

Измерение нейтральных  $\pi$ -мезонов в калориметре PHOS  
эксперимента ALICE в области высоких поперечных импульсов  
методом слившихся кластеров

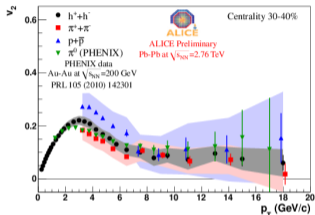
Кусков В.А.

НИЯУ МИФИ

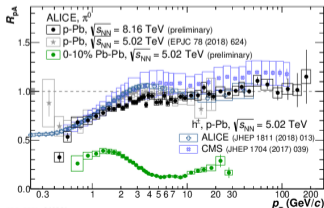
Научный руководитель: Блау Д.С.

29 июня 2022

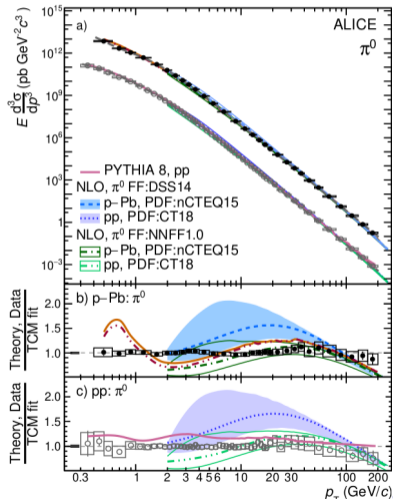
- Коллективные эффекты при образовании КГМ:



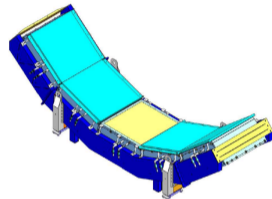
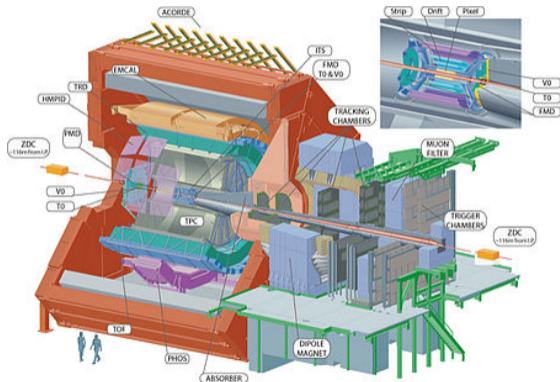
- Подавление выхода легких кварков:



- Изучение PDF/nPDF:



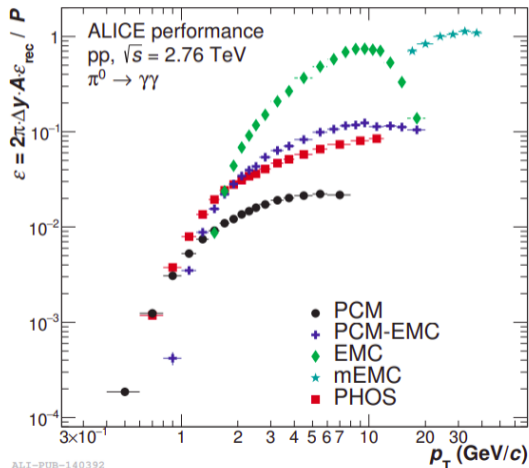
В состав детектора ALICE входит фотонный спектрометр (PHOS), разработанный для измерения энергии фотонов и нейтральных мезонов.



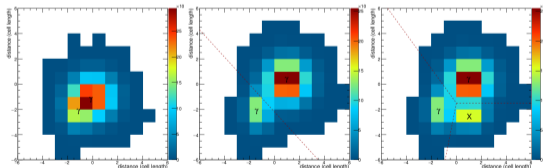
**Цель:** измерение спектров нейтральных пионов в  $pPb$ - и  $PbPb$ -столкновениях вплоть до поперечных импульсов 120 ГэВ/с с помощью калориметра PHOS.

# Кластеризация

Кластер — набор ячеек калориметра, имеющих общую грань или ребро, в которых произошло энерговыделение от налетающей частицы



При высоких поперечных импульсах родительских пионов, фотоны рождаются под узким углом открытия → при высоких энергиях кластеры от дочерних частиц пересекаются



Параметр	Значение
$ Z_{vtx} $	$< 10$ cm
Количество ячеек	$> 2^*$
Минимальная энергия, MeV	100/300**
Максимальная энергия, GeV	120
Время пролета, ns	25
Главная ось ливня $M_{02}$ , $\text{cm}^2$	$> 0.2^*$
CPV, $\sigma$	2.5

\* Данные ограничения не применялись для кластеров  $E < 0.5$  ГэВ;

\*\* Метод инвариантных масс / метод наложенных кластеров.

Отбирались данные по следующим триггерам:

- MB — детекторы V0A и V0C;
- L0 — низкоэнергетический триггер PHOS (L0);
- L1 — Высокоэнергетический триггер PHOS (L1).

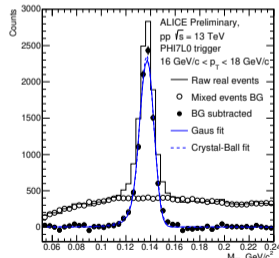
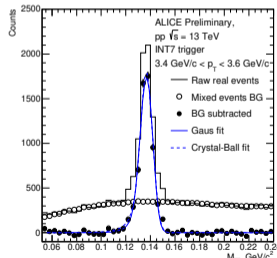
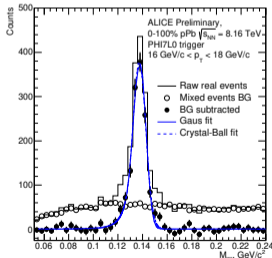
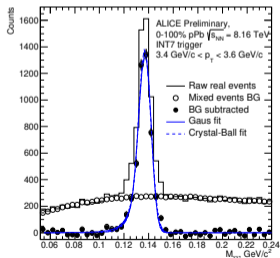
Количество отобранных событий:

	MB	L0	L1
pPb	8.21E+07	2.53E+06	1.04E+06
pp	2.58E+08	2.46E+07	1.04E+06

$$M = \sqrt{2E_1 E_2 (1 - \cos \theta_{12})}$$

- 4 диапазона фитирования:  $[0.055, 0.220]$  ГэВ/ $c^2$ ,  $[0.065, 0.22]$  ГэВ/ $c^2$ ,  $[0.55, 0.20]$  ГэВ/ $c^2$ ,  $[0.055, 0.24]$  ГэВ/ $c^2$ ;
- 2 функции описания комбинаторного фона — pol2 и pol3;
- 2 функции описания пика — Gaus и Crystal Ball.

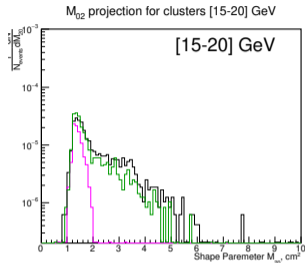
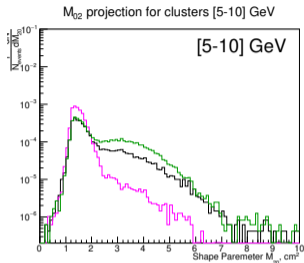
## Примеры распределений по двухфотонным инвариантным массам



pPb-столкновения  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  ТэВ

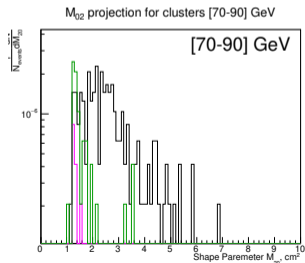
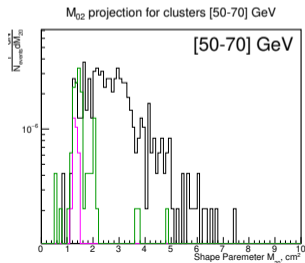
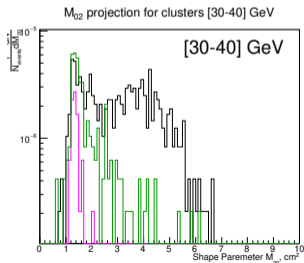
pp-столкновения  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ

# Отбор наложенных кластеров



- Merged clusters
- Single particle clusters
- Multiple particle clusters

0-100% pPb  $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 8.16$  TeV  
ALICE Simulations, JJ events

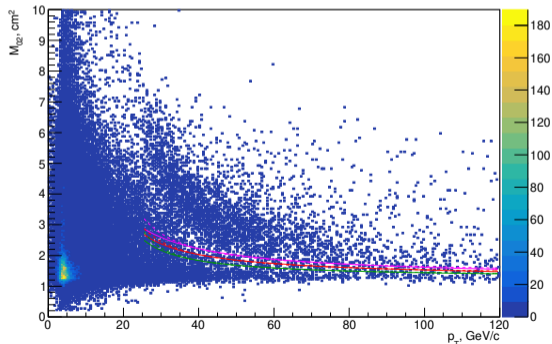
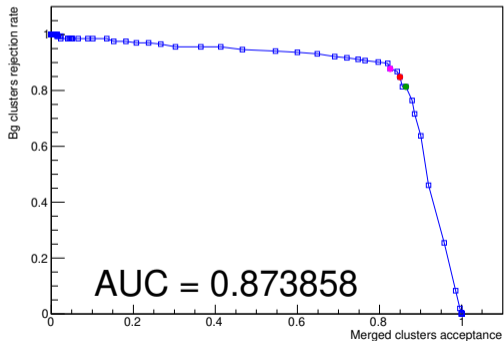


# Отбор наложенных кластеров

- Merged cluster acc. —  $N_{merged}^{pass}(M_{02})/N_{merged}^{all}(M_{02})$ ;
- Bg rejection rate —  $N_{notmerged}^{notpass}(M_{02})/N_{notmerged}^{all}(M_{02})$ .

Каждая точка (синие квадраты) на ROC-кривой представляет ограничение на минимальный  $M_{02}$  от 0 до 10  $\text{cm}^2$  ([0;10], [0.1; 10], [0.2; 10] и т.д.).

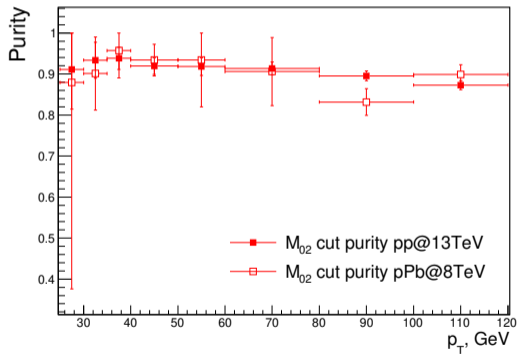
ROC-curve [40-45]



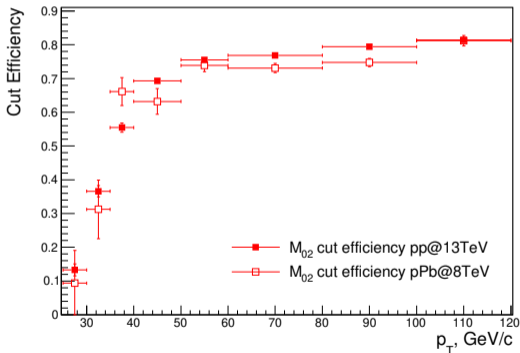


# Чистота наложенных кластеров

- $P = N_{merged}^{pass}(p_T) / N_{all}^{pass}(p_T)$  — чистота отбора;
- $\varepsilon_{cut} = N_{merged}^{pass}(p_T) / N_{merged}^{all}(p_T)$  — эффективность отбора.



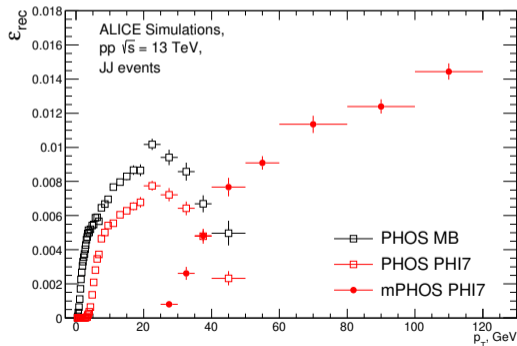
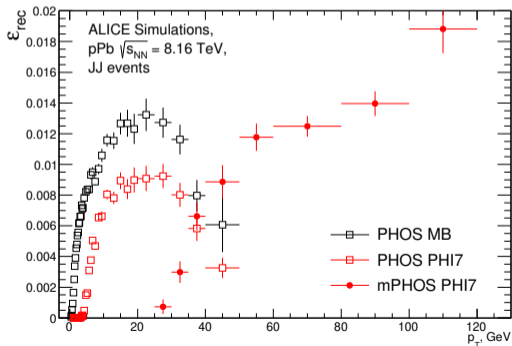
Чистота отбора наложенных кластеров



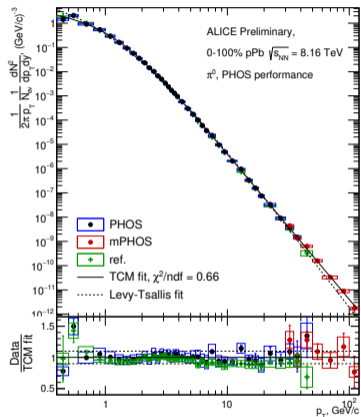
Эффективность отбора наложенных кластеров

Сырой спектр нейтральных пионов корректируется на эффективность реконструкции:

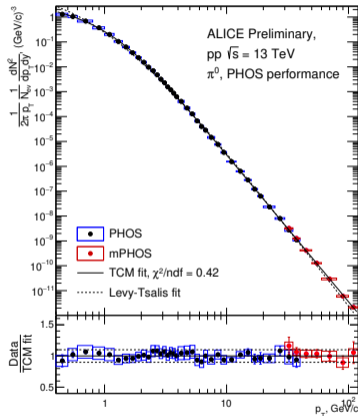
$$E \frac{d^3N}{dp^3} = \frac{d^3N}{p_T dp_T dy d\varphi} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{N_{ev}} \frac{1}{p_T} \frac{1}{\varepsilon_{rec}} \frac{P}{dp_T dy} d^2N$$



# Спектр нейтральных пионов



рPb-столкновения  
 $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  ТэВ



pp-столкновения  $\sqrt{s} = 13$   
 ТэВ

- Two-component model:

$$E \frac{d^3 N}{dp^3} = A_e \exp\left(-\frac{E_T^{kin}}{T_e}\right) + A \left(1 + \frac{p_T^2}{T^2 \cdot n}\right)^{-n}$$

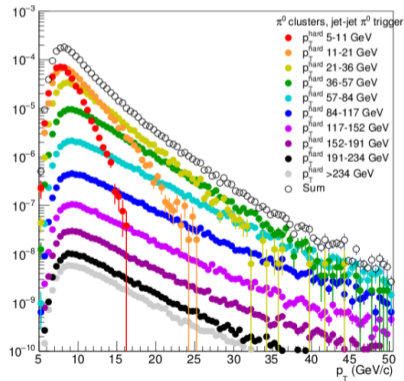
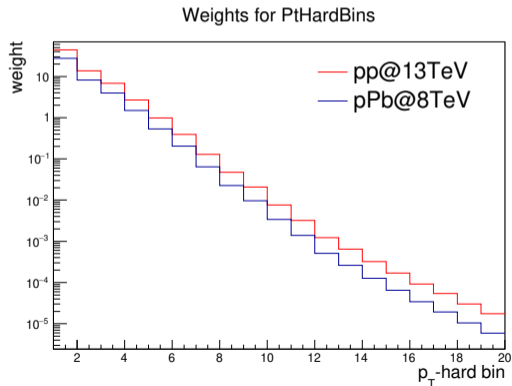
	pPb	pp
$A_e, (\text{GeV}/c)^{-2}$	$2.6 \pm 0.8$	$4.6 \pm 1.8$
$T_e, \text{GeV}$	$0.274 \pm 0.019$	$0.175 \pm 0.034$
$A, (\text{GeV}/c)^{-2}$	$1.4 \pm 0.3$	$1.4 \pm 0.3$
$T, \text{GeV}$	$0.698 \pm 0.028$	$0.645 \pm 0.027$
$n$	$3.03 \pm 0.02$	$2.96 \pm 0.01$
$\chi^2/ndf$	0.66	0.42

- Разработан метод по отбору наложенных кластеров от  $\pi^0$  в калориметре PHOS; спектры, полученные разработанным методом, в пределах ошибок согласуются со стандартным методом наложенных кластеров;
- Получен выход нейтральных пионов в pPb-столкновениях при  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  ТэВ методом инвариантных масс и методом наложенных кластеров, полученный спектр согласуется со спектром, опубликованным коллаборацией ALICE;
- Впервые получен выход нейтральных пионов в  $pp$ -столкновениях при  $\sqrt{s} = 13$  ТэВ;
- Метод наложенных кластеров позволил расширить диапазон реконструируемых нейтральных пионов до 120 ГэВ/с.

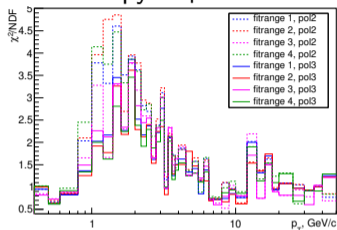
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Смешивание  $p_T$ -hard бинов (генератор Pythia8):

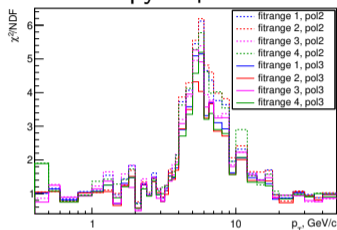
$$w_i = \frac{\sigma_i}{N_{Trials,i}}, \quad (1)$$



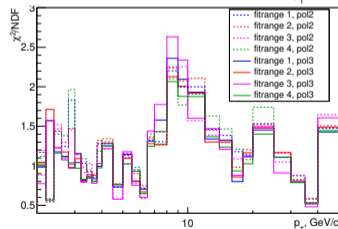
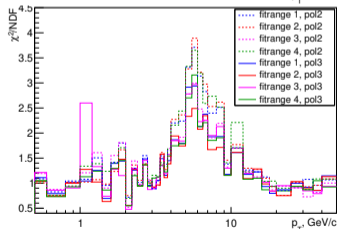
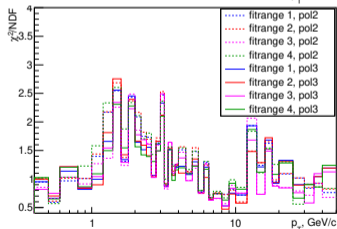
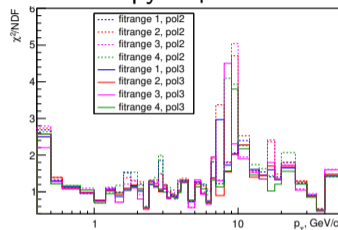
## GS функция MB



## GS функция L0



## GS функция L1



## SV функция MB

## SV функция L0

## SV функция L1

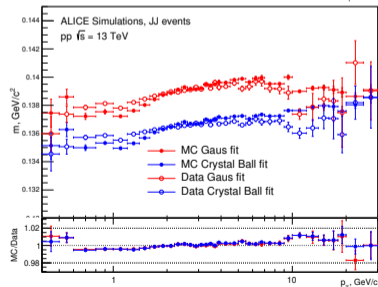
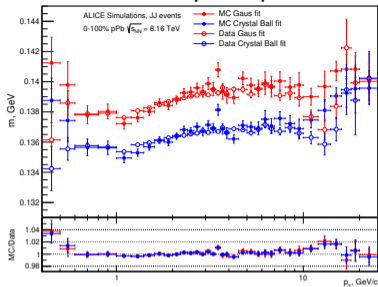
Функции, описывающие пионный пик в распределении инвариантных масс:

$$f(m_{\gamma\gamma}, \sigma, \alpha) = \begin{cases} C \left[ e^{-\frac{(m_{\gamma\gamma} - m)^2}{2\sigma^2}} + e^{\frac{m_{\gamma\gamma} - m}{\alpha}} \left( 1 - e^{-\frac{(m_{\gamma\gamma} - m)^2}{2\sigma^2}} \right) \right], & m_{\gamma\gamma} < m \\ C \exp\left(-\frac{(m_{\gamma\gamma} - m)^2}{2\sigma^2}\right), & m_{\gamma\gamma} > m \end{cases} \quad (2)$$

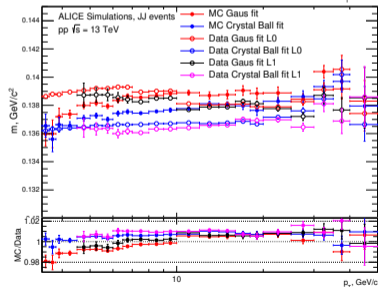
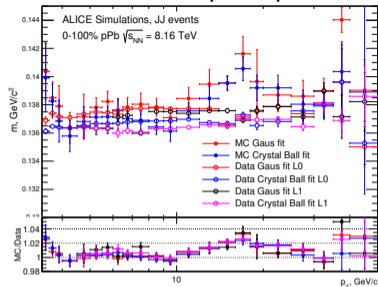
$$f(m_{\gamma\gamma}, \sigma, n, \alpha) = \begin{cases} A(B - (m_{\gamma\gamma} - m)/\sigma)^n, & m_{\gamma\gamma} - m < -\alpha\sigma \\ C \exp\left(-\frac{(m_{\gamma\gamma} - m)^2}{2\sigma^2}\right), & m_{\gamma\gamma} - m > -\alpha\sigma \end{cases} \quad (3)$$



## МВ триггер

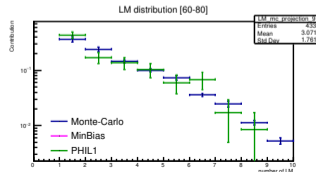
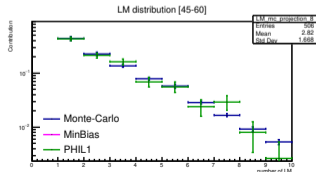
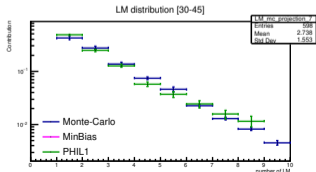
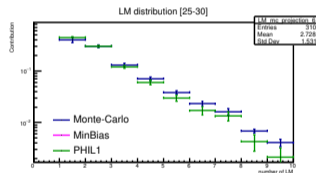
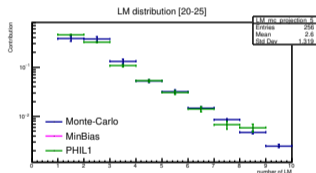
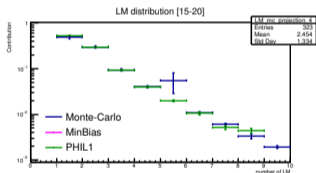
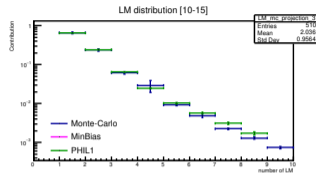
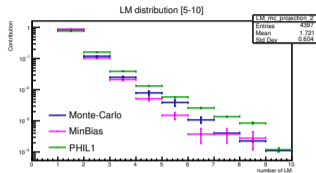
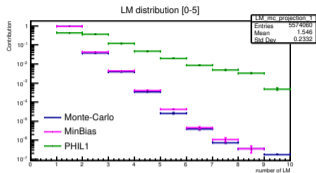


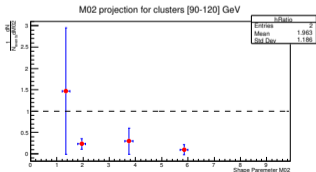
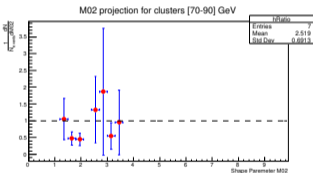
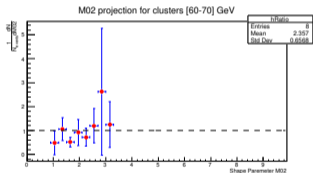
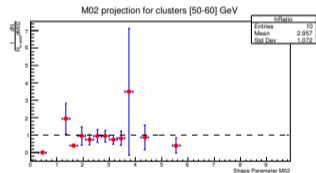
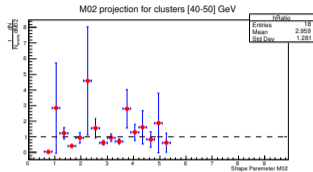
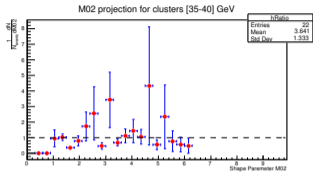
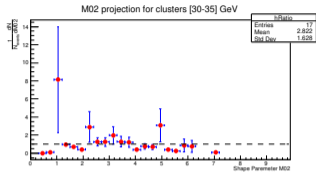
## L0 и L1 триггеры



Соответствие в определении положения пика в MC-моделировании и реальных данных

# Васкур. Распределение по числу локальных максимумов





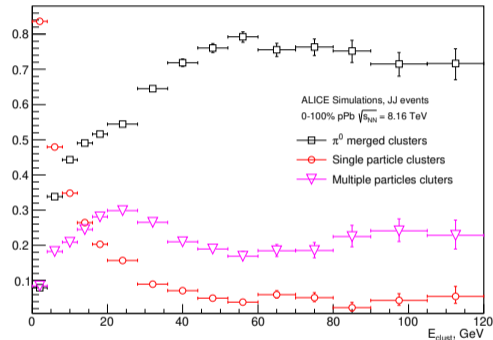
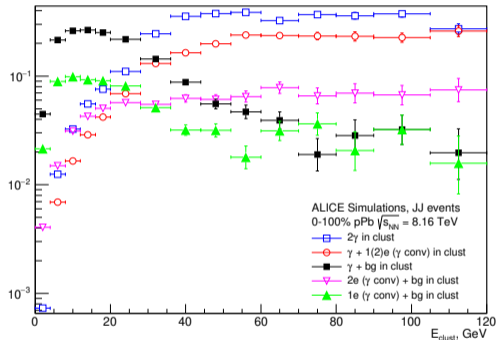
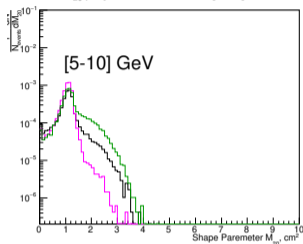
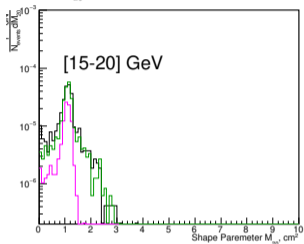


Рис.: Доли различных кластеров в выборке: а) – доли наложенных кластеров выделенных категорий; б) – доля всех наложенных кластеров среди всех кластеров PHOS

$M_{20}$  projection for clusters [5-10] GeV



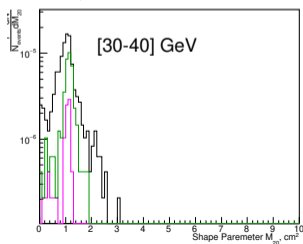
$M_{20}$  projection for clusters [15-20] GeV



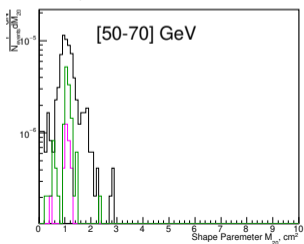
- Merged clusters
- Single particle clusters
- Multiple particle clusters

0-100% pPb  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV  
ALICE Simulations, JJ events

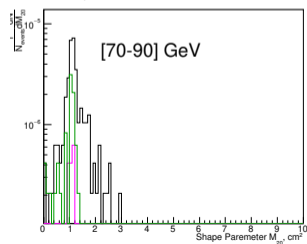
$M_{20}$  projection for clusters [30-40] GeV



$M_{20}$  projection for clusters [50-70] GeV



$M_{20}$  projection for clusters [70-90] GeV

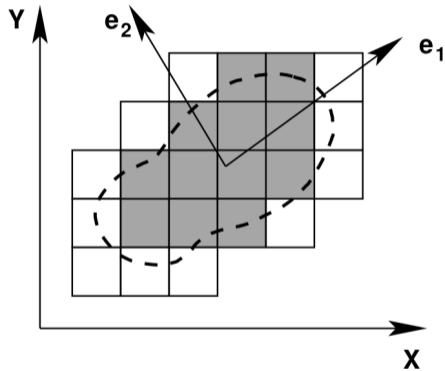


$$S = \begin{pmatrix} s_{xx} & s_{zx} \\ s_{xz} & s_{zz} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

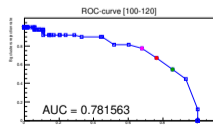
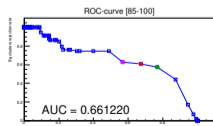
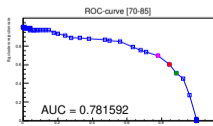
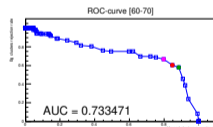
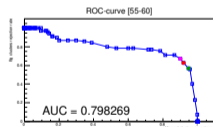
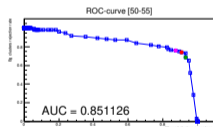
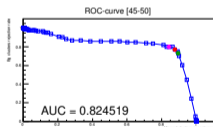
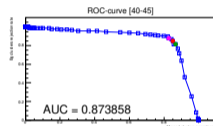
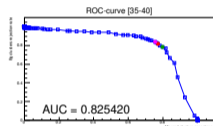
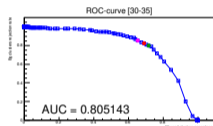
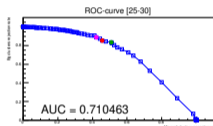
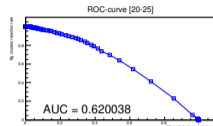
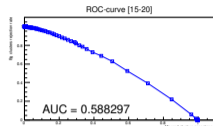
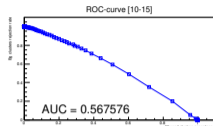
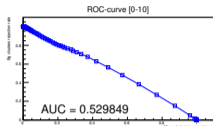
где

$$s_{xx} = \langle (x_i - \bar{x})^2 \rangle$$

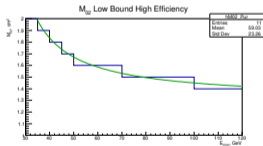
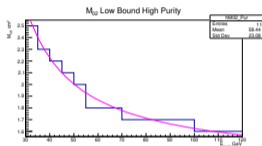
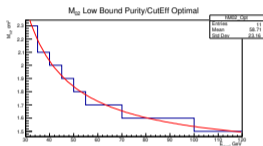
$$\lambda_{1,2} = \frac{s_{xx} + s_{zz} \pm \sqrt{(s_{xx} - s_{zz})^2 + 4s_{xz}^2}}{2} \quad (5)$$



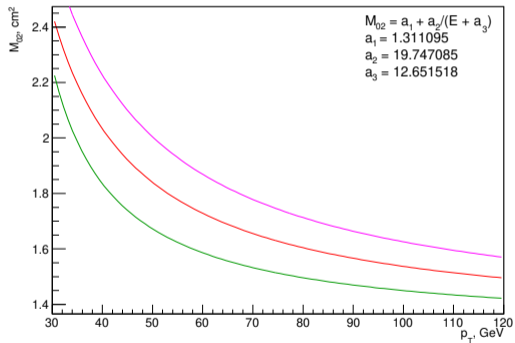
Собственные значения (большая и малая оси) профиля электромагнитного ливня



## Параметризация распределения $M_{02}$ при отборе наложенных кластеров:



Fit Functions

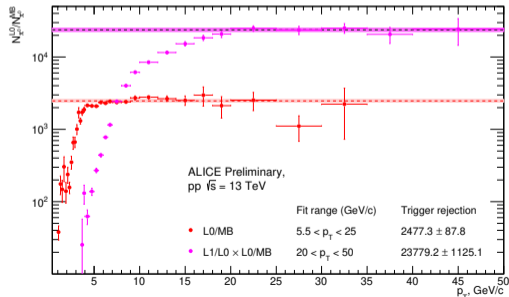
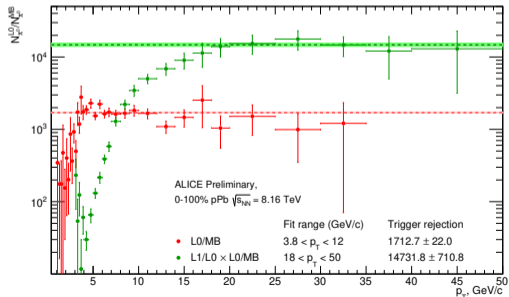




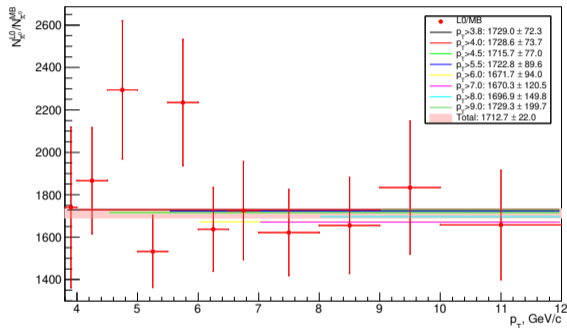
# Trigger rejection factors

При регистрации событий по триггерам L0 и L1 необходимо также учитывать частоту срабатывания триггеров по отношению к событиям, зарегистрированным по триггеру MB с помощью коэффициента подавления триггеров (trigger rejection factor):

$$RF = \frac{dN_{Trig}/dy/dp_T}{dN_{MB}/dy/dp_T}$$



RF for PHIL0 trigger



RF for PHIL1 trigger

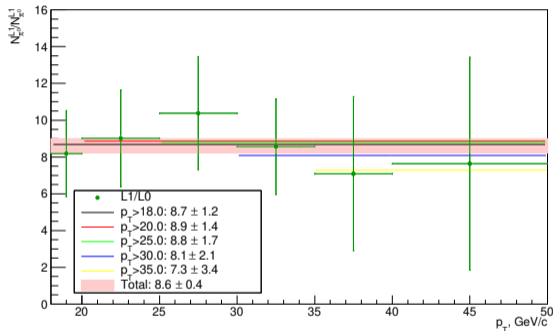


Рис.: Коэффициенты подавления триггеров: а) – для триггера L0 по отношению к триггеру MB; б) – для триггера L1 по отношению к триггеру L0