

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ, ПУЧКОВ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

УДК 539.17

РАЗРАБОТКА УЛУЧШЕННЫХ МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ η -МЕЗОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ALICE

© 2021 г. Д. С. Блау^a, М. С. Голубева^{a, *}

^aНациональный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, 123182 Россия

*E-mail: golubeva.ms@phystech.edu

Поступила в редакцию 24.12.2020 г.

После доработки 24.02.2021 г.

Принята к публикации 04.03.2021 г.

В данной работе рассматривается измерение η -мезонов статистическим методом с отбрасыванием пар кластеров с инвариантной массой, соответствующей π^0 -мезону. Были измерены эффективность (отношение числа η -мезонов, прошедших отбор, к числу η -мезонов до отбора) и улучшение соотношения сигнала к фону в зависимости от поперечного импульса для протон-протонных столкновений при энергии $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, смоделированных с помощью PYTHIA 8.2 (Monash 2013). Эффективность нового метода составляет около 80% с улучшением отношения сигнала к фону на 20–50%.

Ключевые слова: гамма-спектрометр, электромагнитный калориметр, кварк-глюонная плазма, нейтральные мезоны

DOI: 10.56304/S2079562920060111

1. ВВЕДЕНИЕ

Эксперимент ALICE [1] изучает сильновзаимодействующую материю при экстремально высоких плотностях энергии и температурах. Ключевой задачей ALICE является измерение сигналов образования кварк-глюонной материи, характеризующейся тем, что кварки и глюоны в ней находятся в состоянии деконфайнмента, в отличие от обычной ядерной материи. Также важной задачей является проверка и уточнение предсказаний квантовой хромодинамики, например, спектров образования нейтральных мезонов (в частности, π^0 и η). Важно отметить, что детектор ALICE позволяет измерить эти спектры в широком диапазоне поперечных импульсов. Одним из детекторов, позволяющих ALICE измерять нейтральные мезоны, является PHOS [2].

2. ОПИСАНИЕ ДЕТЕКТОРА PHOS

Детектор PHOS является высокогранулярным прецизионным фотонным спектрометром на основе кристаллов вольфрамата свинца. Основная задача детектора PHOS — измерение нейтральных мезонов и прямых фотонов. У детектора PHOS есть возможность вырабатывать триггер на события с высокоэнергетичными фотонами, с помощью которого детектор PHOS может измерять спектры вплоть до очень высоких значений p_T (порядка 50 ГэВ/с).

Детектор PHOS позволяет измерять нейтральные мезоны в p - p , p - Pb и Pb - Pb столкновениях. Спектры π^0 -мезонов в настоящее время измерены в pp [3, 4], p - Pb [5] и Pb - Pb [6] столкновениях. Спектры η -мезонов измерены только в pp -столкновениях, поскольку в Pb - Pb столкновениях систематические неопределенности весьма значительны, что связано с большим фоном. Для решения этой проблемы был предложен улучшенный метод реконструкции η -мезонов.

3. МЕТОД ОТБРАСЫВАНИЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ η -МЕЗОНОВ

Пик π^0 -мезона аппроксимировался в спектрах инвариантных масс пар кластеров, зарегистрированных в детекторе PHOS, для разных диапазонов поперечных импульсов p_T . Затем ширина и положение пика π^0 -мезона параметризовались с помощью аналитических функций. После этого в цикле по кластерам детектора PHOS помечались кластеры, которые создавали инвариантную массу в пределах 2σ от положения пика π^0 , где σ — ширина пика при аппроксимации спектра инвариантных масс функцией Гаусса + полиномом 2-й степени. В результирующие спектры инвариантных масс заполнялись только непомеченные кластеры.

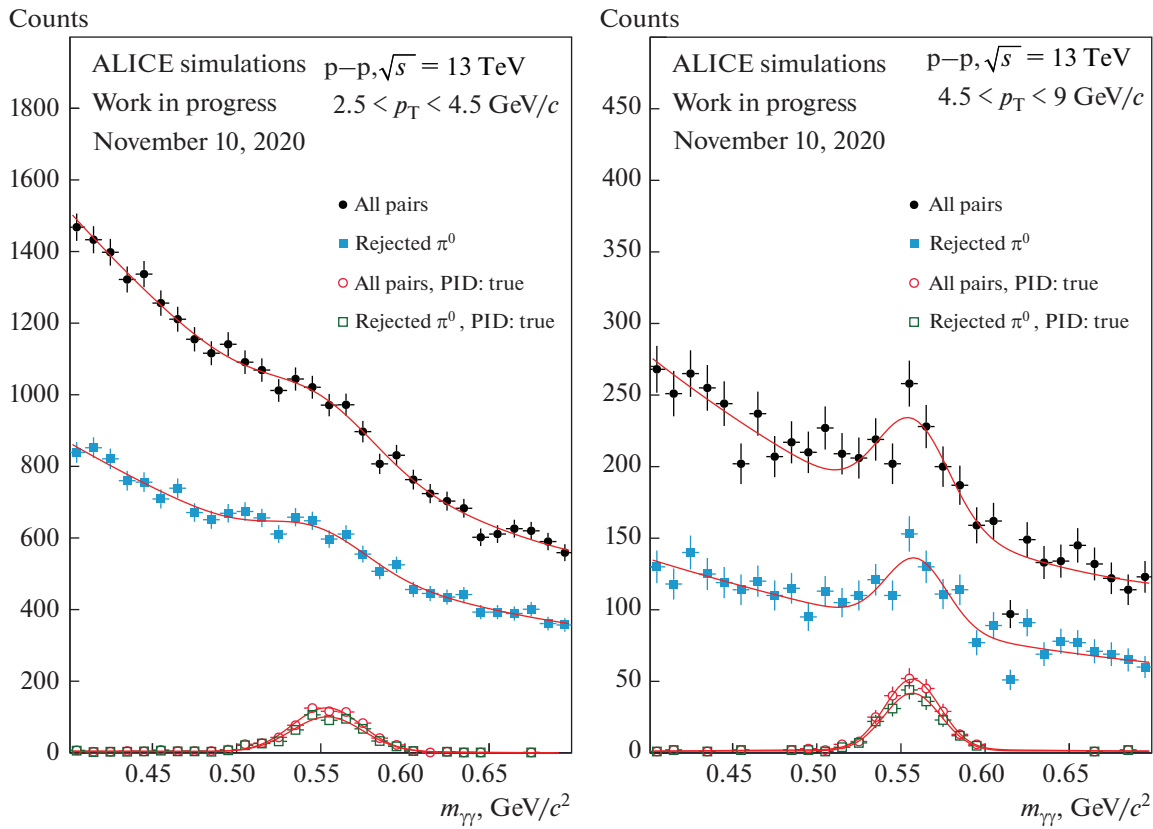


Рис. 1. Спектры инвариантных пар кластеров в PHOS для двух диапазонов поперечных импульсов без отбора (all pairs), с отбором (π^0) и истинные инвариантные массы фотонов из распадов η -мезона с отбором (all pairs, PID: true) и без (π^0 , PID: true). Под истинными подразумеваются пары фотонов, образовавшихся от общего родителя.

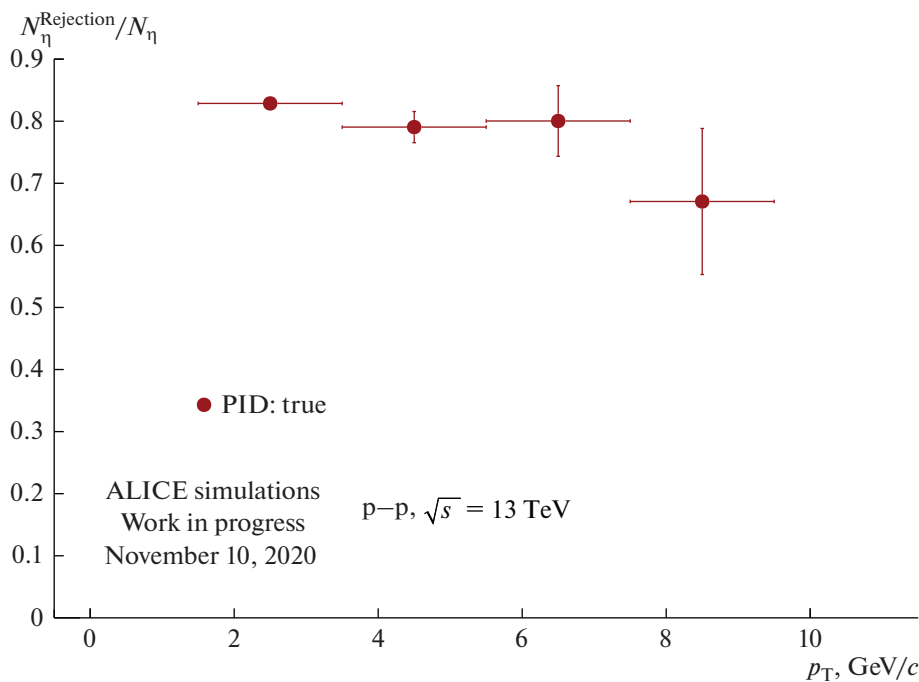


Рис. 2. Зависимость эффективности метода отбрасывания от p_T .

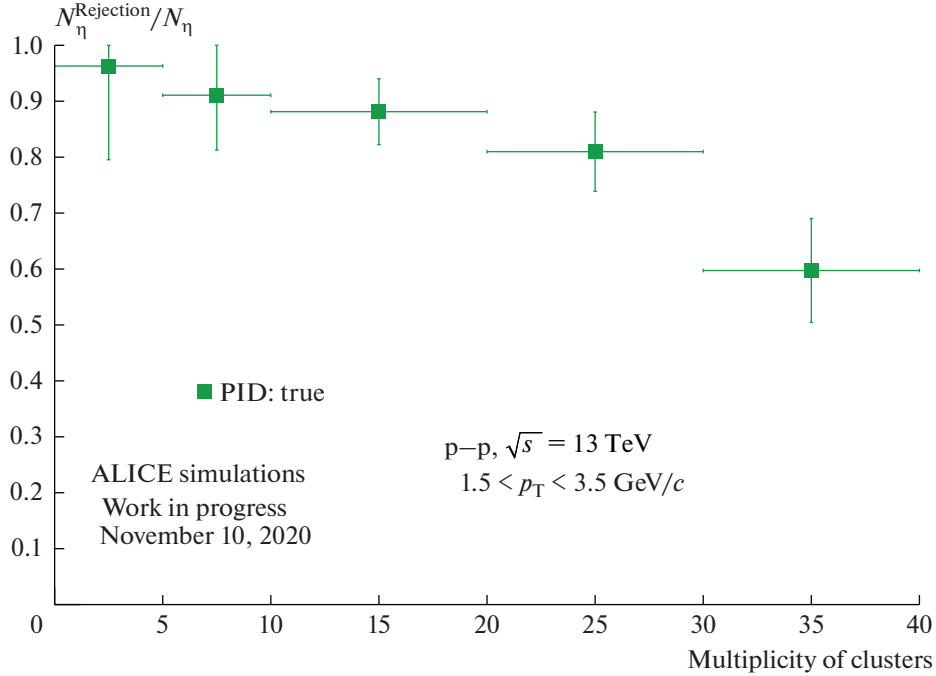


Рис. 3. Зависимость эффективности метода отбрасывания от множественности нейтральных кластеров для $1.5 < p_T < 3.5$ ГэВ/с. Последняя точка отражает эффективность для множественности кластеров больше 30.

4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Алгоритм был применен к данным для протон-протонных столкновений при энергии $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, смоделированных с помощью PYTHIA 8.2 (Monash 2013) [7]. Обработанная статистика составляет 270 миллионов событий. На рис. 1 пока-

заны спектры инвариантных масс пар кластеров в детекторе PHOS для всех кластеров, для кластеров, прошедших отбор по методу отбрасывания и для кластеров, которые произошли от распада общего η -мезона. Все пики аппроксимировались функцией Гаусса + полиномом 2-й степени, после чего извлекалось число η -мезонов под пиком.

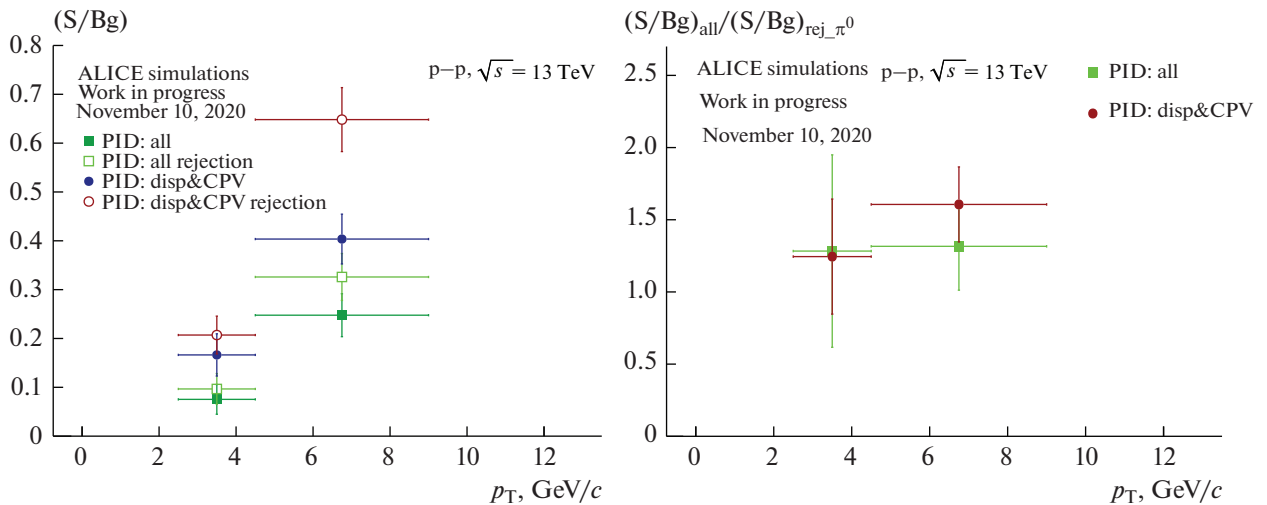


Рис. 4. Слева: отношение сигнала к фону (S/Bg) для четырех случаев: без отбора (PID: all), с отбором с помощью отбрасывания (PID: all rejection), с применением идентификации по форме ливня и методом CPV (PID: disp & CPV), с применением всех ограничений (PID: disp & CPV rejection). Справа: Отношение S/Bg в случае использования метода отбрасывания к случаю без использования для двух вариантов: без идентификации (PID: all) и с идентификацией по форме ливня и методом CPV [8] (PID: disp & CPV).

Были посчитаны эффективности — отношение числа η -мезонов, прошедших отбор, ко всем (см. рис. 2). Видно, что эффективность составляет порядка 80%, хотя и с большими неопределенностями.

Также была получена зависимость эффективности от множественности кластеров для $1.5 < p_T < 3.5$ ГэВ/с (см. рис. 3). Эффективность заметно уменьшается с ростом множественности кластеров в событии.

Было получено соотношение сигнала к фону для пика η -мезона (см. рис. 4, слева). Соотношение считается в диапазоне $\pm 2\sigma$ от среднего положения пика. Видно, что метод улучшает соотношение на 20–50% (см. рис. 4, справа). Существуют и другие методы идентификации, например, ограничение на дисперсию кластера и ограничение на расстояние до ближайшего экстраполированного заряженного трека — метод CPV (с помощью экстраполяции заряженных треков из центральной трековой системы) [8]. Если использовать алгоритм вместе с этими методами идентификации, можно добиться улучшения сигнала к фону приблизительно в 2.5 раза.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен метод реконструкции η -мезонов с помощью отбрасывания пар кластеров, имеющих инвариантную массу, соответствующую π^0 -мезону. Метод применен к данным протон-протонных столкновений при энергии $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, смоделированных с помощью PYTHIA 8.2 (Monash 2013). Эффективность метода составляет порядка 80%. Было получено, что эффективность падает с ростом множественности нейтральных кластеров. Улучшение сигнала к фону для метода составило 20–50%. Потенциально, метод может быть применен к реконструкции η' -мезонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Aamodt K. *et al.* // J. Instrum. 2008. V. 3. P. S08002.
2. Dellacasa G. *et al.* ALICE Photon Spectrometer (PHOS): Technical Design Report. 1999. Geneva: CERN. CERN-LHCC-99-004.
3. Abelev B. *et al.* // Phys. Lett. B. 2012. V. 717. P. 162.
4. Acharya S. *et al.* // Eur. Phys. J. C. 2018. V. 78. P. 263.
5. Acharya S. *et al.* // Eur. Phys. J. C. 2018. V. 78. P. 624.
6. Abelev B. *et al.* // Eur. Phys. J. C. 2014. V. 74. P. 3108.
7. Sjöstrand T. *et al.* // Comp. Phys. Commun. 2015. V. 191. P. 159.
8. Blau D. // J. Instrum. 2020. V. 15. P. C03025.

Development of Improved Methods for the Reconstruction of η Mesons in the ALICE Experiment

D. S. Blau¹ and M. S. Golubeva^{1, *}

¹National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, 123182 Russia

*e-mail: golubeva.ms@phystech.edu

Received December 24, 2020; revised February 24, 2021; accepted March 4, 2021

In this paper, we consider the measurement of η -mesons by a statistical method with the rejection of pairs of clusters with an invariant mass corresponding to π^0 -meson. The efficiency (the ratio of the number of η -mesons that passed selection to the number of η -mesons before selection) and the improvement of the signal-to-background ratio as a function of the transverse momentum for proton-proton collisions at energy at the energy $\sqrt{s} = 13$ TeV simulated using PYTHIA 8.2 (Monash 2013) were measured. The efficiency of the new method is about 80% with a 20–50% improvement in the signal-to-background ratio.

Keywords: gamma spectrometer, electromagnetic calorimeter, quark-gluon plasma, neutral mesons