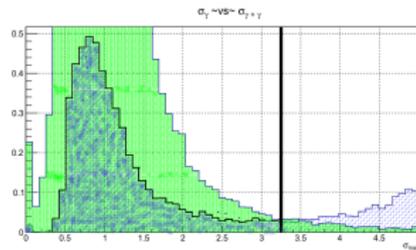
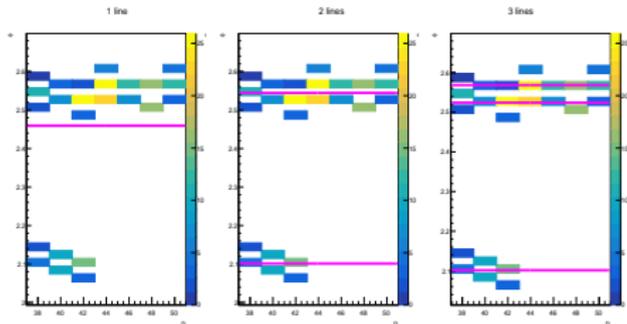
▶
$$\phi(R) = \varphi_0 \pm \frac{Z_0}{R} + \arcsin\left(\frac{r_{\min}}{R}\right) \pm \sqrt{1 - \frac{r_{\min}^2}{R^2}} \cdot \text{ctg}(\theta)$$

▶
$$\boxed{\phi(R) = \varphi_0 \pm \text{ctg}(\theta)} + \left([r_{\min} \pm Z_0] \cdot \frac{1}{R} \right) \text{ — упрощённая формула}$$

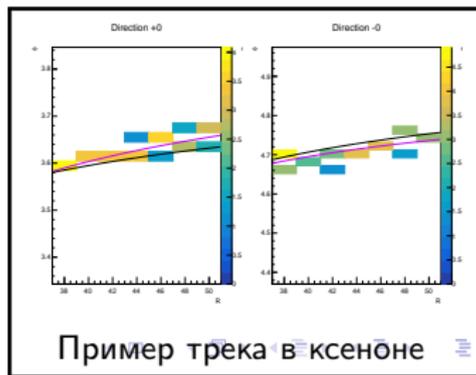
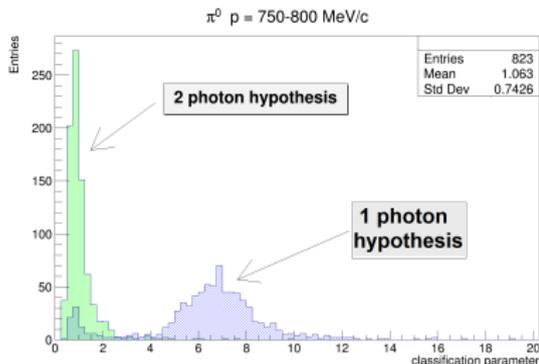
Алгоритм реконструкции

Критерий определения количества частиц

$$\text{Клас. ширина } \sigma_{max} = \max \left(\sqrt{\sum_i a_i (\phi_i - \phi_{particle}(R_i))^2 / \sum_i a_i} \right) \sim R_{Moliere}$$



SIM: $\pi^0(1 \text{ GeV}) \rightarrow \gamma\gamma$



Пример трека в ксеноне

Алгоритм реконструкции

Восстановление соответствия фотонов на двух направлениях полосок

- ▶ Если энергосодержание башни больше 50 МэВ – в ней обязательно должен быть трек или фотон (*соответствия для треков известны*).
- ▶ Перебираются все варианты соответствия прямых между двумя массивами полосок.
- ▶ Ищется лучшее сопоставление, *учитываются*
 - ▶ корреляция энергосодержаний между полосками на разных направлениях ($\sigma_{\text{strip amp}} \sim 20 \text{ МэВ}$)
 - ▶ близость координат фотонов к центру масс башенного кластера **если фотон в башне один** ($\sigma_{\phi, \theta} \sim 0.1 - 0.15 \text{ рад}$)

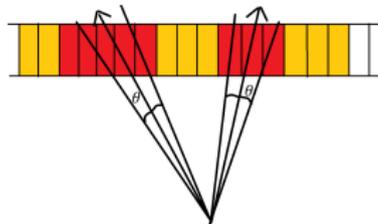
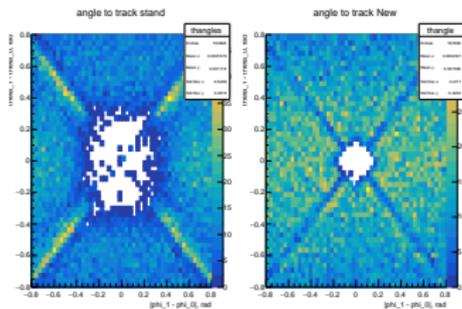
В случае неудачи, запускается вариант алгоритма, «фиксирующий» положение фотона в конкретной башне и производящий полный перебор по всем возможным расположениям фотонов.

Определяются точки конверсии фотонов и поправки (на XY пучка и т.д.)
Для оставшихся «пустых» башен проводится стандартная реконструкция.

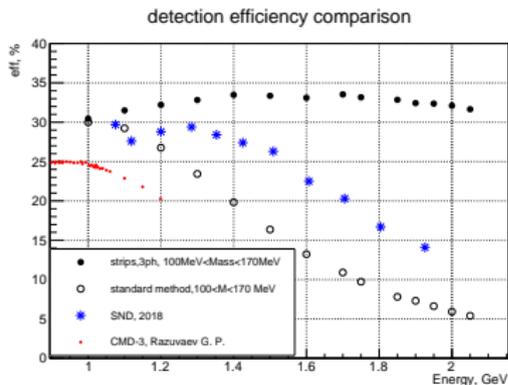
Восстановление кинематических параметров частиц

Энерговыделение частиц берётся как LXe + CsI с пересчётом

Мёртвая зона LXe
Старый Новый



Учитывается возможность попадания частиц в один кластер CsI



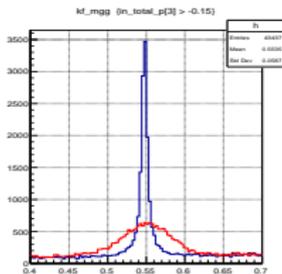
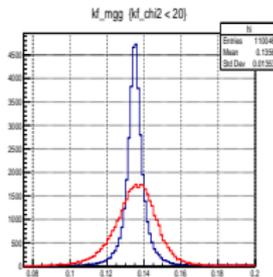
Два фотона сгенерированы равномерно по телесному углу, равномерно по энергии (0..1 ГэВ).

Показано положение второго фотона *относительно* первого.

Эффективность $\pi^0 \gamma$ - хб на 2 ГэВ

Анализ $\pi^0\gamma$ на фи-мезоне

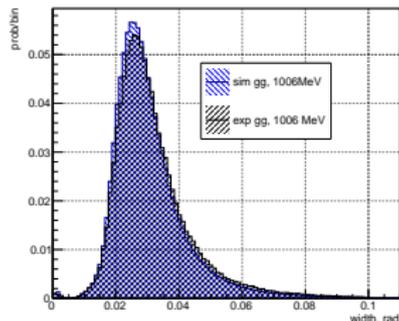
Сделана матрица ошибок для кинематического фита



$\sigma_{\pi^0} 12 \rightarrow 4 \text{ MeV}$

$\sigma_{\eta} 30 \rightarrow 10 \text{ MeV}$

Photon shower comparison



Сравнение хар. ширины ливней

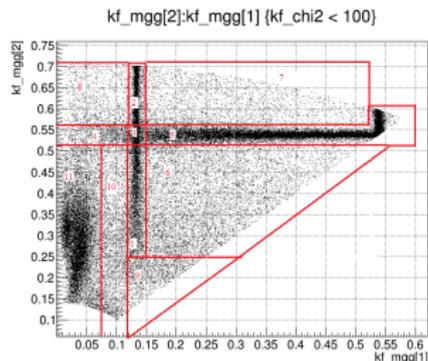
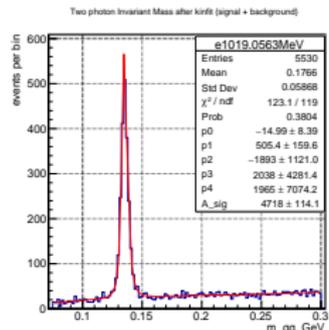
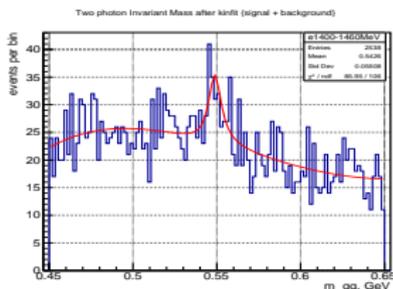


Диаграмма Далитца, omphi 2018г.

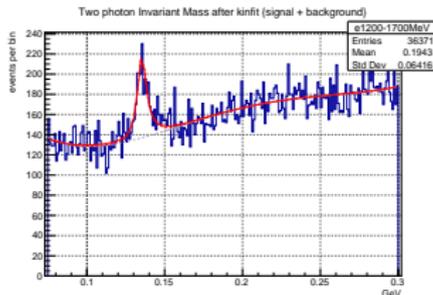


Спектр инв. масс на фи-мезоне

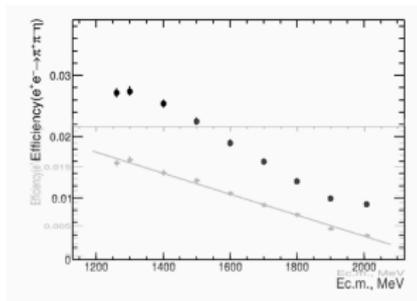
Анализ выше ϕ -мезона и Реконструкция событий смешанного типа



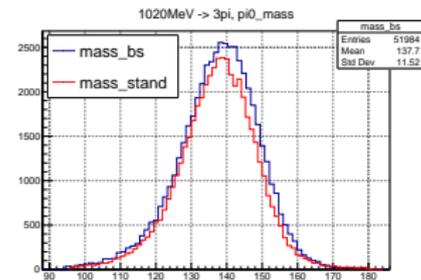
Поиск $\eta\gamma \rightarrow 3\gamma$ в диапазоне
1400–1460 МэВ



Спектр инв. масс ($\pi^0\gamma$) выше
 ϕ -мезона



Сравнение эффективности отбора
событий $\eta\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^+\pi^-3\pi^0$



Моделирование $\phi \rightarrow 3\pi$, показан
спектр ($\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$) +2-3%

Итоги

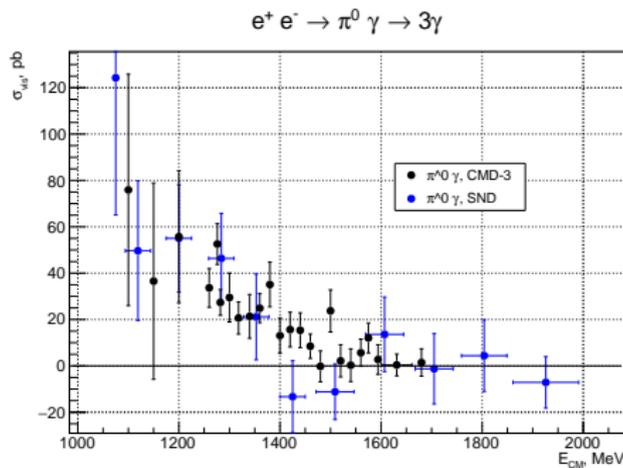
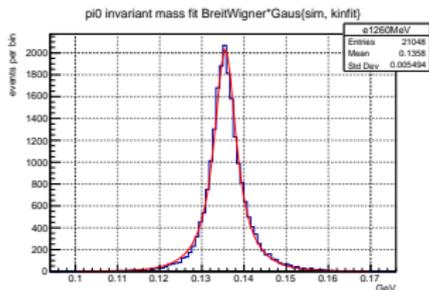
- ▶ Разработан алгоритм реконструкции центральных фотонов, корректно реконструирующий распад $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ при высоких энергиях.
- ▶ Рассмотрена работа алгоритма в моделировании $e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma$, $\eta\gamma$ и др.
- ▶ в алгоритм включено добавление треков из дрейфовой камеры, с учётом многократного рассеяния, для анализа смешанных многочастичных событий.
- ▶ Сделана матрица ошибок для кинематического фита
- ▶ Начата исследовательская работа на энергии ϕ -мезона и выше.

ПОКА ВСЁ!

Дополнительно*

Фит спектра инвариантных масс, $kf_chi2 < 30$, $En_phtn > 100$ MeV

- ▶ Пока не посчитана эффективность триггера ко всем точкам.
- ▶ ?Соответствие моделирования и эксперимента?
?Зависимость от модели?



Видимое сечение, ОЧЕНЬ предварительно.

Нужно вычесть пикованный фон

$$\omega \pi^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma!$$

Возможная модельная функция сигнала – произведение Gaus·BreitWigner

Дополнительно*

Использование модуля

Достоинства

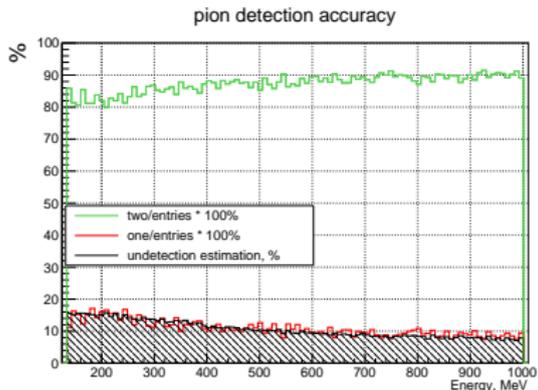
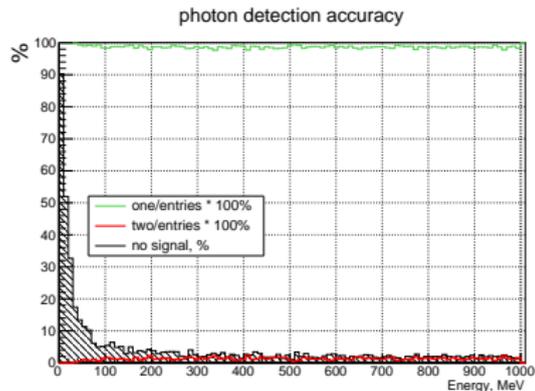
- ▶ Учитывает попадание нескольких частиц в один башенный кластер.
- ▶ Учитывает пересечение разных башен и полосок.
- ▶ Модуль учитывает сломанную башню.
- ▶ Более тонкая пришивка LXe и CsI. В $\pi^0\gamma$ были ошибки на ϕ -мезоне.
- ▶ Треки в ксеноне находятся в однозначном соответствии с треками ДК.

НЕДОСТАТКИ

- ▶ VGO пришивается из стандартной ветки. Возможно раздвоение фотонов на стыке.
- ▶ Используется стандартный CmdGammaCorr – энергетическое разрешение немножко хуже.
- ▶ Нет учёта космики и ядерных взаимодействий. Привет, K_L , K^\pm !
- ▶ Есть ошибка реконструкции 1 фотона как 2. $\sim 1\%$.
- ▶ Все N^2 пересечений полосковых сигналов являются мертвой зоной для мягких фотонов ($\sim 10 - 50$ МэВ).
- ▶ При увеличении числа фотонов факториально растёт время обработки, увеличивается вероятность ошибок, связанных с флуктуациями.

Дополнительно*

Качество реконструкции числа фотонов



- ▶ (без использования башен)
- ▶ Углы вылета фотонов ограничены ($|\text{ctg}(\theta)| < 0.907$).
- ▶ Вероятность реконструкции одного гамма-кванта и пиона как один и два фотона в развёртке по энергии ($E=0-1000$ МэВ).
- ▶ Вероятность отсутствия полосковых кластеров от фотона в развёртке по энергии (чёрным сверху).
- ▶ Оценена вероятность отсутствия сигнала от одного из фотонов в распаде пиона (чёрным снизу).

Дополнительно*

Добавление треков

Используем треки из дрейфовой камеры. Продолжаем их в ксенон.

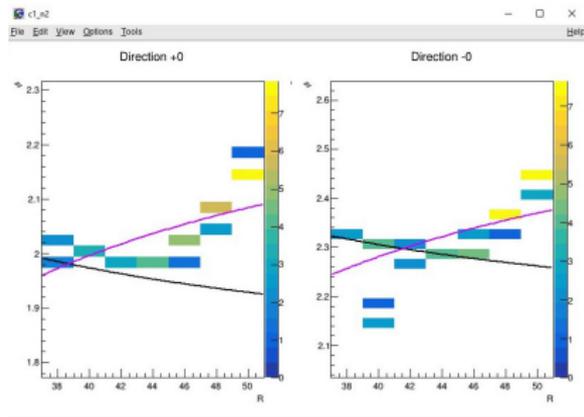
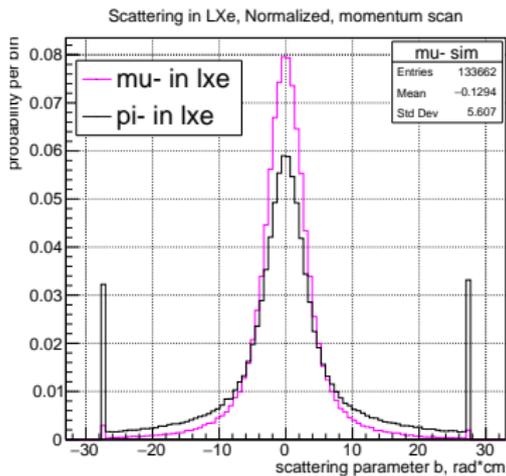
- ▶ В формулу $\phi(R) = \varphi_0 \pm \frac{Z_0}{R} + \arcsin\left(\frac{r_{min}}{R}\right) \pm \sqrt{1 - \frac{r_{min}^2}{R^2}} \cdot \text{ctg}(\theta)$ подставляются параметры трека из дрейфовой камеры.
- ▶ Учёт многократного рассеяния происходит добавлением вклада
$$\delta\phi(R) = a + b \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{R^2 - r_{min}^{DC2}}} - \frac{1}{\sqrt{R_{begin}^2 - r_{min}^{DC2}}} \right).$$

Параметр R_{begin} вводится для устранения корреляции между **a** и **b**. Параметр r_{min}^{DC} восстановлен по данным ДК.

- ▶ Параметр **a** – рассеяние до LXe, параметр **b** – рассеяние в LXe.
- ▶ Так как электроны дают ливни – условие на среднеквадратичную ширину сигнала такое же, как для фотонов. Для унификации.
- ▶ Если сигнал не описывается треком (не проходит условия на ширину) – происходит добавление фотонов.

Дополнительно*

Рассеяние пионных треков, моделирование



Пример π^+ , $p=300$ МэВ

Длина взаимодействия пионов в ксеноне 43 см (PDG). Часть пионов рассеивается на большие углы. Параметры **a** и **b** образуют столбы по краям области подгонки.

Можно попробовать разделять π/μ с использованием координатного разрешения