

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

«Кинематика распадов странных частиц K_S^0 -мезонов и Λ -гиперонов в
эксперименте BM@N»

Выполнила студентка
409 группы
Хухаева Анастасия Юрьевна

Научный руководитель:
к. ф.- м. н. Леонтьев Владимир Викторович

Научный консультант:
д. ф.- м. н. Завертяев Михаил Васильевич

Допущена к защите _____

Зав. кафедрой
академик РАН
Матвеев В.А.

МОСКВА

2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	2
1. Глава 1. Эксперимент VM@N.	4
2. Глава 2. Программное обеспечение	7
3. Глава 3. Анализ экспериментальных данных	8
4. Глава 4. Методы моделирования	11
4.1. Моделирование методом Монте-Карло	11
4.1.1.Критерий Арментероса - Подолянского	13
4.1.2.Явление кинематического отражения	14
4.2. Моделирование с помощью Geant4	18
ВЫВОДЫ	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	22
ПРИЛОЖЕНИЕ	24

ВВЕДЕНИЕ

Одной из многочисленных гипотез, существующих в физике высоких энергий, является предположение об особом состоянии вещества, носящим название кварк-глюонной плазмы. Теория предсказывает, что данное состояние возникает при высоких барионных плотностях и температурах, точные значения которых предстоит определить экспериментально [1], [2]. Условия возникновения кварк-глюонной плазмы описываются нелинейными уравнениями. В настоящее время аналитического решения уравнений не существует, вместо этого используются численные методы расчетов на решетке для теоретического изучения свойств кварк-глюонной плазмы. Расчеты показывают, что при достижении определенной плотности и температуры, происходит фазовый переход первого рода, при котором индивидуальные адроны утрачивают свою структуру, и составляющие их кварки и глюоны становятся «свободными».

Основными признаками возникновения кварк-глюонной плазмы, согласно расчетам, является повышение вероятности рождения странных частиц, уменьшение вероятности рождения кваркониев, повышение выхода лептонов, изменение поляризации Λ - гиперонов [3]. Перечисленные выше закономерности возможно исследовать экспериментально.

Общепринято что наиболее прямой метод создать условия для образования кварк-глюонной плазмы является столкновения тяжелых ядер при высоких энергиях. Регистрация при таких столкновениях, например, странных частиц и изучение их вероятностей рождения и поляризации позволит установить факт фазового перехода и возникновения кварк-глюонной плазмы. В настоящее время проводятся ряд экспериментов, реализующих такую программу исследований. Например, согласно исследованиям 2017 года, полученным на детекторе STAR (RHIC, США) средняя поляризация лямбда-гиперонов при

фиксированной центральности уменьшается как функция энергии столкновения с 1,5 % при $s_{NN} = 7,7$ ГэВ до 0,2% при $s_{NN} = 200$ ГэВ [4], [5].

В настоящее время в рамках проекта NICA, ОИЯИ начал свою работу и набрал данные эксперимент BM@N [6] . Полученной статистики оказалось достаточно для наблюдения сигнала от распадов Λ гиперонов. Обработка и анализ данных находится в начальной стадии.

Целью данной работы является детальное рассмотрение кинематики распадов странных частиц K_S^0 , Λ в эксперименте BM@N.

В рамках исследования кинематики рожденных Λ гиперонов предполагается выполнить ряд задач:

- Изучить литературу по вопросам кинематики распадов странных частиц.
- Изучить методы работы с экспериментальными данными.
- Освоить метод Монте-Карло для моделирования двухчастичных распадов.
- Ознакомиться со стандартным программным обеспечением.

Затем, используя полученные навыки:

1. Получить сигнал от распада Λ - частицы в 6 сеансе.
2. Провести Монте-Карло моделирование событий распада Λ -гиперона и нейтрального короткоживущего каона K_S^0 .
3. Исследовать зависимость разрешения по инвариантной массе для Λ и K_S^0 в зависимости от разрешения по импульсу распавшейся частицы.
4. Из полученной корреляции по массовому разрешению между Λ и K_S^0 методом Монте-Карло, оценить ширину пика K_S^0 в экспериментальных данных.
5. Изучить Монте-Карло моделирование, выполненное с помощью программы Geant4.

1. Глава 1. Эксперимент BM@N.

Эксперимент BM@N (Барионная материя на нуклотроне) проводится на ускорительном комплексе Nuclotron/ NICA и занимается изучением релятивистских тяжелых ионов и взаимодействие ионного пучка с неподвижными мишенями. В эксперименте использовались пучки углерода и аргона с энергией 4ГэВ/н и 4.5ГэВ/н, которые взаимодействовали с ядрами C, F1, Cu, Pb мишеней. Кинетическая энергия изменяется в пределах 1-6 ГэВ/н для ионов с отношением заряда к атомному номеру $(Z/A) = 0.5$.

При таких энергиях становится возможным изучение свойств сильновзаимодействующей материи:

- Поиск параметров уравнения состояния (EoS) ядерной материи при высоких температурах и плотностях барионов.
- Изучение модификации свойств адронов в ядерной среде, что может быть проявлением восстановления киральной симметрии.
- Процесс рождение (мульти)-странных гиперонов около порога и поиск гиперядер.

Кинематика процессов рождения гиперядер, измерения параметров распадов странных гиперонов способствует более глубокому пониманию свойств гиперон-нуклонных и гиперон-гиперонных взаимодействий. Реконструированный Λ - гиперон распадается на протон и пион, что позволяет извлечь поляризацию гиперона из углового распределения частиц в конечном состоянии. Эксперимент обеспечивает достаточную статистику событий, чтобы измерить отношение выходов странных гиперонов и гиперядер, угловые распределения, спектры по поперечному импульсу, а также различные корреляций между продуктами взаимодействий.

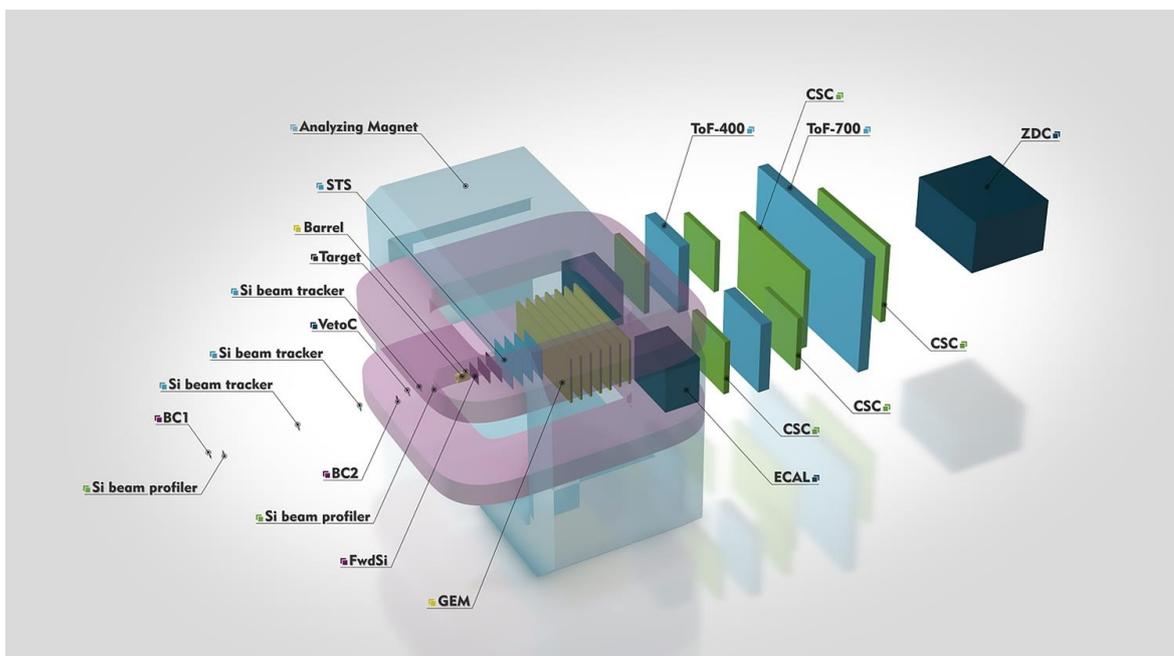


Рис. 1.1: Экспериментальная установка VM@N

Установка представляет из себя классический forward - спектрометр (Рис. 1.1), в состав которого входят мишень с системой окружения для измерения множественности заряженных частиц, пропорциональные камеры, микростриповые детекторы, GEM детекторы, дрейфовые камеры, электромагнитный калориметр, времяпролетный детектор и калориметр, измеряющий поток частиц при малых углах, относительно направления пучка.

Для идентификации частиц используется времяпролетная информация, которая также предполагает измерение полной энергии для анализа центральности соударений.

С помощью координатных GEM (Gaseous Electron Multipliers) детекторов и дрейфовых/straw камер измеряется импульс и множественность заряженных треков. GEM детекторы расположены внутри анализирующего магнита, способны функционировать при высоких загрузках частиц, а также в сильном магнитном поле до 1.2 Т. Каждый детектор состоит из катодной и анодной плоскостей, а также трех газовых электронных умножителей, представляющие собой тонкую диэлектрическую пленку, толщиной 50 мкм, покрытую слоем меди с регулярной структурой отверстий [7].

Времяпролетные детекторы основанные на технологии mRPC

(multigap Resistive Plate Chambers) со стрипповым считыванием используются для разделения адронов (π , K, P) и легких ядер с импульсом до нескольких ГэВ/с, образованные в многочастичных событиях.

Измерение энергии частиц с помощью калориметра ZDC (Zero Degree Calorimeter) проводится с целью определения прицельного параметра столкновения (центральности).

Электромагнитный калориметр, установленный сразу после дрейфовых/straw камер предназначен для изучения процессов с образованием γ , e в конечном состоянии и измерения центральности столкновения тяжелых ионов, формирования триггера и стартового сигнала (T_0) для детекторов mRPC-1,2.

Измерение импульса заряженных частиц производится по отклонению в дипольном спектрометрическом магните с напряженностью 0.61Т в центре. Разрешение по импульсу для восстановленного трека заряженной частицы примерно равно 8% [8].

Интенсивность пучка составляла несколько единиц 10^6 за сброс при длительности 2-2.5сек. Регистрировались события при минимальном условии на зарегистрированную множественность в системе окружения мишени ≥ 2 .

2. Глава 2. Программное обеспечение

Исследовательская работы была выполнена в среде ROOT-6 - программе, разработанной в CERN для обработки экспериментальных данных в физике высоких энергий. В настоящее время многие эксперименты используют возможности данной среды, наряду со стандартным программным решениям.

Root позволяет работать с большими объемами данных, содержит средства для графической визуализации, интерфейсы к моделированию событий с помощью Монте-Карло-генератора. Также ключевой возможностью программы является специальный контейнер данных, называемый деревом (Tree), вместе с его подмножествами ветвями (Branch) и листьями (Leaf). При создании объектов могут возникать проблемы с выделением памяти, применяя такой подход хранения информации, программа позволяет их избежать.

Для исследования экспериментальной установки, моделирования параметра пучка и отклика детекторов использовалась программа GEANT4, предоставляющая полный набор инструментов для всех областей моделирования установки: геометрия, отслеживание информации о пучке, треках, полученных в каждом событии, визуализация и пользовательский интерфейс. Используется обширный набор физических теорий для моделирования процессов взаимодействий частиц с веществом в широком диапазоне энергий.

3. Глава 3. Анализ экспериментальных данных

За время набора данных, полученных в 6 сеансе эксперимента VM@N было зарегистрировано 130 млн событий, которые, после обработки по программам геометрической реконструкции, были использованы для физического анализа [9]. Целью анализа был поиск сигналов от распадов нейтральных частиц со странным кварком (K_S^0 , Λ , общепринятое обозначение V^0 - частицы) в форме узких пиков в спектрах инвариантных масс.

V^0 - это долгоживущие частицы, с собственным временем жизни 2.6см и 7.9 см, распадающиеся на две частицы противоположного знака. Оба этих факта определяют алгоритм восстановления сигналов.

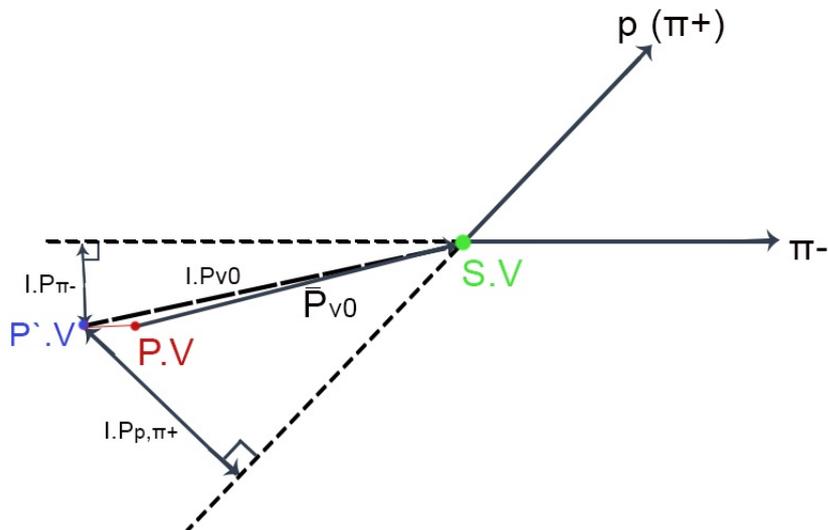


Рис. 3.1: схема распада V^0

На (Рис. 3.1) приведена схема распада V^0 . В событии требуется присутствие восстановленной вершины первичного взаимодействия, двух противоположно заряженных треков, которые пересекаются на близком расстоянии друг от друга (вершина распада V^0) и точка пересечения

которых отстоит на определенном расстоянии от первичной вершины. Геометрическими параметрами, которые используются в анализе являются 4 величины. Расстояние между трекам в точке максимального сближения (CDA), минимальное отклонение направления каждого из треков относительно первичной вершины (IP_1, IP_2) и минимальное отклонение направления импульса V^0 , относительно первичной вершины (IP_{V_0}). Из этих величин состоит безразмерная комбинация:

$$\Omega = \frac{IP_1 \times IP_2}{IP_{V_0}^2 + CDA^2} \quad (3.1)$$

При наложении ограничения $\Omega \geq 1.5$ в спектре инвариантных масс наблюдается статистически значимый сигнал от распадов Λ гиперона.

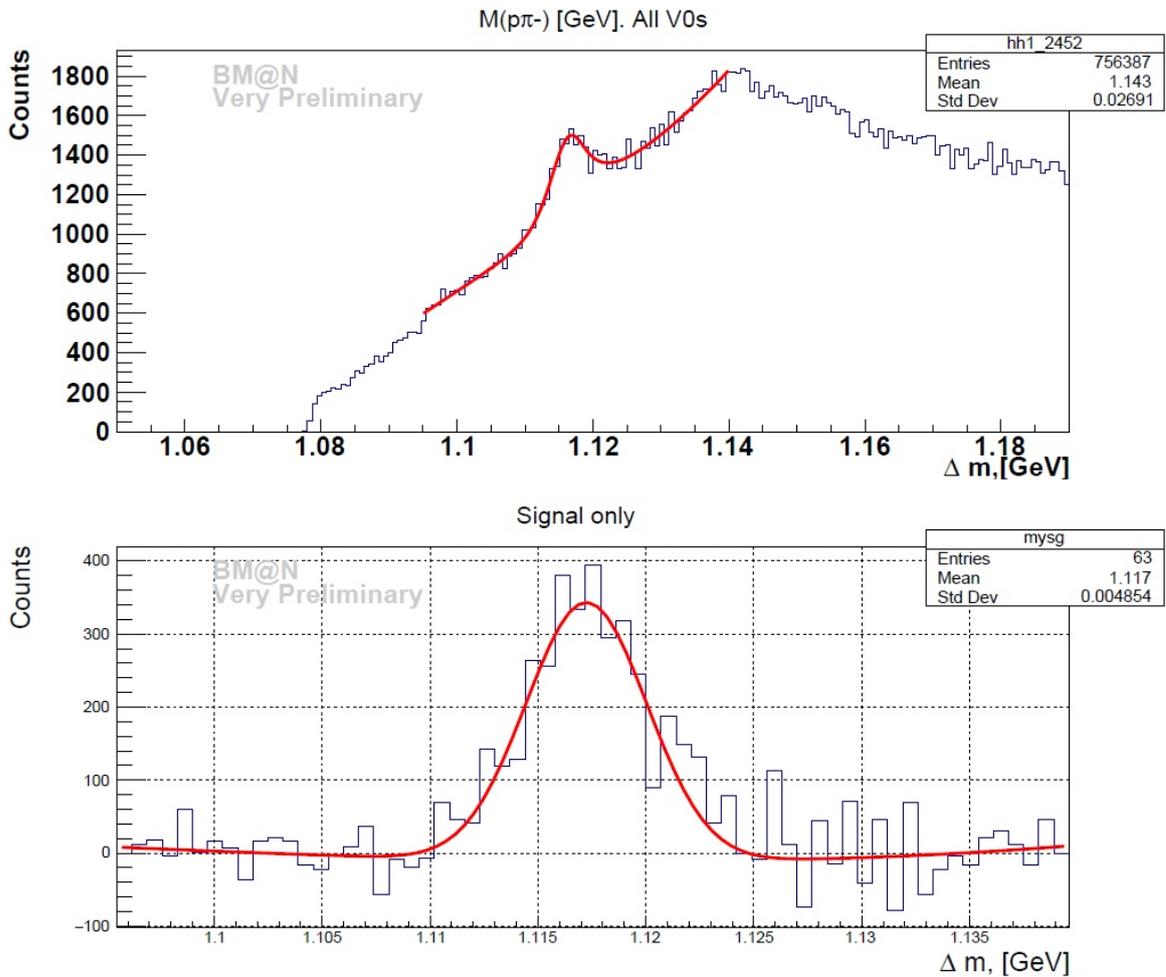


Рис. 3.2: Гистограмма сигнала распада лямбда - гиперона в экспериментальных данных и сигнал, после вычитания фона.

Для оценки величины сигнала, полученное распределение аппроксимировалось суммой функции Гаусса и полиномами Лежандра 2-ого

порядка. В результате получен сигнал с энергией 1.117 ГэВ и шириной 4.85 МэВ, соответствующий распаду лямбда - гиперона (Рис. 3.2).

В накопленной статистике, наряду с сигналами от Λ - частиц не обнаруживался сигнал, указывающий на распад K_S^0 . Возникла гипотеза о том, что ширина пика нейтрального каона намного больше, чем у лямбда - частиц, соответственного из-за малого аксептотона спектрометра сигнал не наблюдался. Также причиной может служить малое сечение рождения K_S^0 на пороге реакции, по сравнению с Λ - частицей. В связи с этим исследовался вопрос о возможном значении ширины распада каона, которую можно оценить с помощью метода Монте - Карло.

4. Глава 4. Методы моделирования

4.1. Моделирование методом Монте-Карло

Метод Монте - Карло - численный метод решения различных задач в областях физики, химии, экономики, биологии, для моделирования явлений, событий, искусственного интеллекта. В основе метода лежит генератор случайных чисел, с помощью которого производится моделирование событий распада частиц в физике элементарных частиц [10], [11].

Для исследования ширины пика нейтрального каона было произведено моделирование процесса распада K_S^0 и Λ с помощью данного метода в системе центра масс.

С целью проверить, насколько верны вычисления была построена гистограмма Арментероса - Подолянского для двухчастичного распада (Рис. 4.3), при этом сгенерированные импульсы в системе центра масс были пересчитаны в лабораторную систему, заданную как

$(p_x, p_y, p_z = 0.0, 0.0, 20. \text{ ГэВ})$. Затем вычислен полный импульс лямбда - гиперона и каона, а также произведен расчет углов, под которыми вылетали частицы, полученные при следующих распадах ($\Lambda^- \rightarrow \pi^- + p$) и ($K_S^0 \rightarrow \pi^- + \pi^+$). Было сгенерировано 40000 событий и построена гистограмма инвариантной массы для этих частиц. Теоретическое описание критерия Арментероса - Подолянского подробно изложено в главе 4.1.1

Получившаяся гистограмма соответствует ожидаемому результату, что позволило приступить к следующему шагу.

Важно отметить, что ширина пика лямбда - гиперона зависит от точности измерения импульса, поэтому, путем разыгрывания неопределенности в импульсе, стало возможным следить за уширением пика Λ . После размытия импульса пиона и протона на 1-6% от исходной величины, с помощью генератора нормального распределения, было

определено значение ширины пика распада смоделированного лямбда-гиперона, равное полученному ранее в эксперименте. δ - функция преобразовывалась в гаусово-подобную функцию. В этот момент была зафиксирована неопределенность по импульсу и применена для размытия ширины пика у K_S^0 .

Данная процедура позволила построить график корреляции между шириной пика от распадов лямбда-гиперона и шириной пика от распадов нейтрального каона (Рис. 4.1). В результате оказалось, что ширина распада частицы K_S^0 приблизительно равна 13.78 МэВ - примерно в 3 раза больше, чем у лямбда-гиперона, что может объяснить отсутствие сигнала.

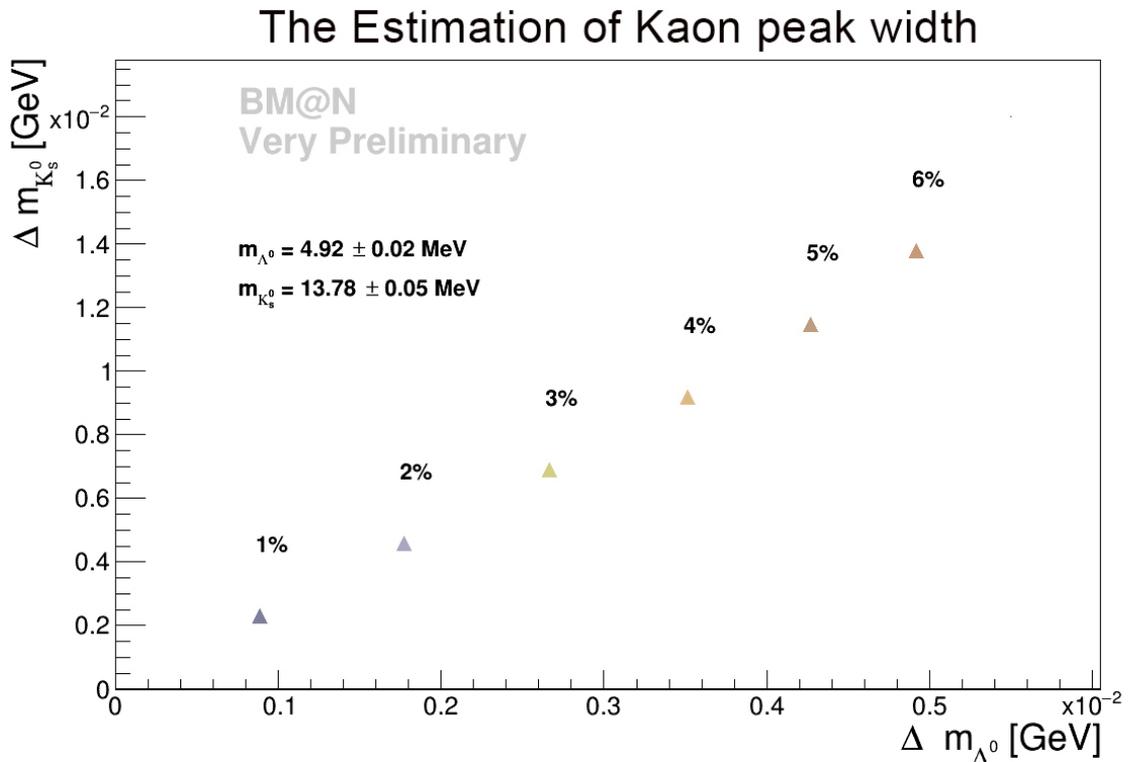


Рис. 4.1: График корреляции между шириной пика от распадов Λ -гиперона и шириной пика от распадов K_S^0 .

С целью уточнить полученный график, была произведена модернизация размытия импульсов треков. Поскольку, в эксперименте разрешение по импульсу у протона и пиона может быть различным, то следует изменять импульсы частиц независимо друг от друга. Исходя из этого, была построена двумерная гистограмма (Рис. 4.2). В результате, наиболее близкое к экспериментальному значению число равно 4.854 МэВ, что соответствует 7% уширения импульса протона и

5% уширения величины импульса пиона. После преобразований кода для распада нейтрального каона, удалось установить, что при этих значениях процентного разрешения импульса частиц массовое разрешение для K_S^0 равно примерно 13.98 MeV.

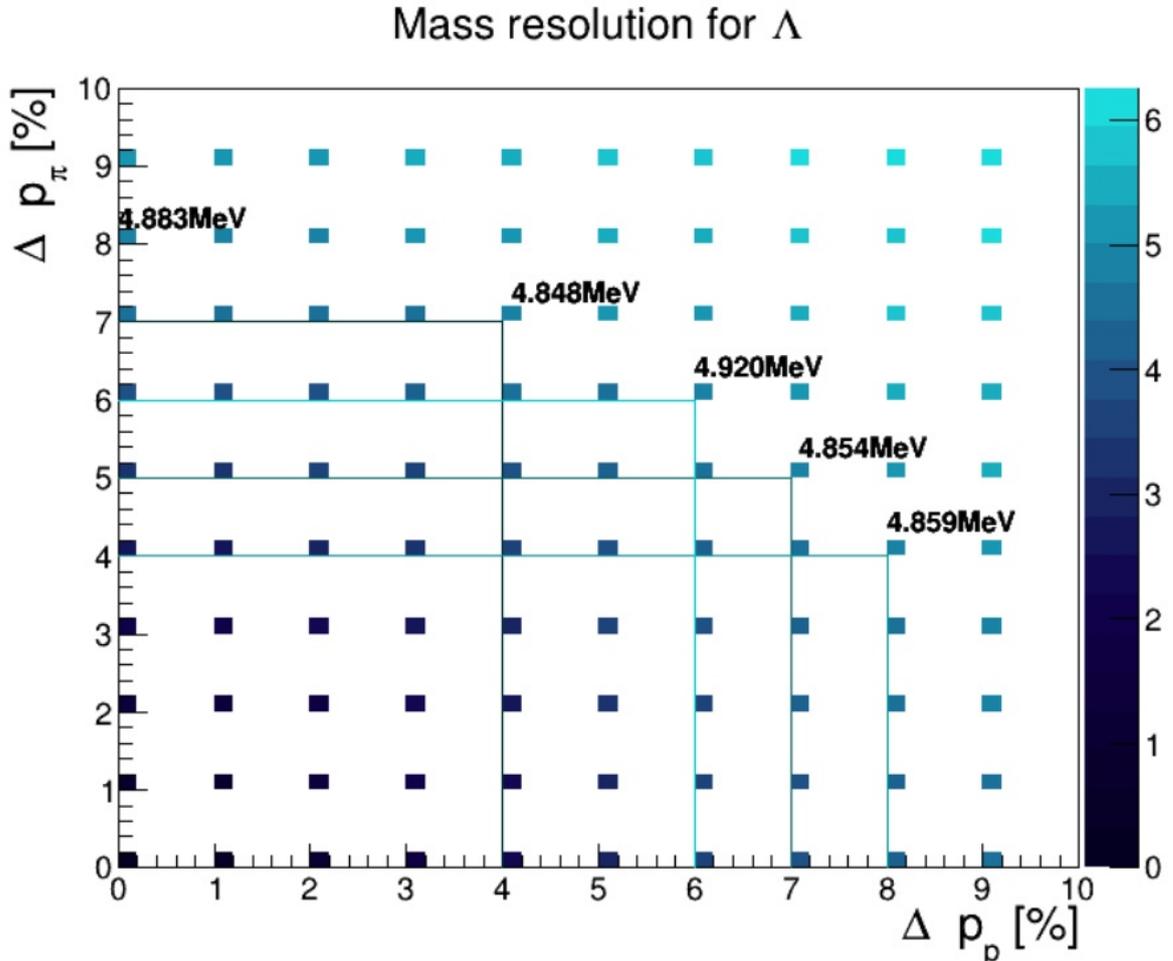


Рис. 4.2: Гистограмма массового разрешения лямбда - гиперона для разного процента разрешения импульсов протона и пиона .

4.1.1. Критерий Арментероса - Подолянского

В пятидесятые годы, когда были открыты частицы со странным кварком, многие методы детектирования еще не были широко распространены, как и цифровая обработка сигналов, поэтому регистрация странных частиц представляла сложную задачу для ученых того времени. Однако, удалось найти способ, с помощью которого исследователи смогли разделить события распада K^0 -мезонов и Λ -частиц, регистрируя в экспериментах импульсы и заряды неидентифицированных продуктов распада. Он был назван критерием Арментероса - Подолянского [14].

При распаде лямбда - гиперона рождаются протон и отрицательно заряженный пион ($\Lambda^- \rightarrow \pi^- + p$), а при распаде нейтрального короткоживущего каона ($K_S^0 \rightarrow \pi^- + \pi^+$) - это положительно и отрицательно заряженные π^- -мезоны. Данные частицы были названы V0-частицами, в связи с их топологией.

Для подобных событий был предложен специальный критерий, основой которого служит вычисление модуля поперечного (по отношению к направлению движения V0 - частицы) импульса p_t и некоторой безразмерной переменной α , характеризующей асимметрию между продольными импульсами $p_{||}$ положительно и отрицательно заряженных частиц из определенной V0 «вилки». Вследствие, каждому событию распада V0 - частицы можно сопоставить некоторую точку на плоскости (α, p_t) .

$$\alpha = \frac{p_L^+ - p_L^-}{p_L^+ + p_L^-} \quad (4.1)$$

Разность продольных импульсов распадных частиц в лабораторной системе и величина поперечного импульса будут отличаться для случаев нейтрального каона и лямбда - гиперона, это связано с различными продуктами распада этих частиц. В результате, распределение событий на плоскости (α, p_t) должно быть разным для разного типа V0 (Рис. 4.3), что позволяет разделить события распада K^0 -мезонов и Λ -гиперонов.

4.1.2. Явление кинематического отражения

При рассмотрении получившейся диаграммы Арментероса - Подолянского можно заметить, что существует область, где события распада для K_S^0 и (Λ) - гиперона пересекаются. Часто, при реконструкции треков случается «двоение» треков с очень близкими геометрическими и кинематическими параметрами, вследствие конечного пространственного разрешения и наличия шумов. Таким образом могут быть получены искусственно созданные спектры, указывающие на рождение частицы. Подобные работы публиковались в начале двухтысячных известными экспериментами [13] - [16], в которых наблюдался узкий пик в спектре инвариантной массы вблизи 1.54 ГэВ/с, что свидетельствовало о рождении пентакварка Θ^+ .

The Criterion Of Armenteros-Podolanski

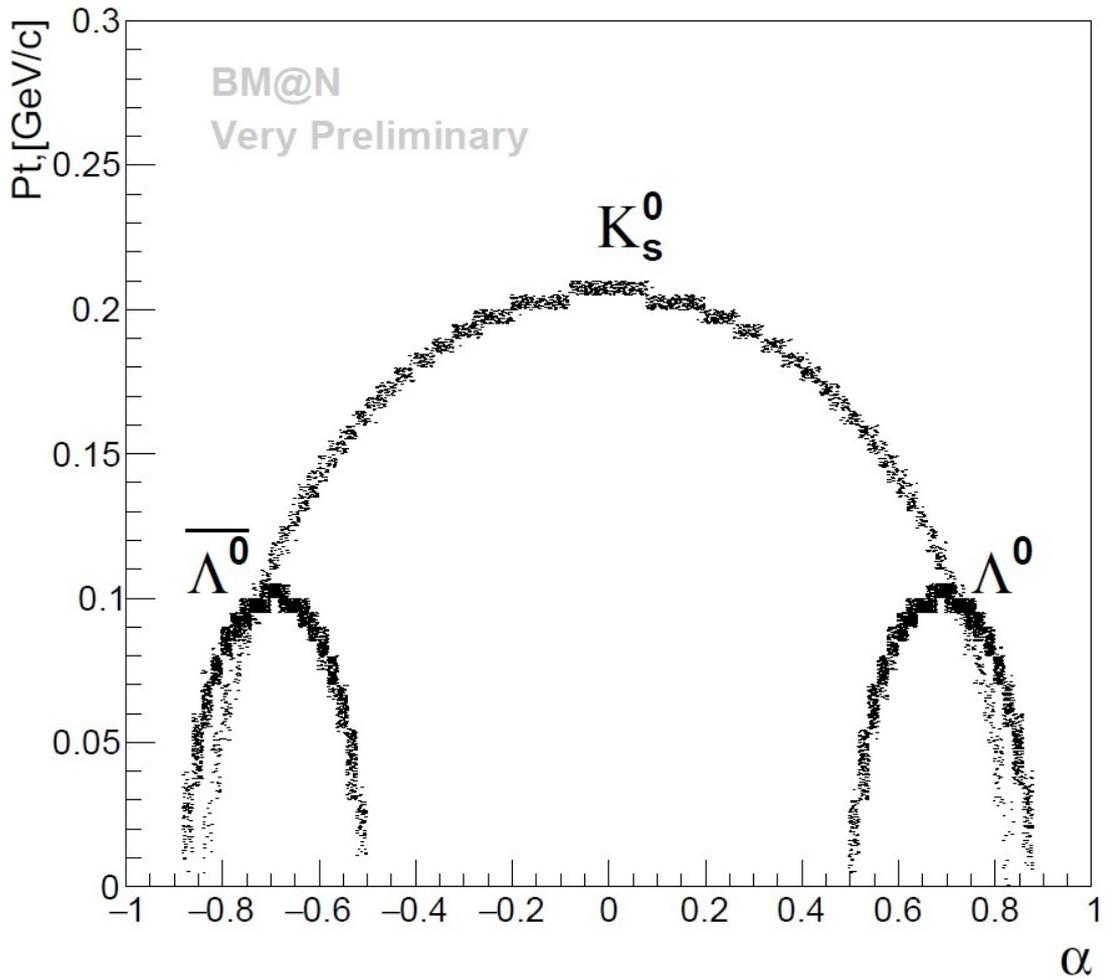


Рис. 4.3: Диаграмма Арментероса - Подольянского.

Рассмотрение данного примера важно для понимания того, что при обработке данных могут возникнуть такие явления. Возможны два класса комбинаций треков [17]:

1. У истинного K_S^0 дублируется положительный трек π^+ , которому приписывается масса протона (Рис. 4.4).

2. У истинного Λ дублируется положительный трек p , который имеет массу протона, а исходному треку приписывается масса π^+ (Рис. 4.5).

Во 2 случае вычисляется инвариантная масса комбинации $\pi^+\pi^-p$ и $\pi^+\pi^-$, которая ограничивается физической массой K_S^0

$$|M_{\pi^+\pi^-} - M_{K_S^0}| < 4MeV \quad (4.2)$$

После данной процедуры гистограмма инвариантной массы класса 2 изменяется. Для нее исчезают комбинации с малыми массами,

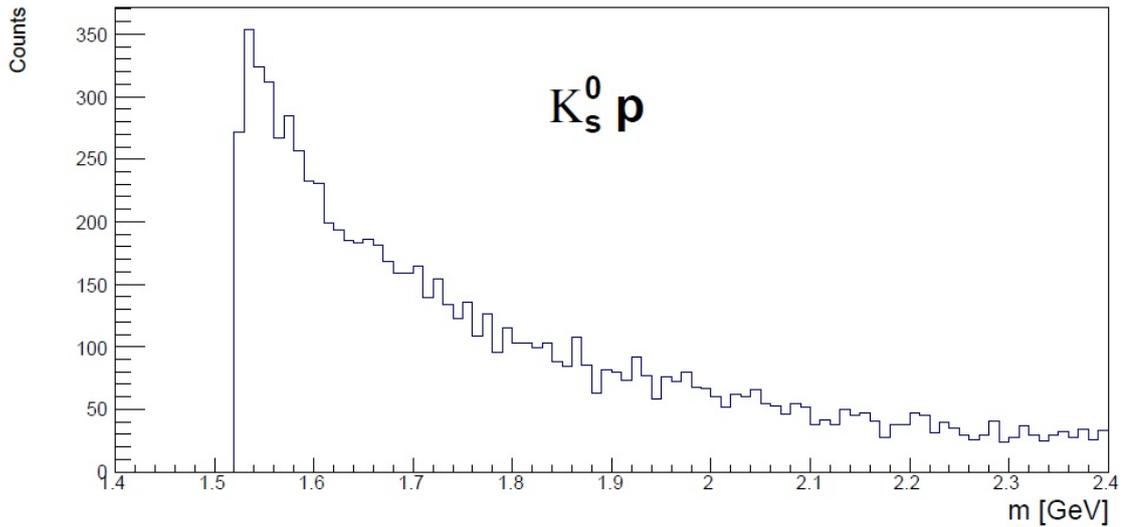


Рис. 4.4: Гистограмма инвариантной массы K_S^0 и p .

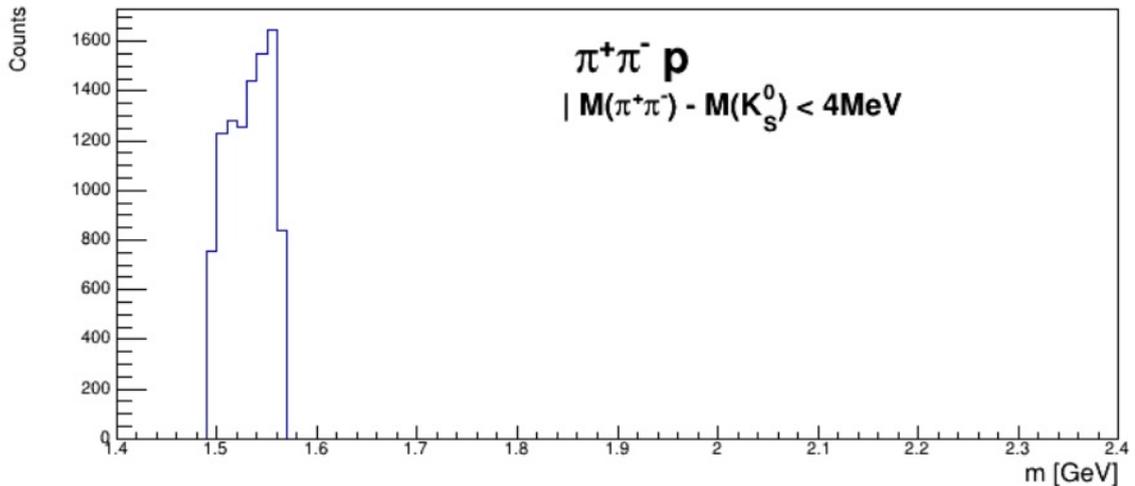


Рис. 4.5: Гистограмма инвариантной массы комбинации частиц $\pi^+\pi^-p$ при ограничении массой нейтрального каона K_S^0

остаются лишь комбинации в области 1.54 GeV (Рис. 4.6). На суммарной гистограмме для двух случаев хорошо наблюдается узкий пик, ошибочно принимавшийся за рождение пентакварка (Рис. 4.7).

Двоение треков прежде всего могут возникнуть в электронных экспериментах, если не обеспечен достаточный cut для масс $V0$ частиц, не учтено возникновение шума в трековых детекторах. Кинематика таких образовавшихся «клонов» очень близка друг к другу, что имитирует ситуацию, описанную выше, с небольшим изменением положения масс и ширины пика.

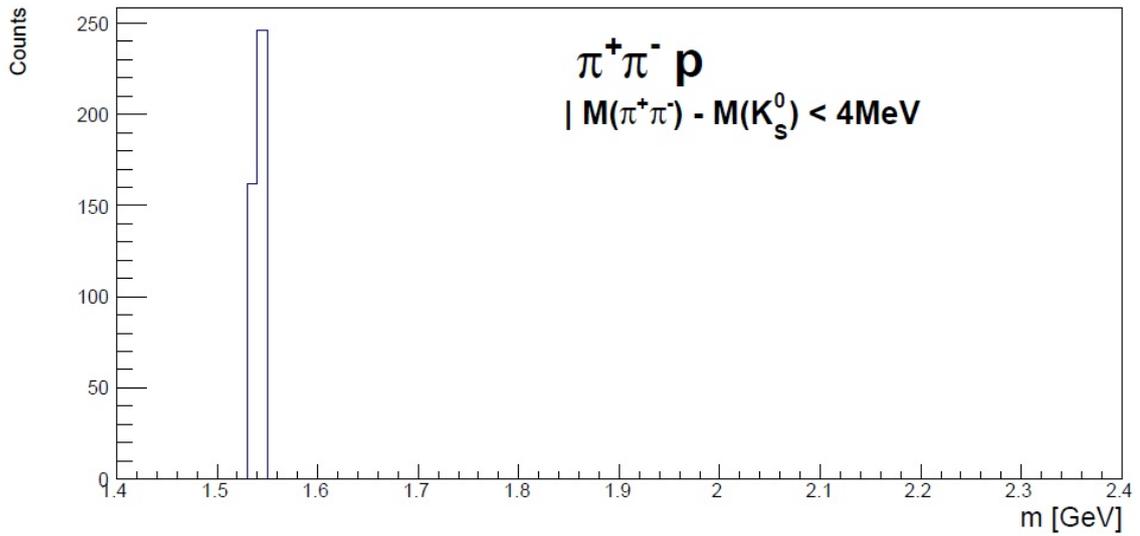


Рис. 4.6: Гистограмма инвариантной массы комбинации частиц $\pi^+\pi^-p$ при ограничении массой нейтрального каона K_S^0

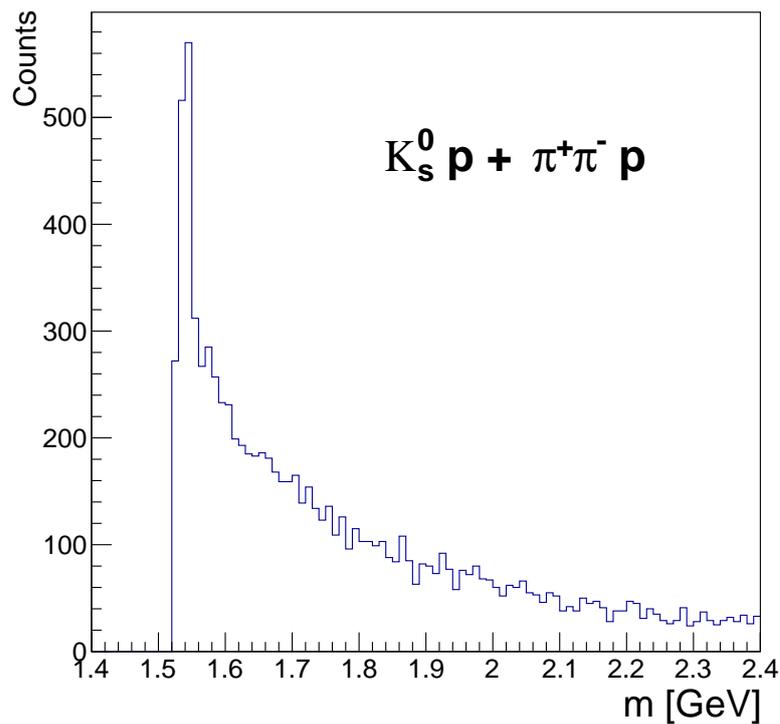


Рис. 4.7: Результат сложения гистограмм инвариантной массы $K_S^0 p$ и инвариантной массы комбинации частиц $\pi^+\pi^-p$ при ограничении физической массой нейтрального каона K_S^0

Результат простого Монте-Карло показывает, что спектр инвариантных масс комбинаций $K_S^0 p$ имеет пик из-за узкого диапазона

импульсов пучка, но если при дальнейшем анализе данных использовать весь диапазон моментов пучка, это вызовет уширение наблюдаемого пика и даст ответ о его природе.

4.2. Моделирование с помощью Geant4

Решение задачи моделирования в физике высоких энергий и физики элементарных частиц является основным направлением Geant4. Программа помогает исследовать элементарный состав веществ и их взаимодействие на очень малых расстояниях, получать информацию о каждом событии и треках, задавать геометрию системы и чувствительные объемы детекторов, при попадании частиц в которые происходит анализ их движения.

Моделирование эксперимента начинается с создания пучка и генерации взаимодействий пучка и мишени (в случае VM@N углеродный пучек на C, Al, Cu, Pb мишенях по 20000 событий на каждую). После этого продукты взаимодействия проходят через установку, параметры которой описываются в классе G4DetectorConstruction [18], [19]. Частицы оставляют сигнал в чувствительной области геометрии детекторов, появляется информация о количестве вылетевших гамма-квантов, электронах, произошедшей ионизации. Данные обрабатываются в файлы формата `dig1`, при этом абстрактные сигналы от вылетевших электронов и других частиц превращаются в сигналы на проволочках, что является откликом реального детектора в эксперименте.

Следующий важный этап - реконструкция треков и их физическая обработка. Основой всех функций анализа данных являются параметры полученных треков: координаты (x, y, z) , тангенсы угла наклона по оси x, y , а также величина $Q \cdot R$ - произведение заряда на импульс частиц. После того, как удаляются треки с нечисленным значением, применяется функция, позволяющая найти треки, лежащие в одной плоскости, что соответствует настоящему распаду, согласно закону сохранения импульса. Функция вычисляет $\cos(\alpha)$, где α - угол между направляющими векторами плоскостей, который образованы треками заряженных частиц, искривленными в магнитном поле, α должен быть близок к значению -1 .

Для нахождения первичной вершины используется функция поиска

точки максимального сближения для N треков, после которой становятся известными расстояния (x,y,z) - координаты от трека до вершины, ее положение и качество нахождения вершины, выраженное коэффициентом Chi^2 . Применяется следующий алгоритм: z координаты для области, в которой ищут вершину разбивается на Nz отрезков и, двигаясь с выбранным шагом, программа определяет, как близко сошлись треки. После этого область переопределяется и отсчет начинается от точки, найденной ранее.

Также существует функция определения минимального отклонения направления каждого из треков, относительно первичной вершины (IP_1, IP_2) и минимального отклонения направления импульса V^0 , относительно первичной вершины (IP_{V_0}) . Из этих величин состоит безразмерная комбинация (3..1):

При наложении ограничения $\Omega \geq 1.5$ в спектре инвариантных масс наблюдается статистически значимый сигнал от распадов Λ гиперона. Аппроксимация производилась суммой функции Гаусса и полиномами Лежандра 2-ого порядка.

В результате моделирования были получены гистограммы с сигналами распада лямбда-гиперонов для всех используемых в эксперименте мишеней (Рис. 4.8) - (Рис. 4.11) и их сумма (Рис. 4.12). Гистограммы приведены в приложении, краткие сведения отражены в таблице (Табл.4.1).

Мишень	Масса, МэВ	σ , МэВ
Al	1116.349 ± 0.073	1.078 ± 0.071
C	1116.477 ± 0.085	0.920 ± 0.025
Cu	1116.337 ± 0.098	1.124 ± 0.158
Pb	1116.307 ± 0.077	0.839 ± 0.102
Sum	1116.326 ± 0.044	1.368 ± 0.031

Таблица 4.1: Данные гистограмм для всех типов мишеней: Al,C,Cu,Pb и их суммы

По сравнению с гистограммой, полученной в реальных условиях, пики событий распада значительно уже и уровень фона существенно ниже, что естественно для модели. Пик от распада нейтрального каона по-прежнему не наблюдается. Можно предположить, что акспетонс установки не позволяет видеть данные частицы.

ВЫВОДЫ

В рамках данной работы была исследована кинематика распадов странных частиц в эксперименте VM@N.

1. В ходе исследования был изучен метод Монте-Карло для моделирования двухчастичных распадов, а также моделирование с использованием программного обеспечения Geant4, применяемое в эксперименте.
2. Рассмотрены специальные случаи применения кинематики элементарных частиц, такие как критерий Арментероса - Подолянского и явление кинематического отражения.
3. Из экспериментальных данных получен сигнал от распада Λ - частицы в 6 сеансе, определена его ширина.
4. Исследована зависимость разрешения по инвариантной массе для Λ и K_S^0 от разрешения по импульсу распавшейся частицы. Построен график корреляции по массовому разрешению между Λ и K_S^0 и оценена ширина пика нейтрального каона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования оказалось, что ширина распада частицы K_S^0 приблизительно в 3 раза больше, чем ширина пика распада лямбда-гиперона. Данный факт может объяснить отсутствие наблюдаемого сигнала и при моделировании методом Монте-Карло из-за малого акцептронса установки. Полученный результат является полезным материалом при изучении K_S^0 - мезонов, а построенные гистограммы имеют научную значимость для лаборатории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коротких В.Л., Кварк-глюонная плазма в столкновениях релятивистских ионов: учеб. пособие, Москва: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2008, С.15
2. Шапиро И.С, Международная серия монографий по физике: моногр, Москва, 1990, С.350
3. Кондратьев В.П, Феофилов Г.А., Рождение странных частиц в релятивистских столкновениях тяжелых ионов, ЭЧАЯ, 2011, Т.42, №6, С.120
4. Iu.Karpenko, F. Becattini, Vorticity in the QGP liquid and Λ polarization at the RHIC Beam Energy Scan, Nucl.Phys.A 967 (2017) 764-767
5. STAR Collaboration, "Studying the Phase Diagram of QCD Matter at RHIC," (2014).
6. M. Kapishin, the BM@N Collaboration, Studies of baryonic matter at the BM@N experiment (JINR) , Quark Matter 2018, Elsevier, Т.982, 2019, С.967 - 970
7. Васильев С.Е, Галаванов А.В, М.Н Капишин, В.Ю. Каржавин, Е.М. Кулин, В.В. Ленивенко, А.М. Маканькин, А.И. Максимчук, С.М. Пиядин, С.В Хабаров., Исследование характеристик Gem - детекторов в эксперименте BM@N, ЭЧАЯ, 2019, Т.16, №6(225), С.643-652
8. A.Zinchenko, T.Mamontova M. Kapishin, Realistic simulation of BM@N GEM detectors: model implementation and testing, KnE Energy, ICPPA, 2017, С.385–390

9. First stage of the BM@N GEM central tracking system [Электронный ресурс]. URL - <http://www.jinr.ru/posts/first-stage-of-the-bm-n-gem-central-tracking-system/>
10. И.М.Соболь Численные методы Монте-Карло. Наука, М. 1973
11. Е.Бюклинг, К.Каянти Кинематика элементарных частиц, Мир, М. 1975
12. Алеев А.Н. и др. препринт ОИЯИ Д1-86-550, Дубна, 1986
13. T. Nakano et al., Evidence for a Narrow S- + 1 Baryon resonance in photoproduction from the Neutron, Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 012002-1.
14. Строковский Е.А., Лекции по основам кинематики элементарных процессов:учеб. пособие, Москва: Изд-во Университетская книга, 2010, С.101
15. S. Stepanyan et al. (CLAS collaboration), Observation of an Exotic S- + 1 Baryon in Exclusive Photoproduction from the Deuteron, hep-ex / 0307018 (16 Jul 2003).
16. J. Barth et al. (SAPHIR collaboration), Evidence for the positive-strangeness pentaquark in photoproduction with the SAPHIR detector at ELSA, hep-ex / 0307083 (6 Aug 2003).
17. M.Zavertyaev, The Invariant Mass Spectra Profile Close to Pentaquark Mass Region at 1.54 GeV/c², hep-ex/02,(2009)
18. User Requirements Document [Электронный ресурс]. - URL: <https://geant4.web.cern.ch/sites/geant4.web.cern.ch/files/geant4/OOAandD/URI>
19. User's Guide for Toolkit Developers [Электронный ресурс]. - URL: <http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/ForToolkitDeveloper/html/index.html>
20. Brun, R. GEANT. Detector description and simulation tool. User'Guide / R. Brun et al.- CERN. Geneva. Switzerland.- 1993.- 465 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

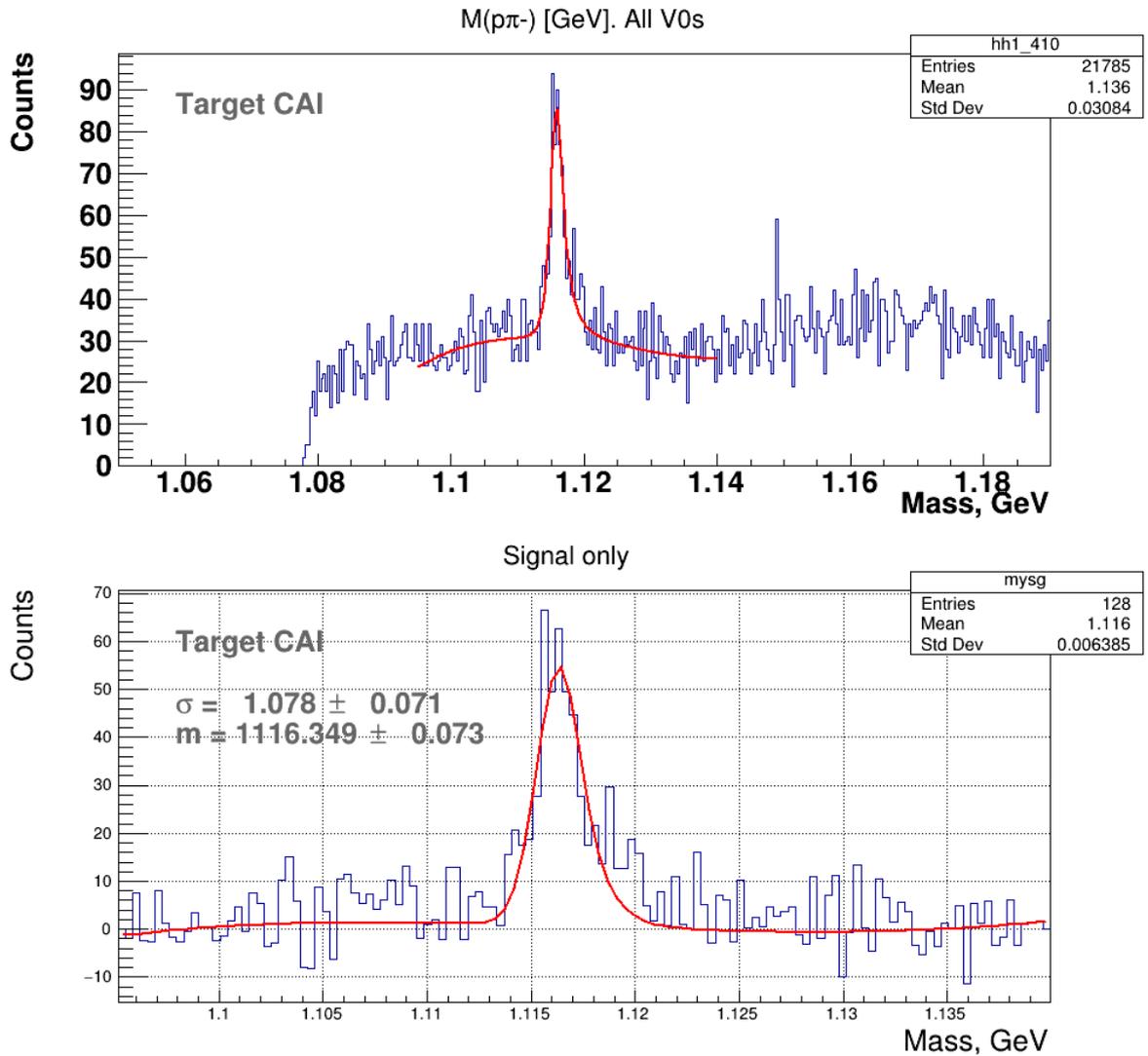


Рис. 4.8: Гистограмма сигнала Λ - гиперона при моделировании Монте-Карло в Geant4 и сигнал после вычитания фона для пучка C на мишени Al

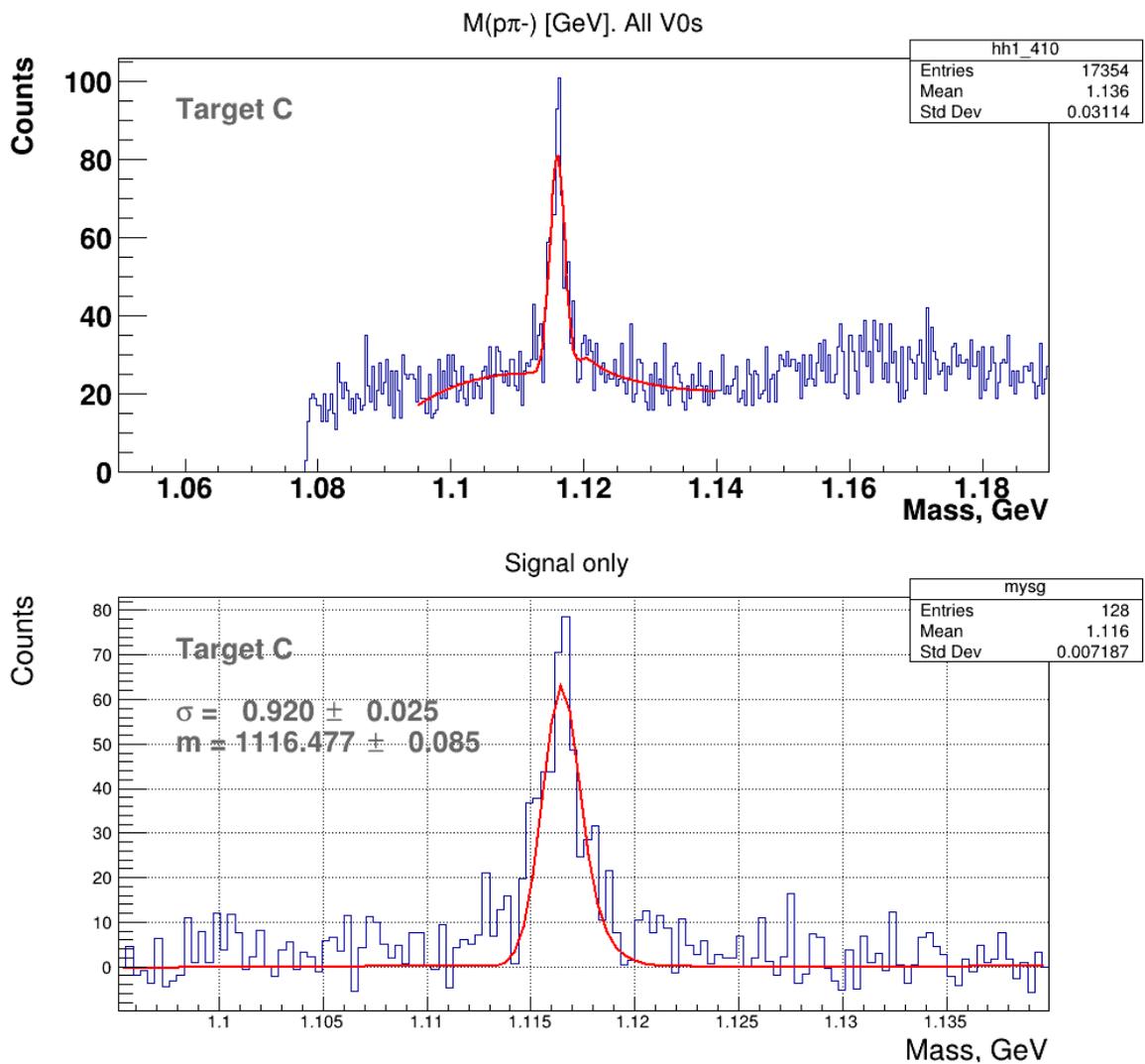


Рис. 4.9: Гистограмма сигнала Λ - гиперона при моделировании Монте-Карло в Geant4 и сигнал после вычитания фона для пучка C на мишени C

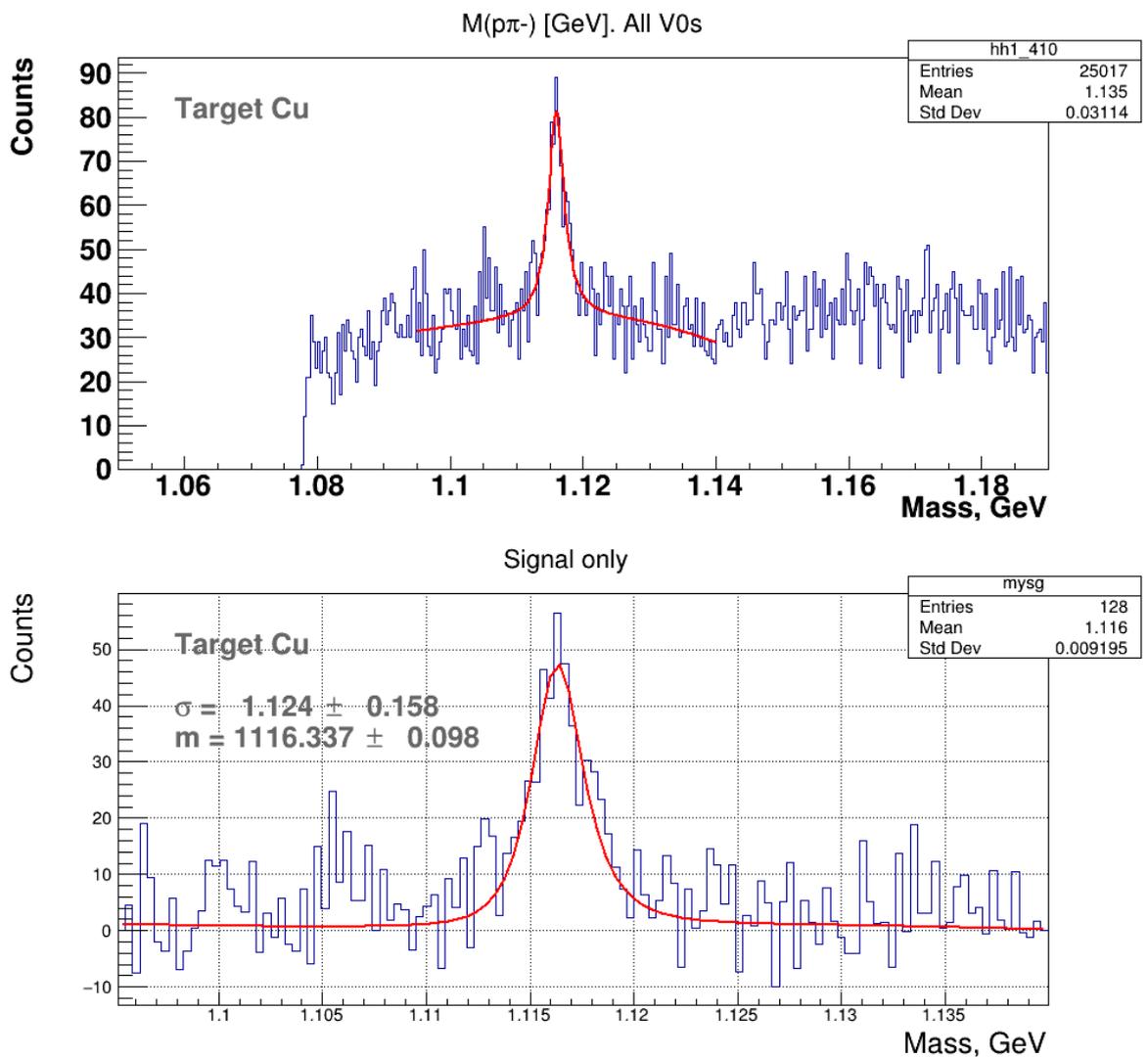


Рис. 4.10: Гистограмма сигнала Λ - гиперона при моделировании Монте-Карло в Geant4 и сигнал после вычитания фона для пучка C на мишени Cu

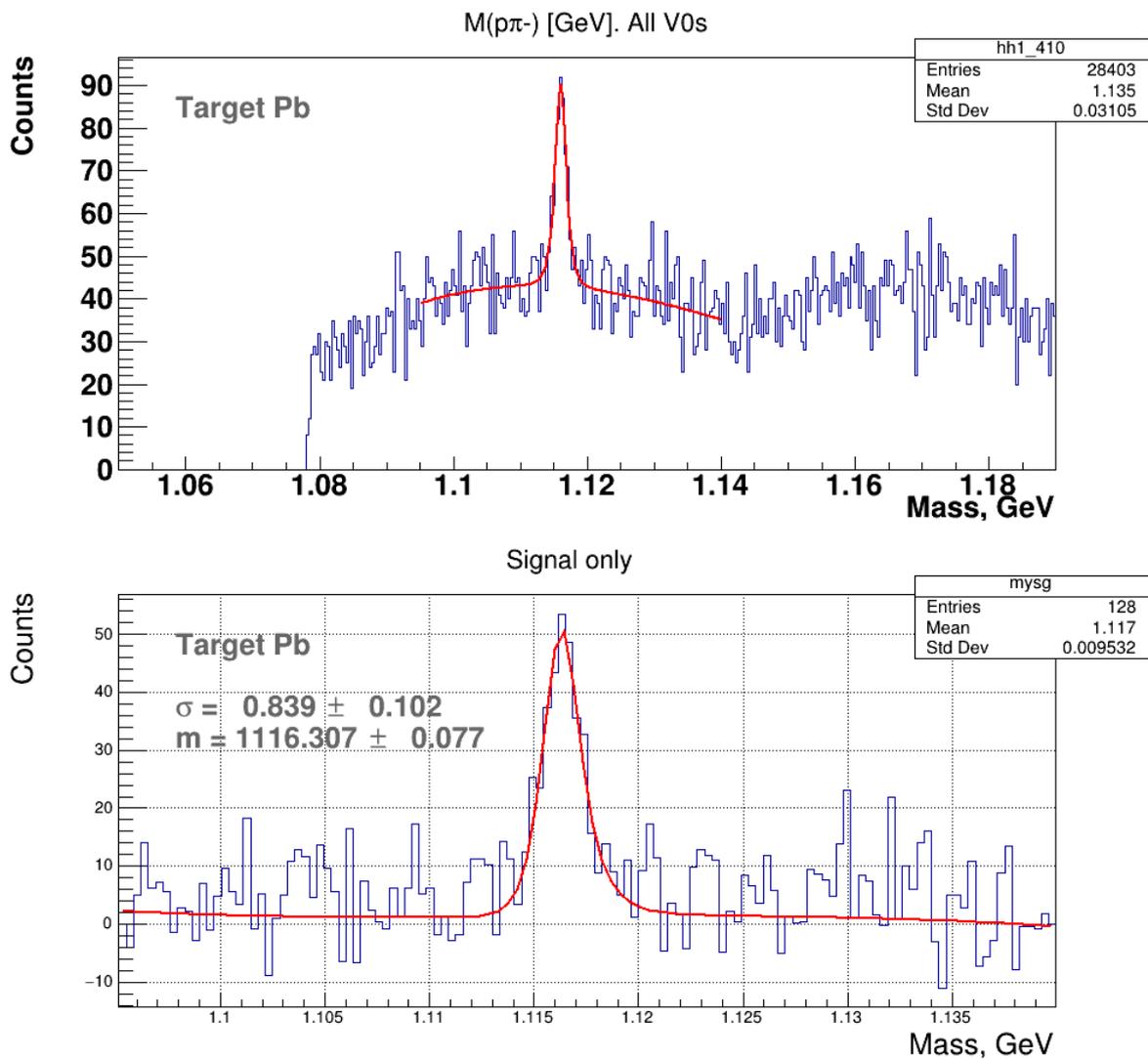


Рис. 4.11: Гистограмма сигнала Λ - гиперона при моделировании Монте-Карло в Geant4 и сигнал после вычитания фона для пучка C на мишени Pb

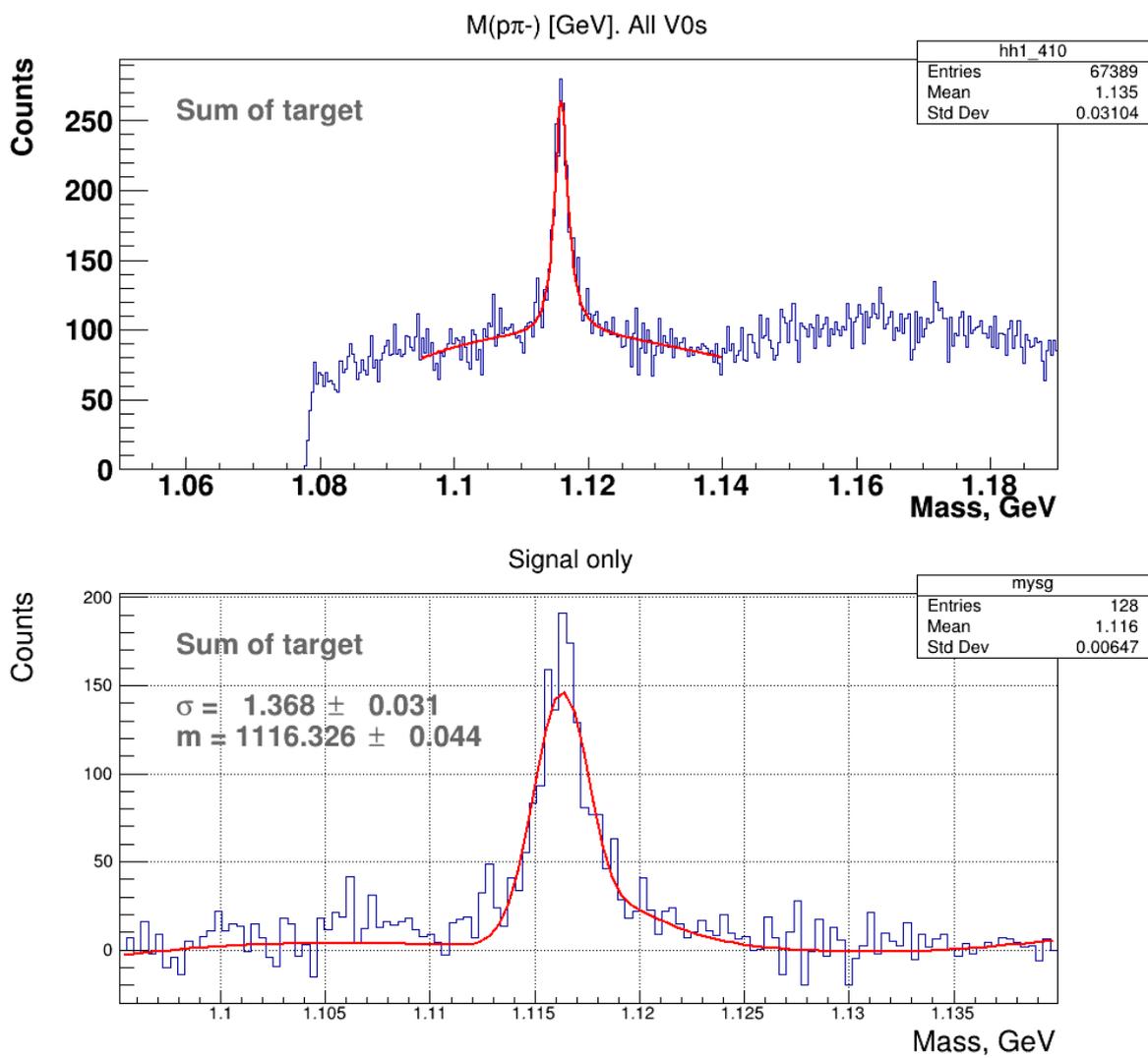


Рис. 4.12: Гистограмма сигнала Λ - гиперона при моделировании Монте-Карло в Geant4 и сигнал после вычитания фона для пучка C и суммы мишеней(C,Pb,Cu,Al)