

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

УДК 539.1, 539.12.01

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
**ВЛИЯНИЕ АКЦЕПТАНСА ДЕТЕКТОРА НА
ВЕЛИЧИНУ ФЛУКТУАЦИЙ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ МНОЖЕСТВЕННОСТИ
ЧАСТИЦ В PP СТОЛКНОВЕНИЯХ ПРИ
ЭНЕРГИЯХ БАК**

Научный руководитель

к.ф.-м.н.

_____ Д. Ю. Пересунько

Студент

_____ Е. А. Некрасова

Москва 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение	2
2	Эксперимент ALICE	3
2.1	Общая информация	3
2.2	Детектор PHOS	4
2.3	Детектор TPC	5
3	Измерение величины флуктуаций	6
3.1	Переменная ν_{dyn}	6
3.2	Специфика измерения π_0 мезонов	6
4	Зависимость ν_{dyn} от акцептанса	7
4.1	Поиск оптимальных катов	8
4.1.1	Зависимость от $ \eta $	8
4.1.2	Зависимость от ϕ	9
5	Заключение	10
	Список использованных источников	11

1. ВВЕДЕНИЕ

В pp и AA столкновениях высоких энергий на короткое время образуется область с экстремальной плотностью энергии, при этом могут возникать специфические состояния системы, такие, как, например, дезориентированный киральный конденсат [1; 2] или Бозе-Эйнштейновский конденсат пионов [3]. Вышеперечисленные явления могут приводить к резкому увеличению флуктуаций числа конечных частиц. Также, если в процессе эволюции горячей материи, рожденной в ядро-ядерном столкновении, она пройдет близко к критической точке КХД, увеличение величины флуктуаций различных наблюдаемых может сохраниться до конечного этапа столкновения [4]. Поэтому оценка величины флуктуаций, открывающая возможности для исследования целого ряда эффектов, является актуальной задачей современной физики высоких энергий.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ ALICE

2.1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ALICE - один из четырех наиболее крупных экспериментов на Большом адронном коллайдере (LHC) в ЦЕРН, Женева[5]. Он предназначен для изучения физики сильно взаимодействующей материи при экстремальных плотностях энергии, где образуется фаза вещества, называемая кварк-глюонной плазмой. Структура эксперимента ALICE показана на рис. 1.

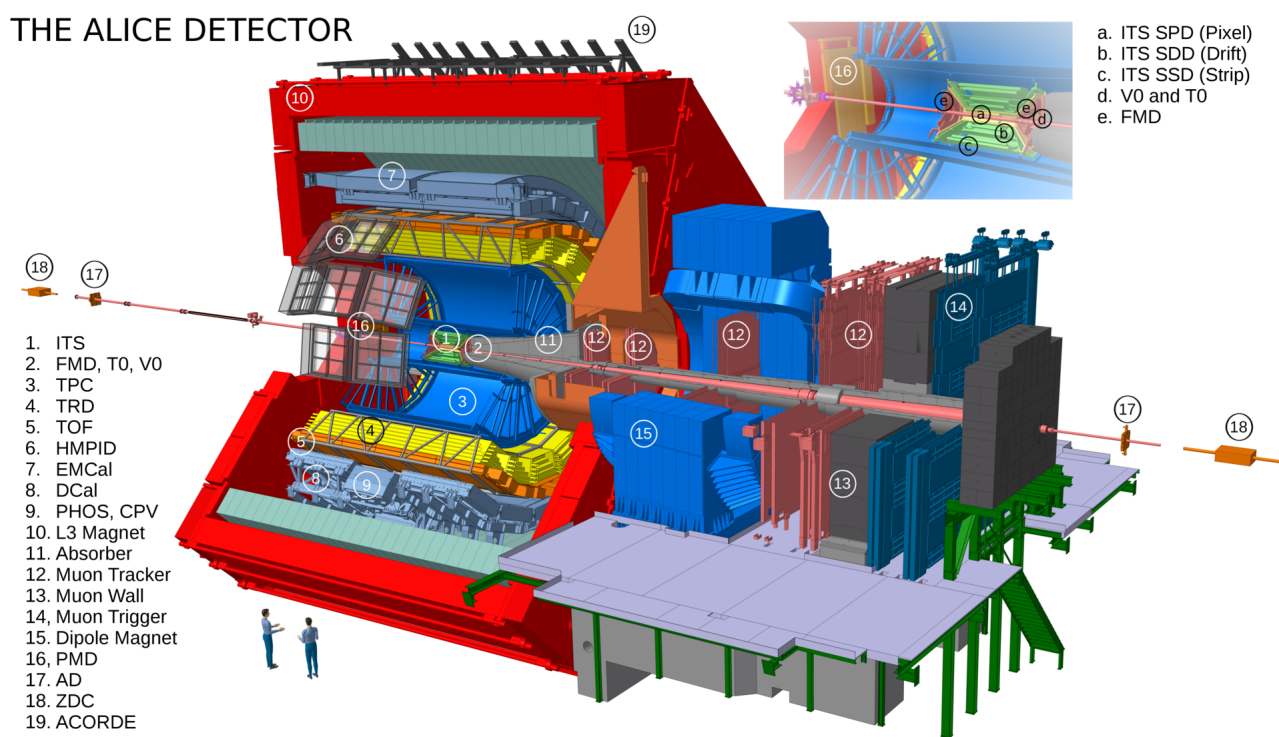


Рисунок 1 — Эксперимент ALICE

Специфика АА столкновений заключается в их высокой множественности (десятки тысяч конечных частиц), поэтому при изучении столкновений ядер возрастает роль хорошей идентификации частиц. Детектор ALICE был разработан для изучения столкновений тяжелых ионов при ультрарелятивистских энергиях. Это позволяет ему успешно детектировать и идентифицировать частицы в событиях с высокой множественностью.

В дальнейшем нас будут интересовать флуктуации числа заряженных идентифицированных адронов и фотонов.

2.2. ДЕТЕКТОР PHOS

Для реконструкции фотонов в ALICE используется детектор PHOS - высокогранулярный прецизионный электромагнитный калориметр на основе кристаллов PbWO_4 , охватывающий $|\eta| < 0,13$ и $260^\circ < \phi < 320^\circ$.

Детектор состоит из четырех модулей, установленных на радиальном расстоянии 460 см от точки взаимодействия ALICE. Из них три модуля состоят из $56 \times 64 = 3584$ сцинтилляционных кристаллов PbWO_4 с поперечным размером $2.2 \times 2.2 \text{ см}^2$, а четвертый модуль содержит $56 \times 32 = 2600$ кристаллов. Каждый полный модуль покрывает азимутальный угол 20° .

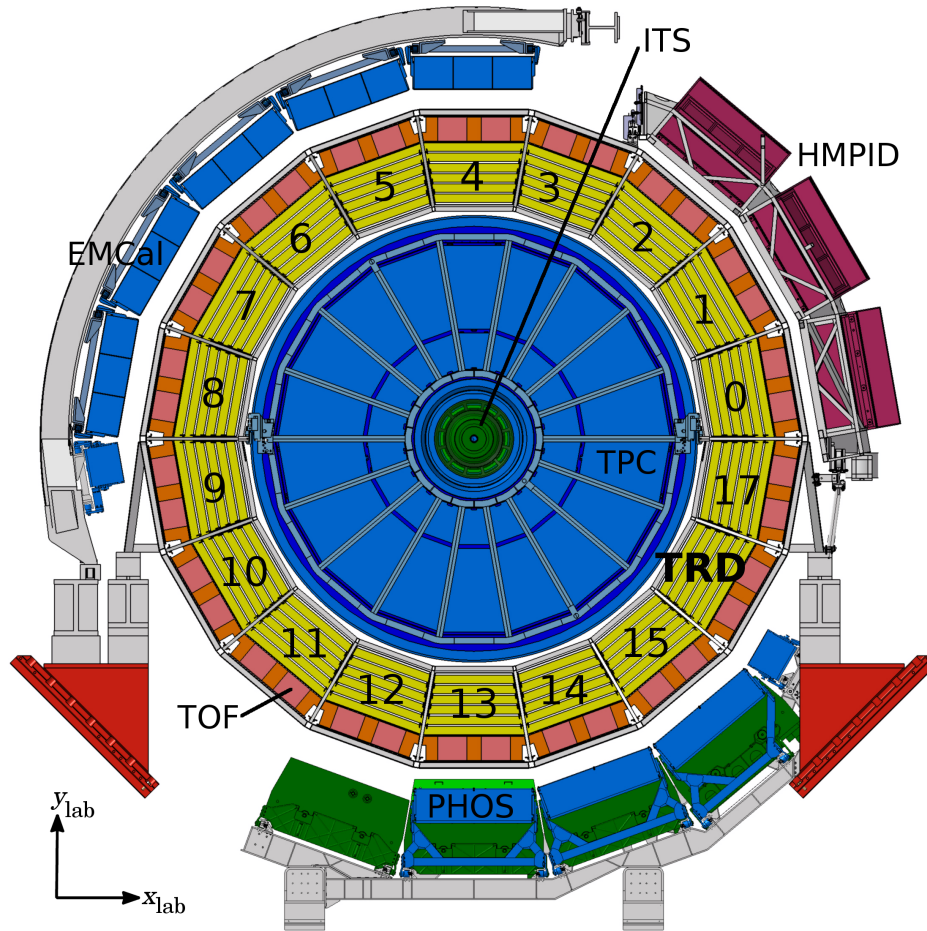


Рисунок 2 — Схематическое сечение детектора ALICE перпендикулярно направлению луча, расположение детекторов PHOS и TPC

2.3. ДЕТЕКТОР ТРС

Реконструкция заряженных адронов в ALICE производится в диапазоне $|\eta| < 0.9$ и полном азимутальном угле. Их идентификация основана на удельных энергетических потерях во время-проекционной камере - детекторе ТРС.

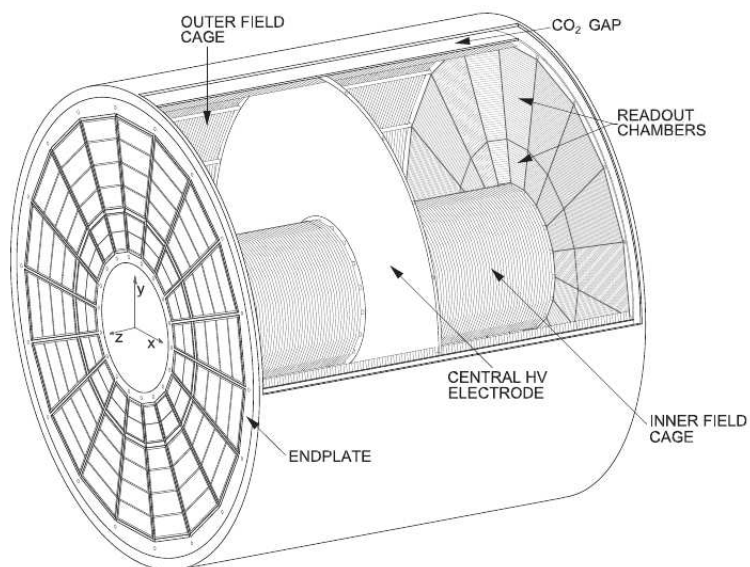


Рисунок 3 — Схематический вид детектора ТРС

Время-проекционная камера (ТРС) - это большой (85 м^3) цилиндрический дрейфовый детектор, заполненный газовой смесью Ne/CO₂ (90/10%). Он охватывает $|\eta| < 0,9$ по полному азимутальному углу, с максимумом в 159 реконструированных пространственных точек вдоль трека. ТРС обеспечивает идентификацию частиц посредством измерения удельной потери энергии (dE/dx) с разрешением 5,5%.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ФЛУКТУАЦИЙ

3.1. ПЕРЕМЕННАЯ ν_{DYN}

Для оценки величины флуктуаций к настоящему моменту предложено большее количество различных статистических наблюдаемых. В данной работе рассмотрена *динамическая переменная* ν_{dyn} [6]:

$$\nu_{dyn}(1, 2) = \frac{\langle N_1(N_1 - 1) \rangle}{\langle N_1 \rangle^2} + \frac{\langle N_2(N_2 - 1) \rangle}{\langle N_2 \rangle^2} - 2 \frac{\langle N_1 N_2 \rangle}{\langle N_1 \rangle \langle N_2 \rangle}, \quad (1)$$

где N_1 и N_2 - число частиц сортов 1 и 2 на событие, а треугольными скобками обозначено усреднение по событиям.

Преимущество данной переменной в том, что в ней сокращается зависимость от эффективности регистрации частиц. В случае независимых пуассоновских распределений обеих частиц динамическая переменная обращается в ноль [7]. В противном случае можно сделать вывод о некоторой статистической зависимости между рассматриваемыми величинами, причём при отрицательных значениях переменной имеет место корреляция, а при положительных — анти-корреляция между частицами.

3.2. СПЕЦИФИКА ИЗМЕРЕНИЯ π_0 МЕЗОНОВ

Нашей конечной целью является изучение корреляции между заряженными и нейтральными пионами, однако непосредственное наблюдение нейтральных пионов невозможно из-за их малого времени жизни. С вероятностью в 98.8% нейтральный пион распадается в два фотона, поэтому флуктуация числа дочерних фотонов будет отражать флуктуации числа родительских пионов. С другой стороны, Монте-Карло моделирование pp , pA и AA столкновений показывает, что среди мягких фотонов с энергией $p_T \lesssim 1$ ГэВ/с фотоны, рожденные в распадах π^0 , составляют более 90% от общего числа [8].

В перспективе планируется восстанавливать нейтральные пионы по их дочерним фотонам, однако на данном этапе работы π^0 мезоны рассматривались непосредственно.

4. ЗАВИСИМОСТЬ ν_{DYN} ОТ АКЦЕПТАНСА

Как было указано в секции 2.2, детектор PHOS имеет ограниченный акцептанс, а именно $|\eta| < 0,13$ и $250^\circ < \phi < 320^\circ$. Основной целью работы в этом семестре являлось определение того, как ограниченный акцептанс влияет на величину динамической переменной $\nu_{dyn}(\gamma, \pi^\pm)$, и подбор **диапазона (?)**, в котором стоит отбирать заряженные пионы, чтобы минимизировать это влияние.

В первую очередь необходимо было понять, будет ли ограничение акцептанса действительно сказываться на величине динамической переменной. Для ответа на этот вопрос было проведено Монте-Карло моделирование pp столкновений при энергии $E = 13$ ТэВ с помощью генератора событий Pythia8 [9]. При этом на нейтральные пионы поочерёдно накладывались каты, а заряженные собирались в полном акцептансе. Результат моделирования представлен в таблице 1.

Таблица 1 — Изменение динамической переменной с уменьшением акцептанса. Каты накладывались только на π^0

cut	ν_{dyn}
полный акцептанс	-0.0074 ± 0.0007
$pT \leq 0.2$	0.0109 ± 0.0008
$ \eta < 0.1$	0.154 ± 0.006
$\phi \in (250^\circ, 320^\circ)$	-0.0047 ± 0.0012

Можно увидеть, что уменьшение акцептанса для одной из частиц значительно искажает величину динамической переменной. В то же время набирать π^0 в полном акцептансе не представляется возможным, т.к. фотоны регистрируются в PHOS поэтому появляется необходимость подобрать такую область отбора заряженных пионов, при которой это влияние окажется минимальным

4.1. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ КАТОВ

Для того, чтобы выбрать оптимальный диапазон отбора заряженных пионов, нами было рассмотрено поведение динамической переменной в зависимости от различных кинематических переменных отдельно.

4.1.1. ЗАВИСИМОСТЬ ОТ $|\eta|$

Зависимость динамической переменной от диапазона по $|\eta|$ при разных катах на π^0 и π^\pm представлена на рис. 4.

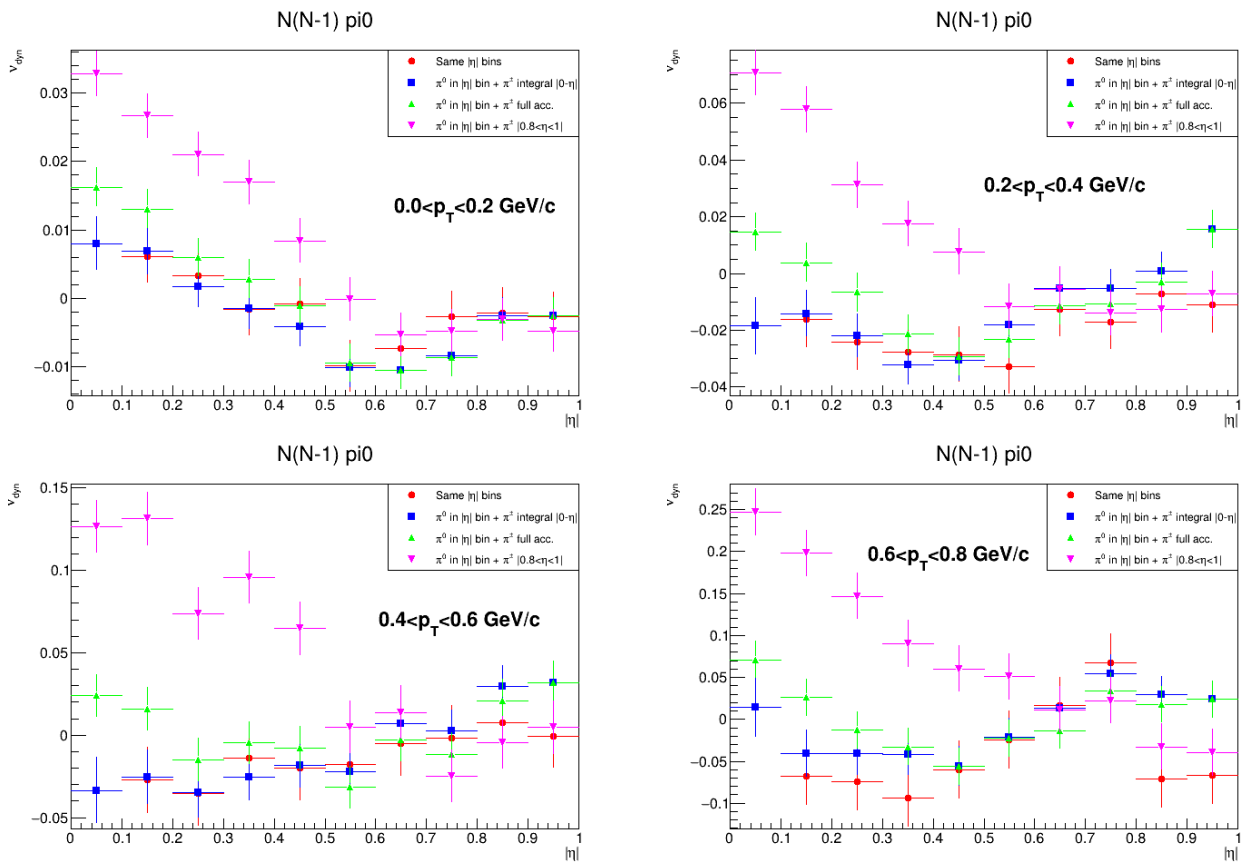


Рисунок 4 — Зависимость ν_{dyn} от диапазона по $|\eta|$ для различных p_T при разных видах катов на π^0 и π^\pm

Нашей целью является минимизация динамической переменной, как можно видеть из графиков на рис. 4, лучше всего подходят для этой задачи варианты отбора при которых π^0 и π^\pm лежат в одном и том же бине по $|\eta|$ и π^0 в бине, π^\pm в диапазоне от нуля до границы бина.

4.1.2. ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ϕ

Далее была рассмотрена зависимость динамической переменной от диапазона по ϕ при разных видах катов. Результат представлен на рис. 5

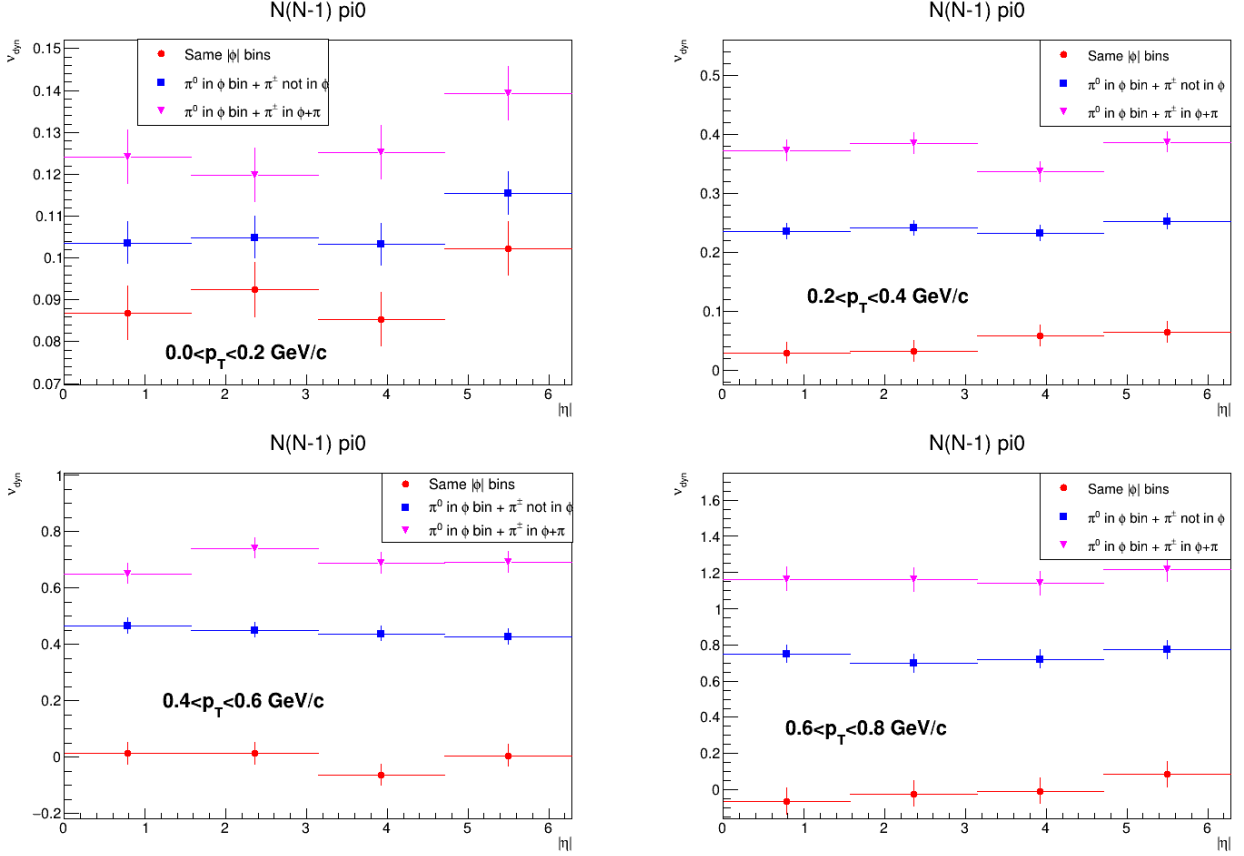


Рисунок 5 — Зависимость ν_{dyn} от диапазона по ϕ для различных p_T при разных видах катов на π^0 и π^\pm

Можно увидеть, что во всех диапазонах p_T динамическая переменная принимает наименьшее значение при отборе π^0 и π^\pm в одном и том же бине по ϕ . Соответственно, для дальнейшего анализа стоит также отбирать заряженные пионы в то же диапазоне, в каком регистрируются нейтральные.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На текущем этапе работы наша задача заключалась в том, чтобы определить влияние ограниченного акцептанса на динамическую переменную и, по возможности, подобрать каты на вторую частицу, позволяющие это влияние минимизировать.

Был проведён анализ изменения динамической переменной при различных видах катов на псевдобыстроту и азимутальный угол, вычисления показали, что динамическая переменная претерпевает значительные изменения при введении ограничений на фазовое пространство, в котором детектируются частицы. Так же были найдены комбинации катов, позволяющие минимизировать динамическую переменную.

Полученные результаты планируется применить в дальнейшем при построении динамической переменной от фотонов и заряженных пионов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Pisarski R. D., Wilczek F.* Remarks on the Chiral Phase Transition in Chromodynamics // Phys. Rev. — 1984. — т. D29. — с. 338–341.
2. *Rajagopal K., Wilczek F.* Static and dynamic critical phenomena at a second order QCD phase transition // Nucl. Phys. — 1993. — т. B399. — с. 395–425. — arXiv: hep-ph/9210253 [hep-ph].
3. *Begun V. V., Gorenstein M. I.* Bose-Einstein condensation of pions in high multiplicity events // Phys. Lett. — 2007. — т. B653. — с. 190–195. — arXiv: hep-ph/0611043 [hep-ph].
4. *Luo X., Xu N.* Search for the QCD Critical Point with Fluctuations of Conserved Quantities in Relativistic Heavy-Ion Collisions at RHIC : An Overview // Nucl. Sci. Tech. — 2017. — т. 28, № 8. — с. 112. — arXiv: 1701.02105 [nucl-ex].
5. *Abelev B. B.* [и др.]. Performance of the ALICE Experiment at the CERN LHC // Int. J. Mod. Phys. — 2014. — т. A29. — с. 1430044. — arXiv: 1402.4476 [nucl-ex].
6. *Pruneau C., Gavin S., Voloshin S.* Methods for the study of particle production fluctuations // Phys. Rev. — 2002. — т. C66. — с. 044904. — arXiv: nucl-ex/0204011 [nucl-ex].
7. *Christiansen P., Haslum E., Stenlund E.* Number-ratio fluctuations in high-energy particle production // Phys. Rev. — 2009. — т. C80. — с. 034903. — arXiv: 0902.4788 [hep-ex].
8. *Acharya S.* [и др.]. Direct photon production at low transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ and 8TeV // Phys. Rev. — 2019. — т. C99, № 2. — с. 024912. — arXiv: 1803.09857 [nucl-ex].
9. *Lönblad L.* Modelling pp, pA and AA in Pythia8 // EPJ Web Conf. — 2019. — т. 208. — с. 11003.