



Реконструкция Λ и K_S^0 в эксперименте BM@N

Научная сессия секции
ядерной физики ОФН
РАН, 1–5 апр. 2024 г.
г. Дубна, ОИЯИ

Барак Р.

Введение

- Столкновения тяжелых релятивистских ионов позволяют нам изучать ядерную материю при экстремальных плотности и температуре.
- При достаточно высоких температуре и плотности энергии формируется так называемая кварк-глюонная плазма (КГП) [1]:
 - Сопровождается повышенным выходом гиперонов.
- Теоретические модели предлагают разные описания [2],[3]:
 - Нужны новые экспериментальные данные для разъяснения.

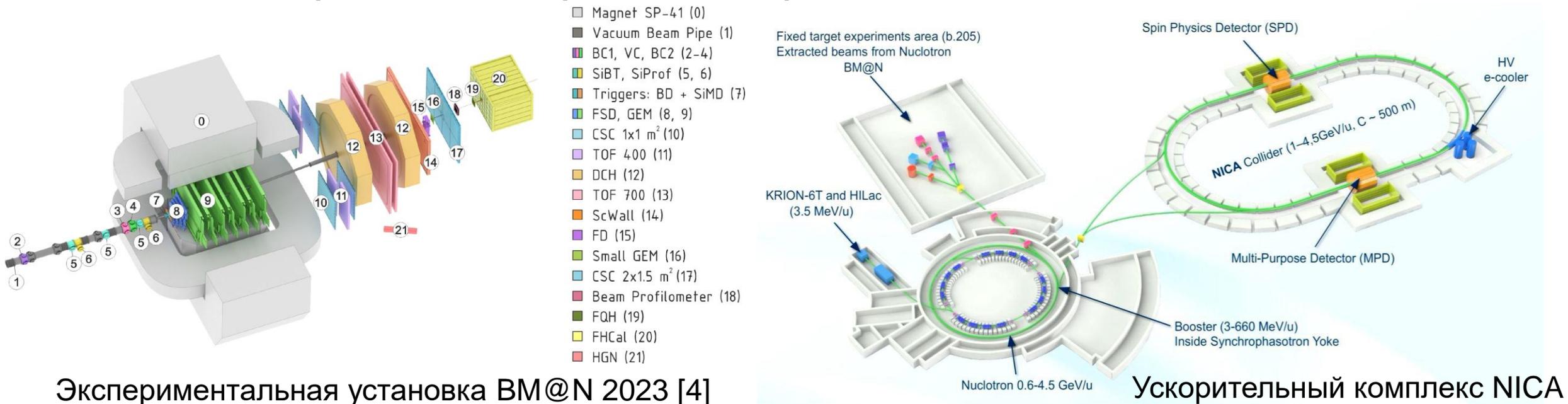
[1] B. Friman, W. Nörenberg, V.D. Toneev “The quark condensate in relativistic nucleus-nucleus collisions” Eur. Phys. J. A 3, 165-170.

[2] J. Adams et al Nucl. Phys., vol. A 757, pp. 102–183, 2005.

[3] K. Adcox et al Nucl. Phys., vol. A 757, pp. 184–283, 2005.

Эксперимент BM@N на комплексе NICA

- Столкновения заряженных ионов с фиксированной мишенью при энергии пучка до 4 ГэВ на нуклон.
- Изучение свойств плотной барионной материи, образование гиперматерии, уравнение состояния симметричной и асимметричной ядерной материи, коллективные явления ...



Экспериментальная установка BM@N 2023 [4]

Ускорительный комплекс NICA

[4] Kapishin.M, "Studies of baryonic matter at the BM@N experiment (JINR)." Nuclear Physics A 982, (2019), 967–970.

Цель работы

- Выделение сигналов Λ и K_S^0 на экспериментальных и Монте-Карло данных в эксперименте $BM@N$.
- Согласование экспериментальных данных и результатов Монте-Карло.

Данные

- Экспериментальные данные, полученные в физическом сеансе в начале 2023 г.
- Для моделирования данных был использован Монте-Карло генератор Dubna Cascade Model - Statistical Multifragmentation Model (DCM-SMM) [5].
- Энергия пучка 3.9 ГэВ на нуклон.
- Мишень CsI, пучок Xe.
- Пакет анализа данных VmnRoot.
- Статистика данных и Монте-Карло 1 млн.

[5] Baznat M., Botvina A., Musulmanbekov G., Toneev V., Zhezher V. Monte-Carlo Generator of Heavy Ion Collisions DCM-SMM, Physics of Particles and Nuclei Letters 17, 3, 303-324 (2020)

Процедура обработки данных

- Проведена реконструкция треков частиц.
- Разработаны и реализованы математические алгоритмы для поиска распада $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ и распада $K_S^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$:
 - перебор пар частиц с разными знаками
 - вычисление инвариантной массы
 - наложение ряда геометрических ограничений на параметры каждой пары

PV – первичная вершина.

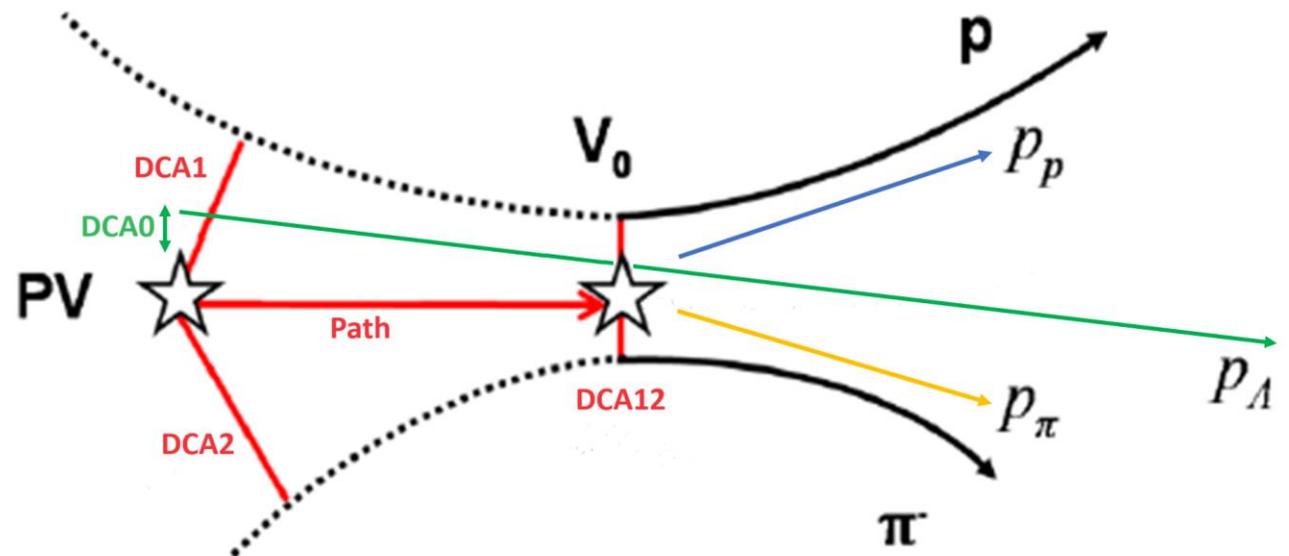
Path – расстояние, пройденное Λ от первичной вершины до точки ее распада.

DCA0 – расстояние между первичной вершиной и проекцией импульса Λ .

DCA1 – кратчайшее расстояние от протона до вершины.

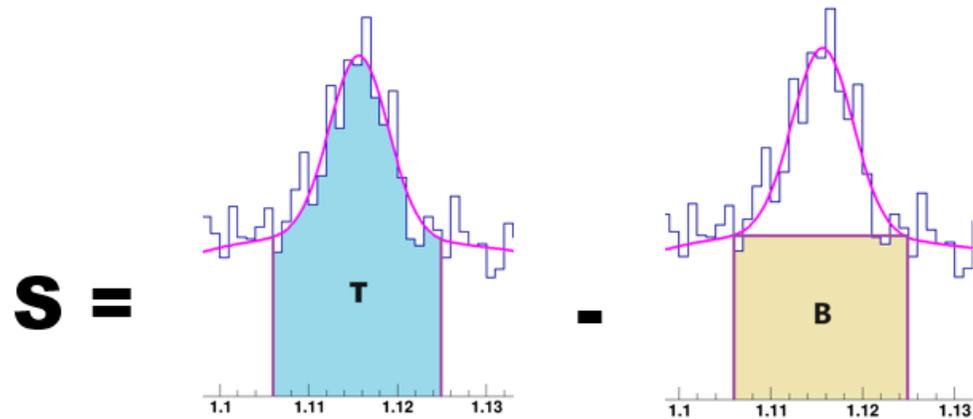
DCA2 – кратчайшее расстояние от отрицательного π -мезона до вершины.

DCA12 – расстояние между протоном и отрицательным π -мезоном в точке распада Λ .



Топология событий

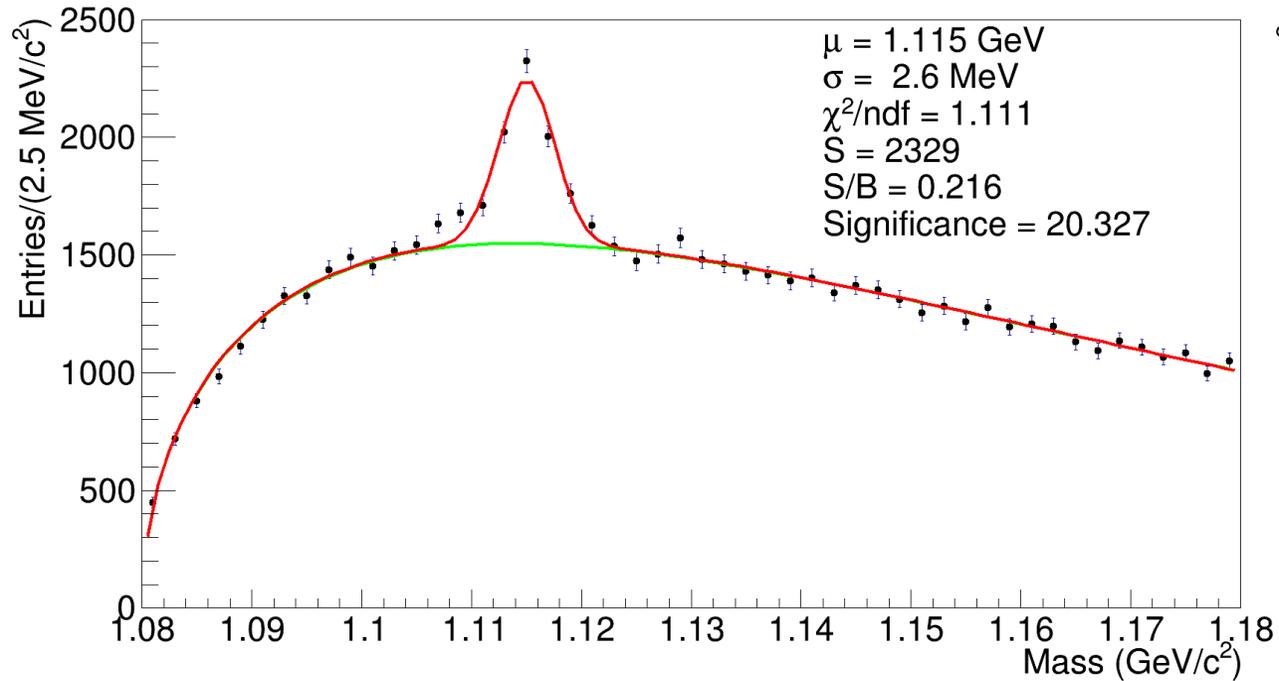
Параметры фита для выделения сигнала



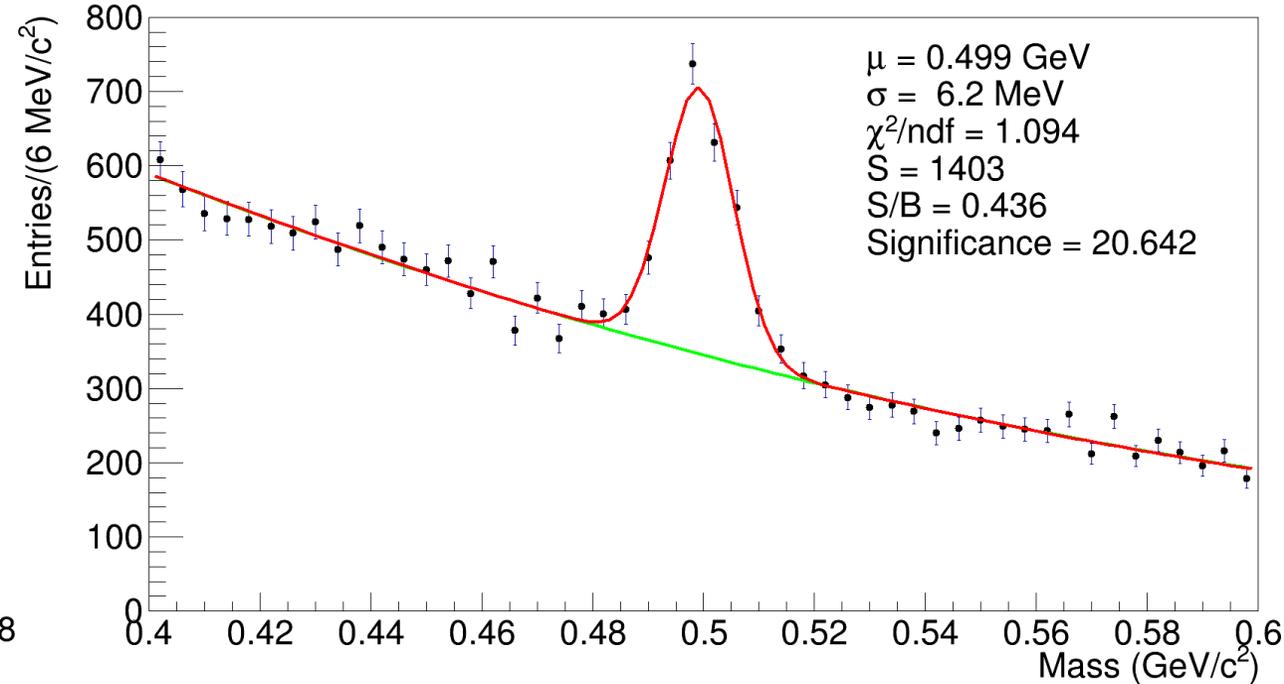
- $BG = A * \sqrt{(m - m_{threshold})} * e^{-B(m - m_{threshold})}$
- Значимость: $\frac{S}{\sqrt{T}}$ \longrightarrow выбрано в качестве меры оптимального значения
- Эффективность: $\frac{N_{signal}}{N_{generated}} * 100 \%$

Сигналы Λ и K_S^0 в экспериментальных данных

Λ :

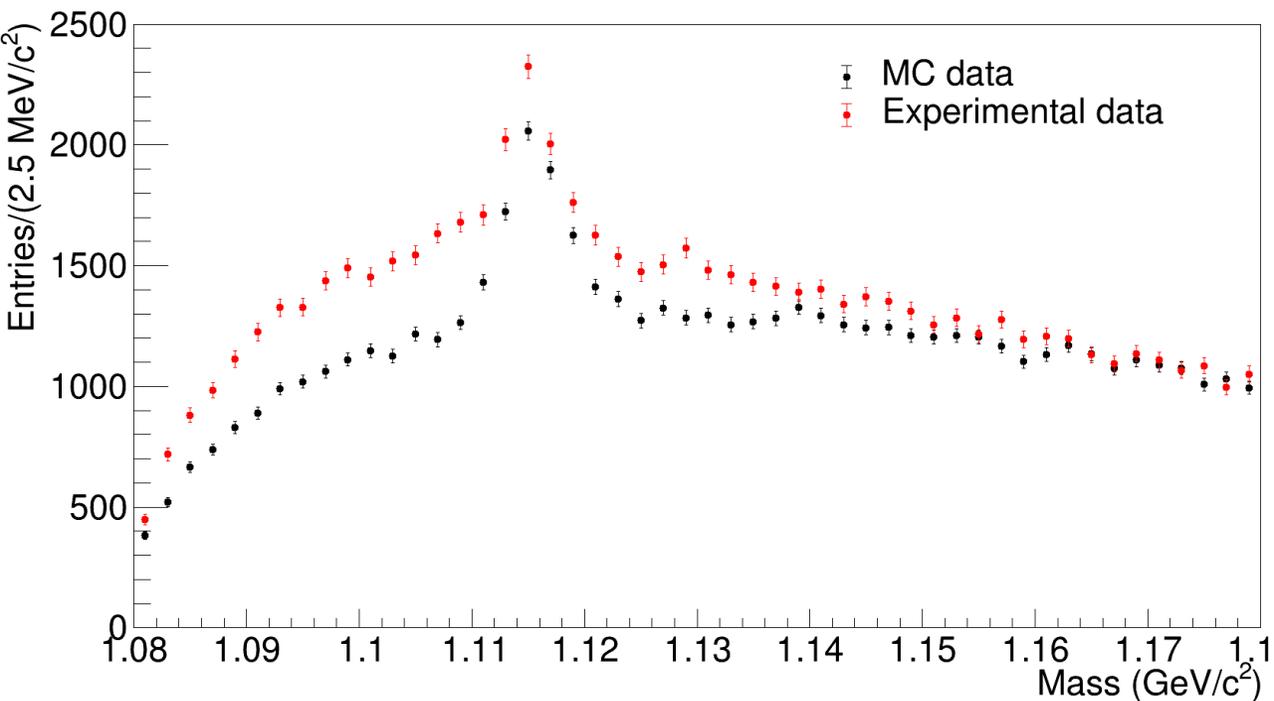


K_S^0 :

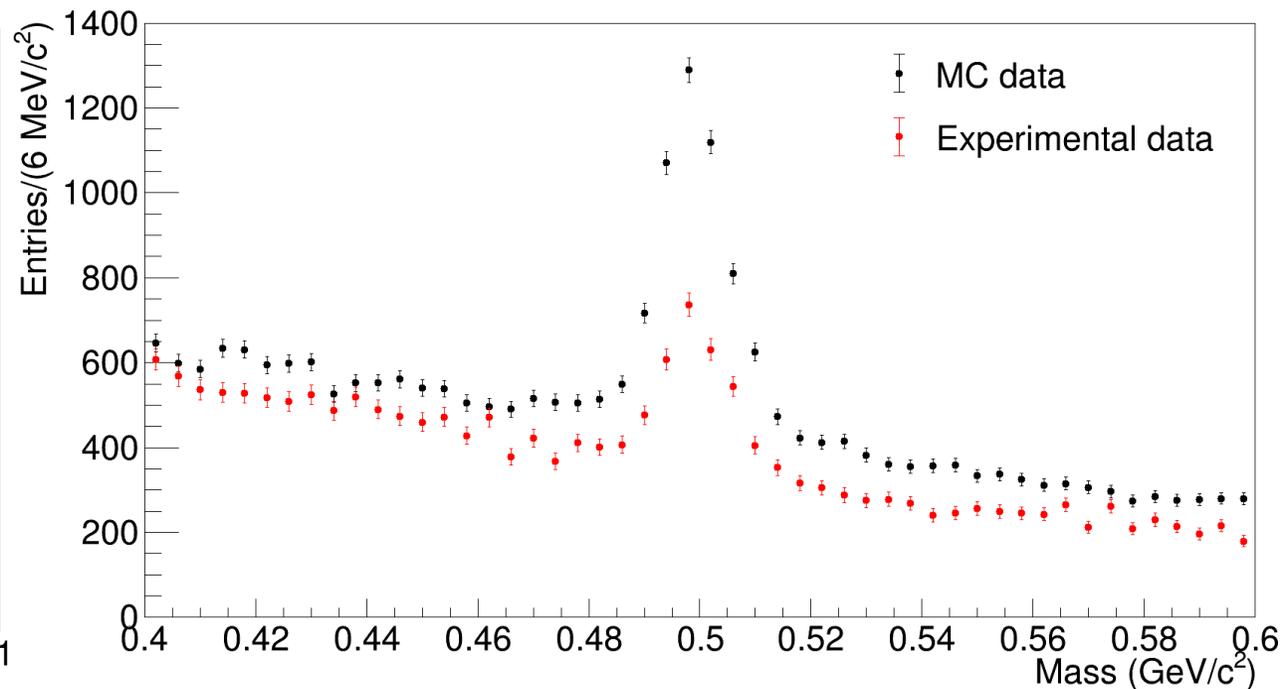


Сравнение экспериментальных данных и Монте-Карло

Λ :

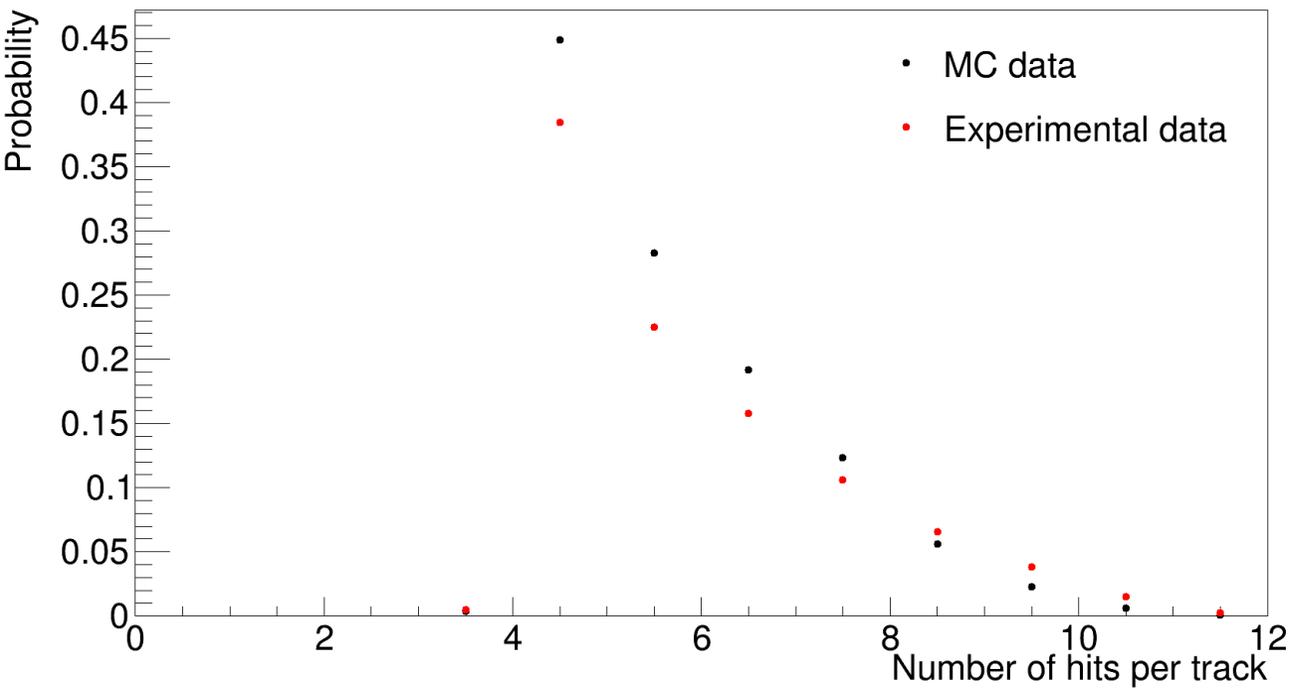


K_S^0 :

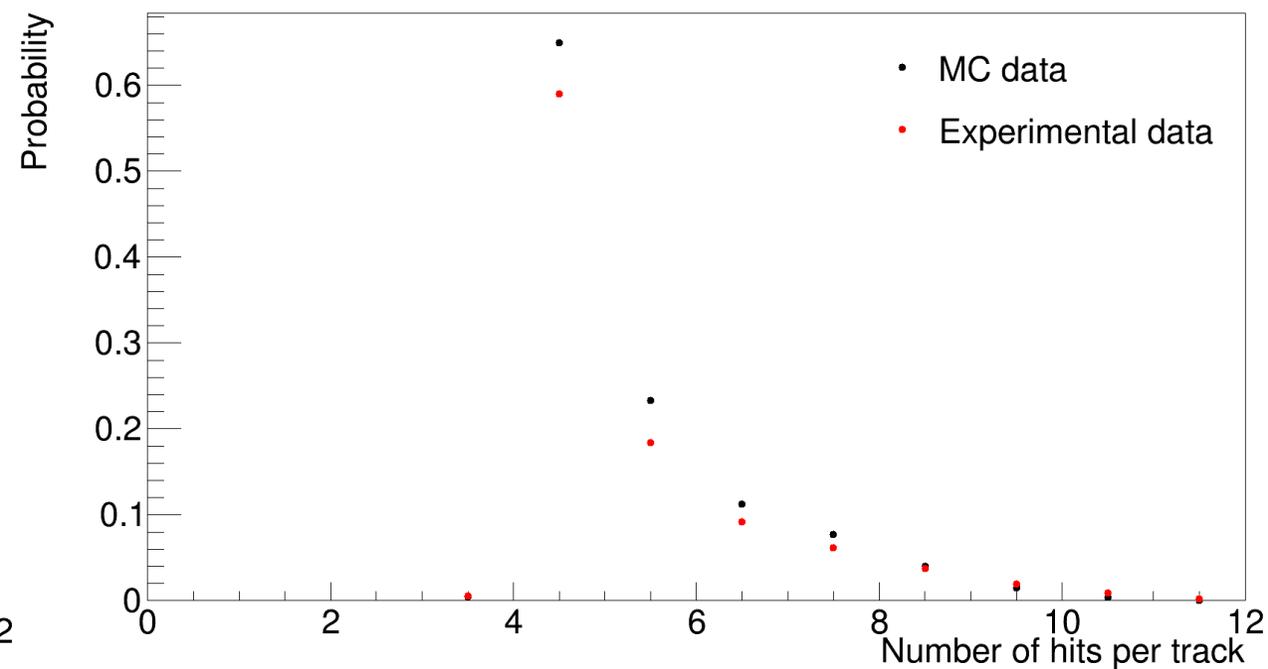


Сравнение экспериментальных данных и Монте-Карло

Comparison number of hits per track for positive p



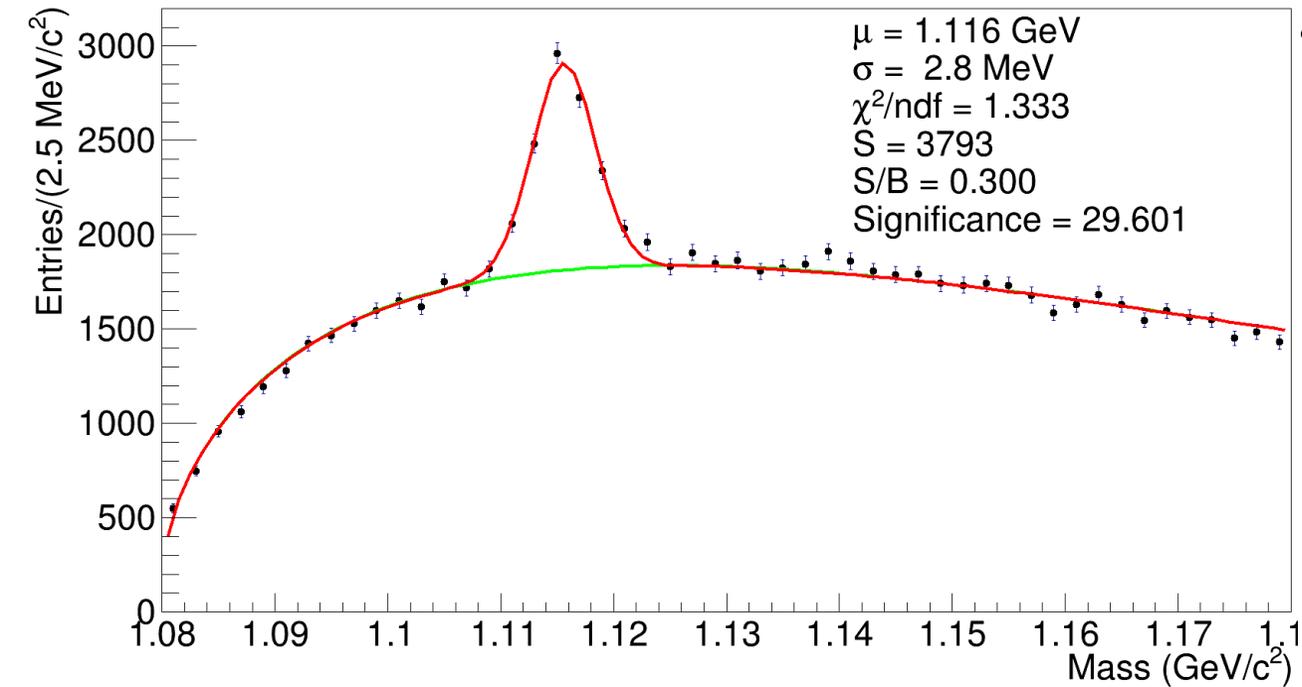
Comparison number of hits per track for negative p



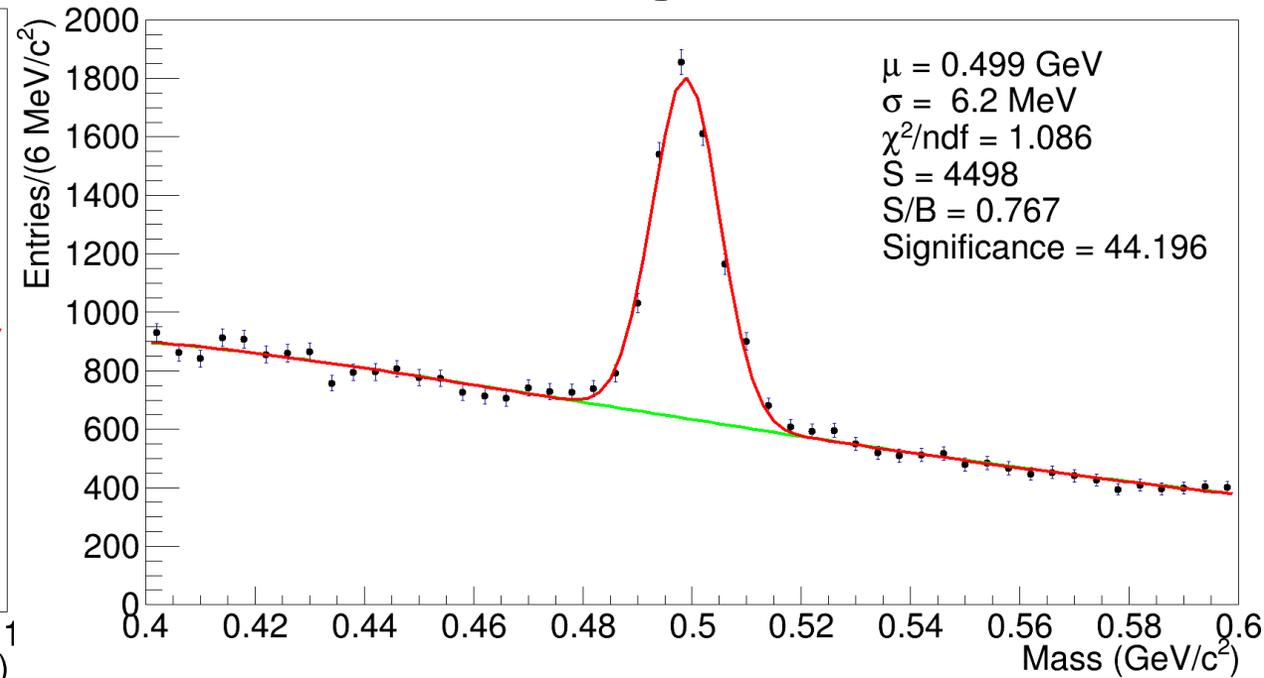
Результаты

Реконструкция Λ и K_S^0 с экспериментальными данными и использовано на Монте-Карло данных:

Λ :



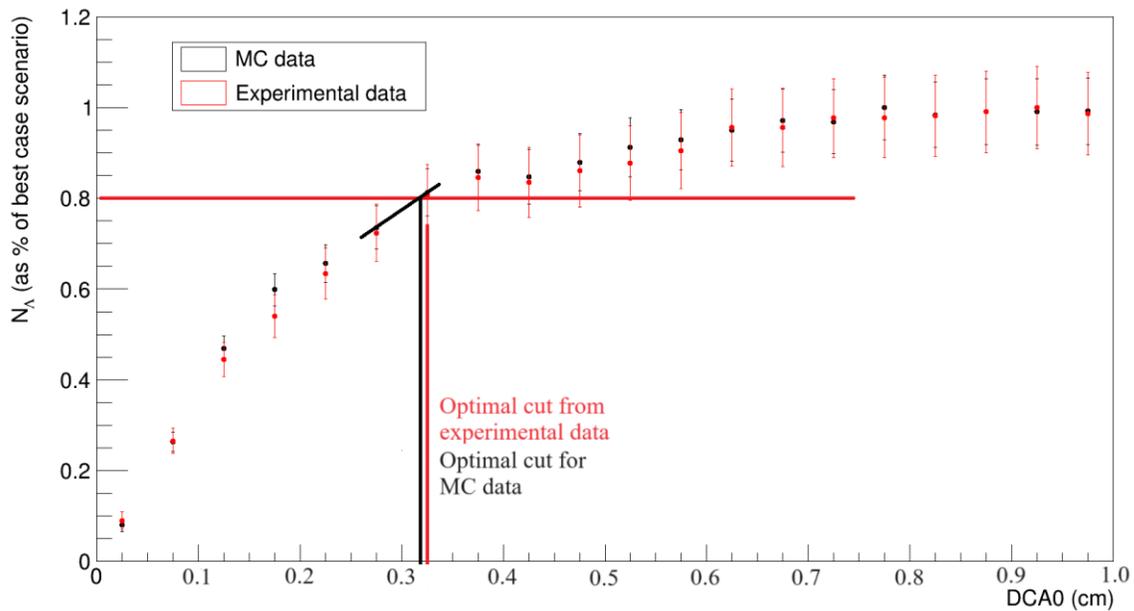
K_S^0 :



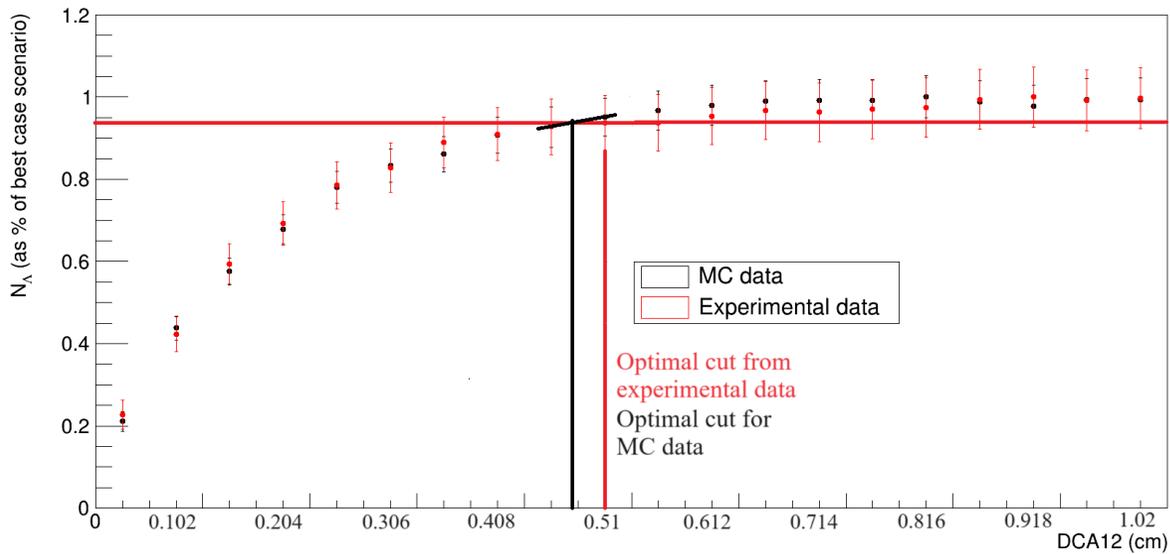
Результаты

Зависимость сигнала от различных параметров Λ

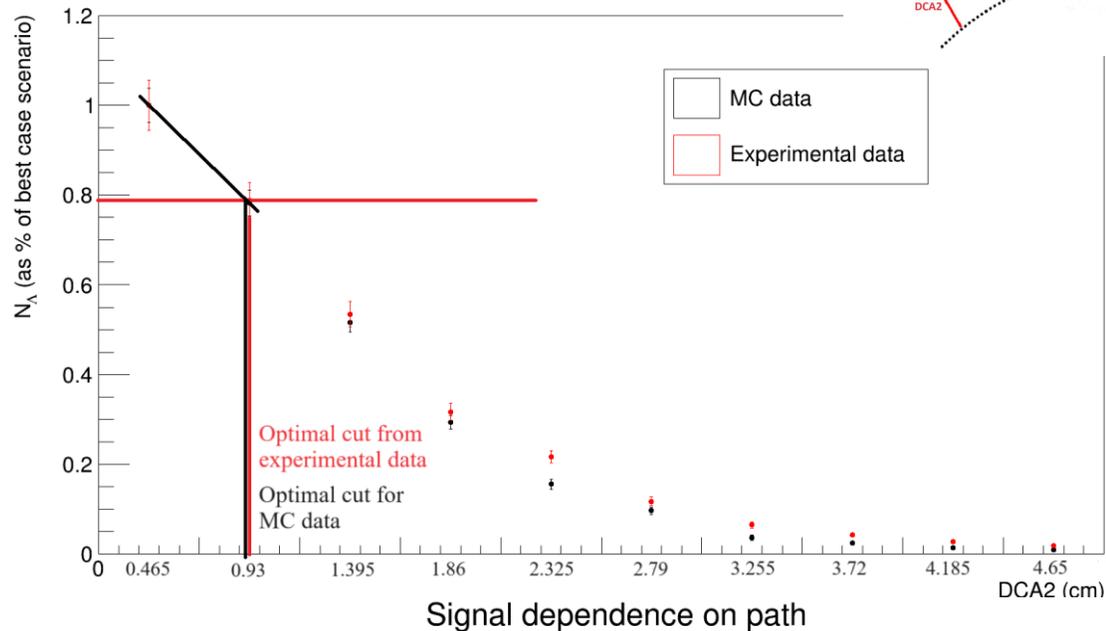
Signal dependence on dca0



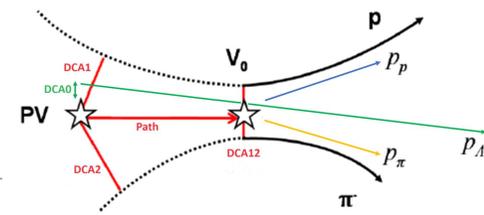
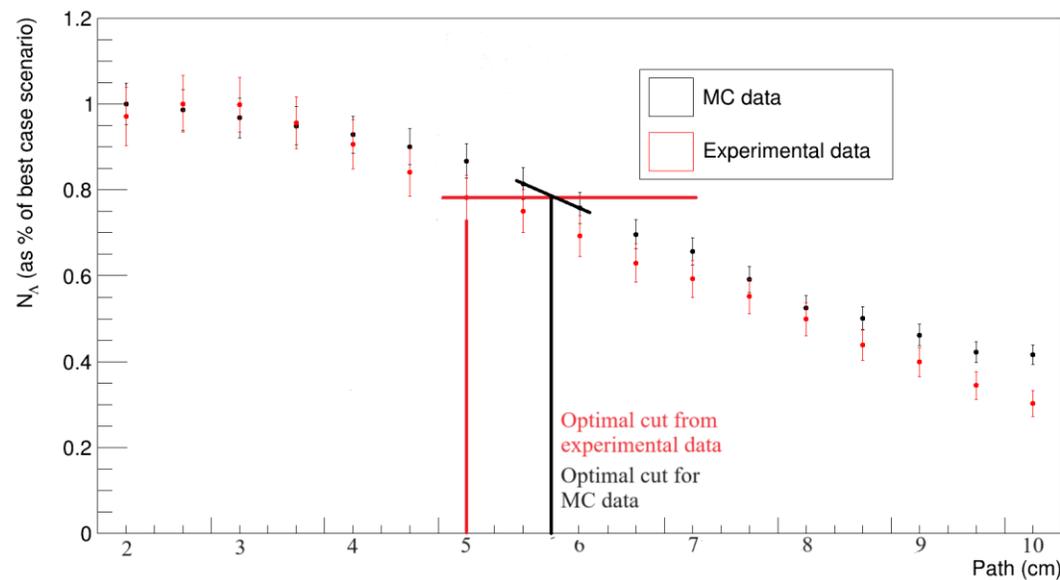
Signal dependence on dca12



Signal dependence on dca2



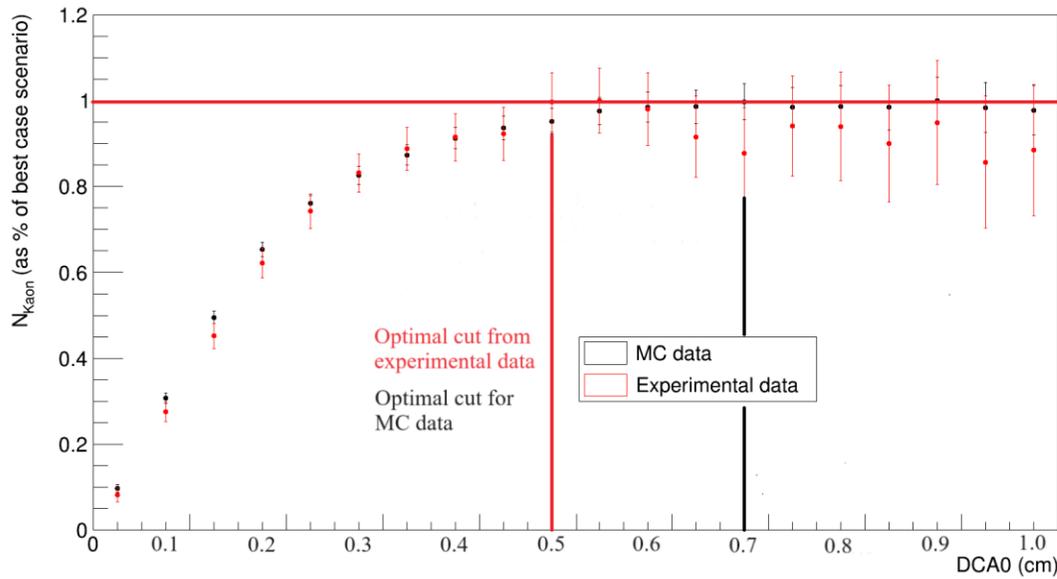
Signal dependence on path



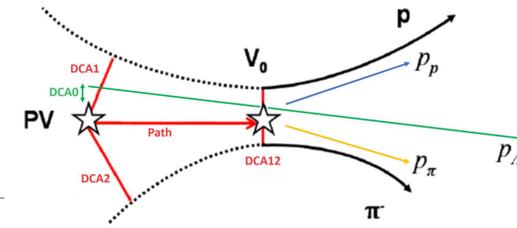
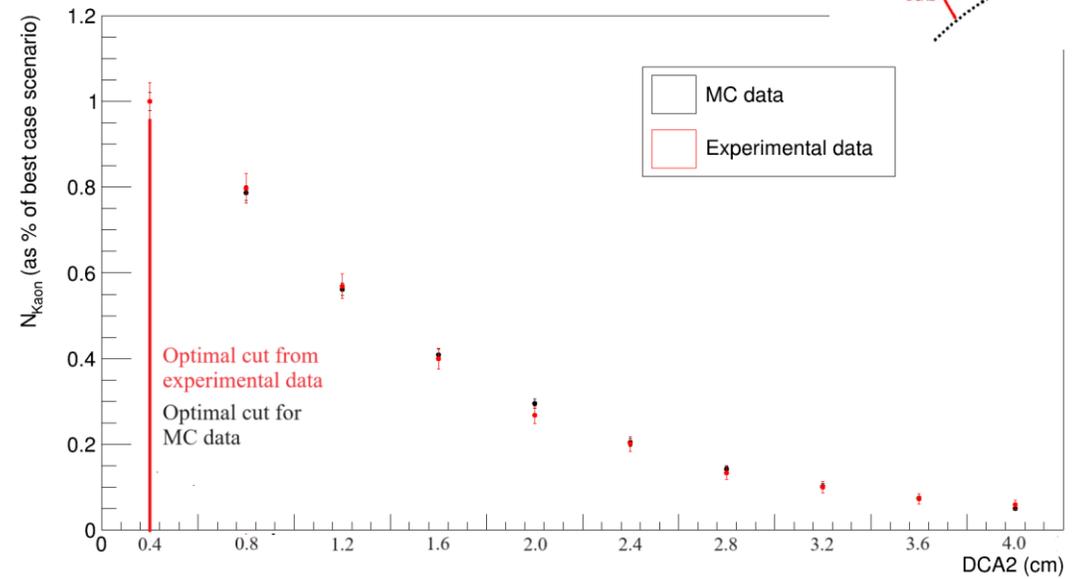
Результаты

Зависимость сигнала от различных параметров K_S^0

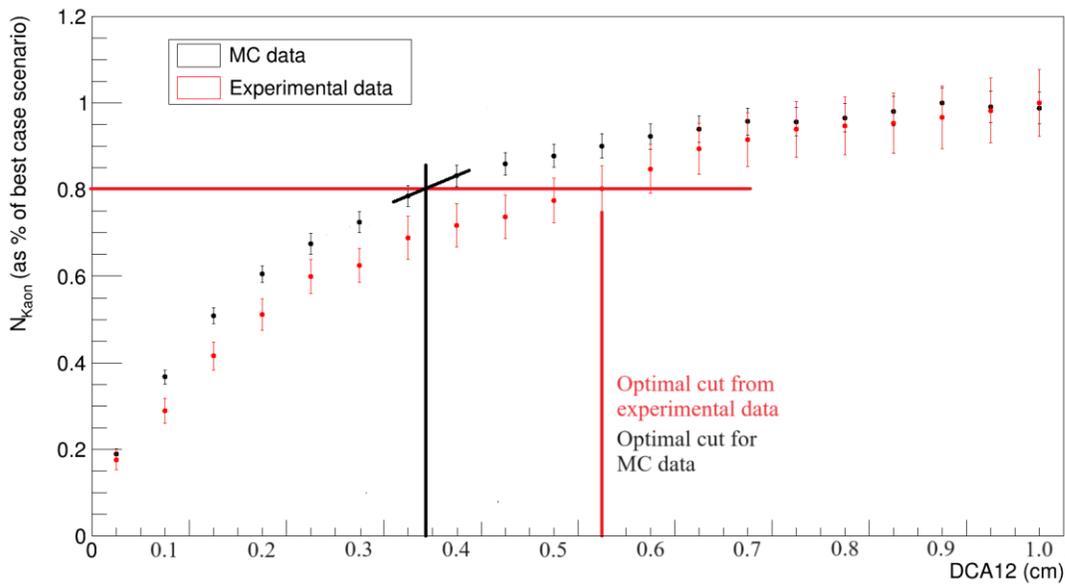
Signal dependence on dca0



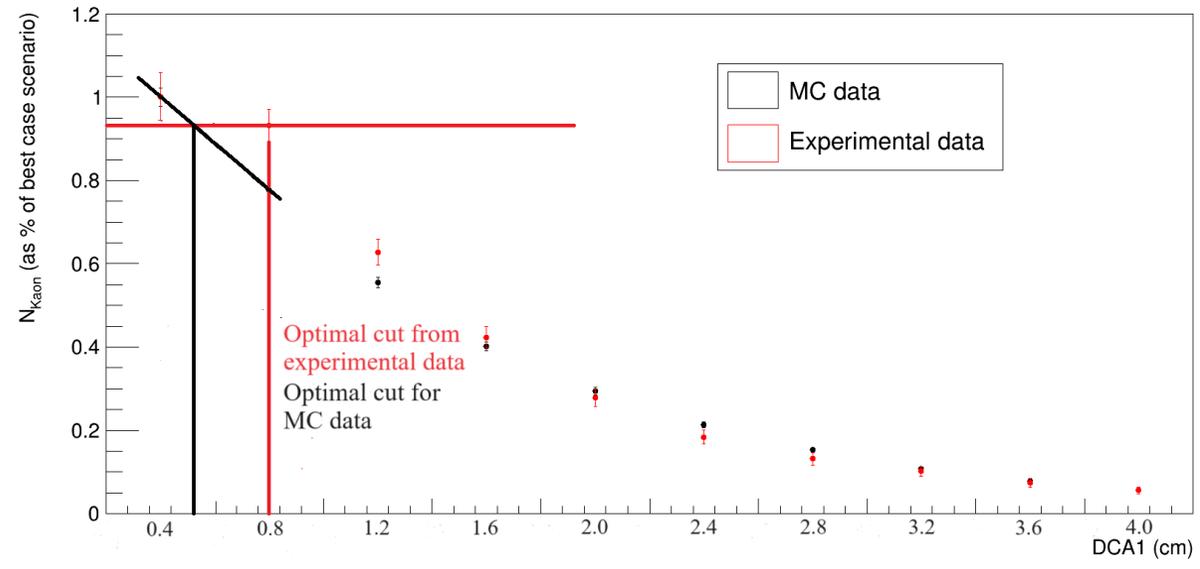
Signal dependence on dca2



Signal dependence on dca12



Signal dependence on dca1



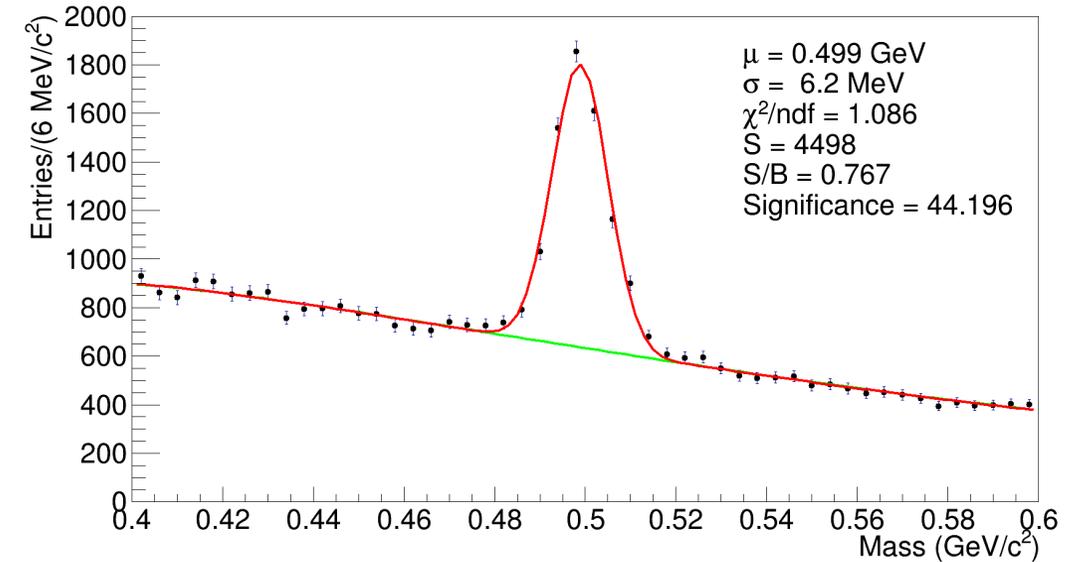
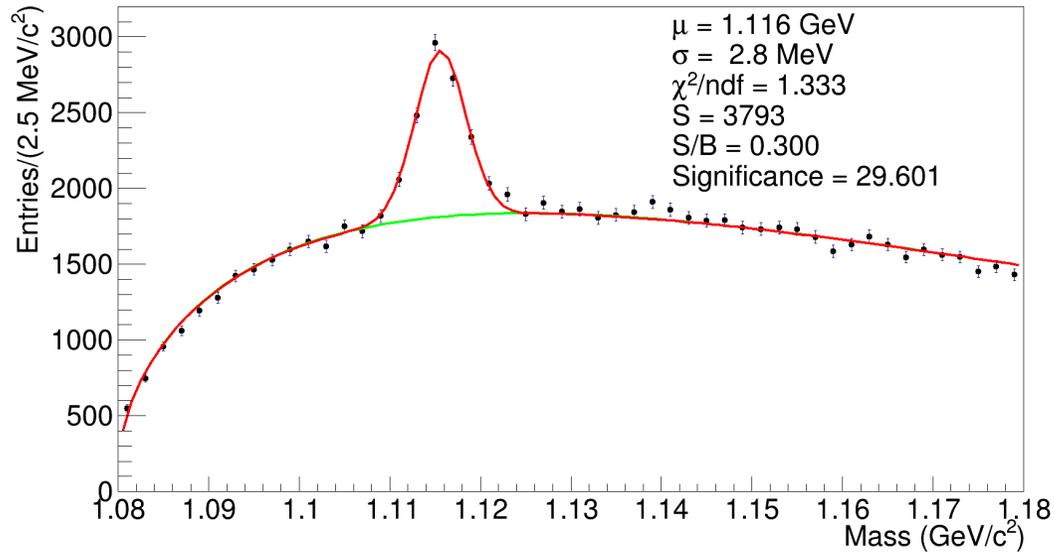
Результаты

Фитирование для Монте-Карло данных, полученных на основе анализа по сигналу

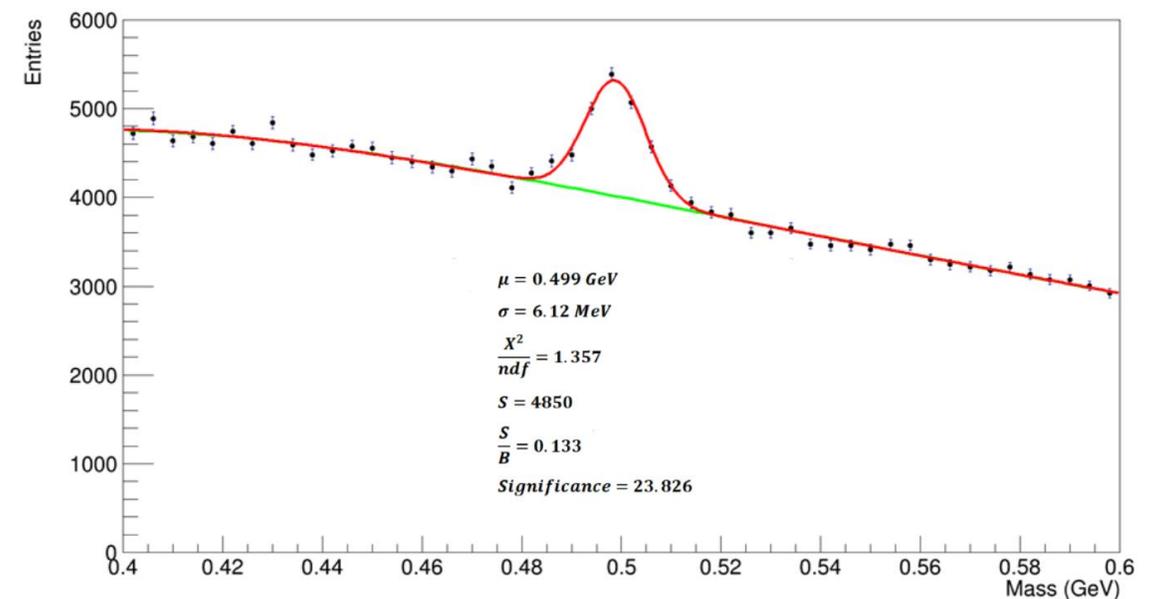
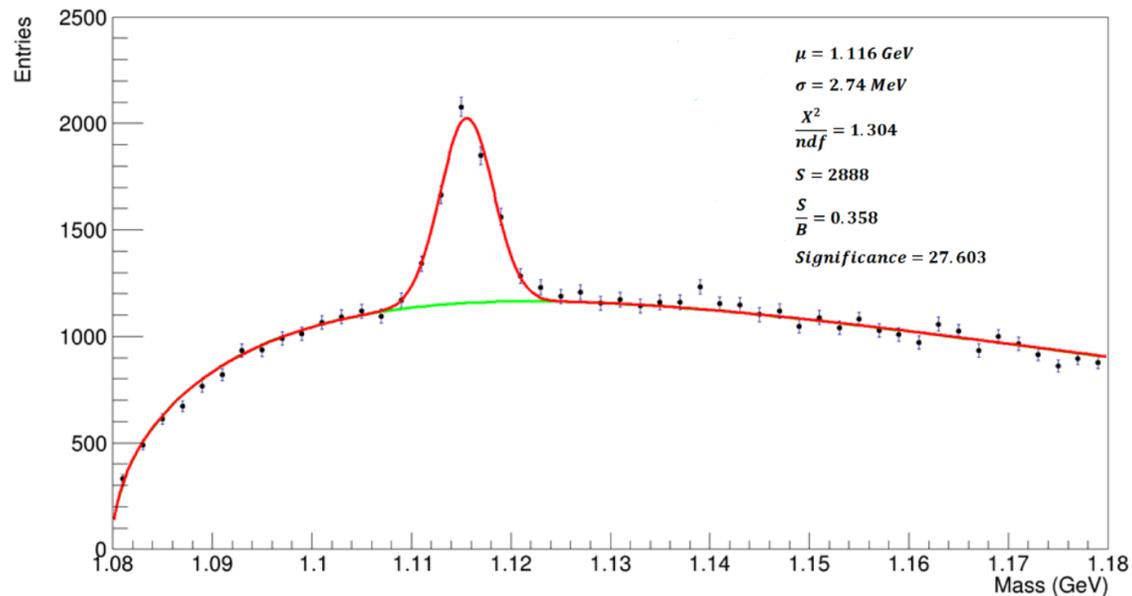
Λ :

До оптимизации по сигналу:

K_S^0 :



После оптимизации по сигналу:



Заключение

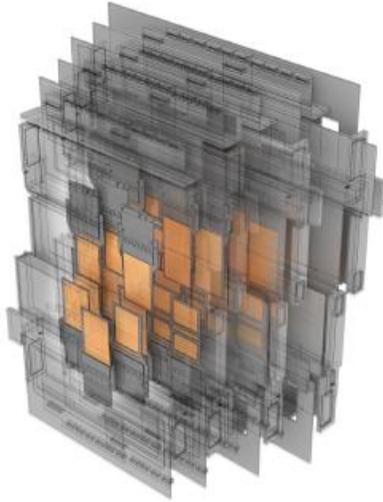
- В данной работе было рассмотрено $1e6$ Монте-Карло и экспериментальных событий для анализа восстановления Λ и K_S^0 , с выбором значимости в качестве оптимального критерия.
- Проведен поиск оптимальных геометрических ограничений для получения согласования между экспериментальными и Монте-Карло данными.

Спасибо за внимание!

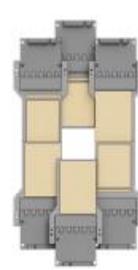
Backup

Forward Silicon Detector

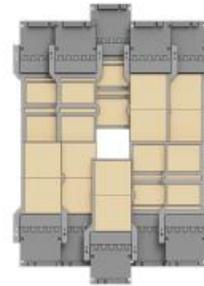
Forward Silicon Detector (FSD) is a high-precision coordinate detector of the inner tracking system of the BM@N setup. It consists of a set of silicon modules which are assembled into 4 stations.



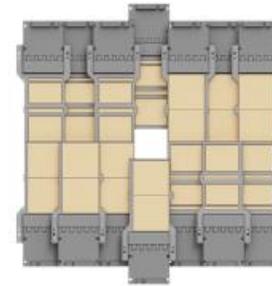
Silicon stations



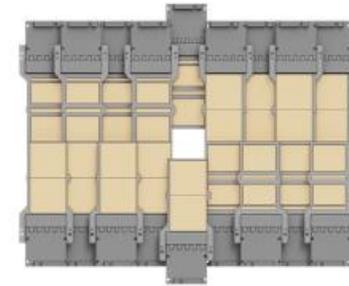
Station 1:
6 modules of 63x93 mm²



Station 2:
10 modules of 63x126 mm²

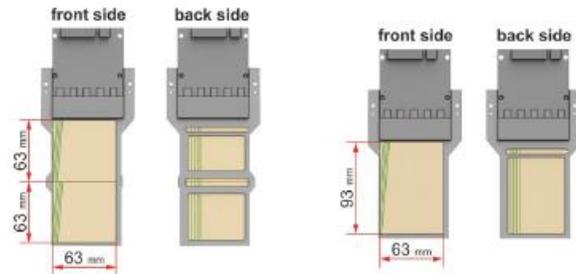


Station 3:
14 modules of 63x126 mm²



Station 4:
14 modules of 63x126 mm²

Silicon module types

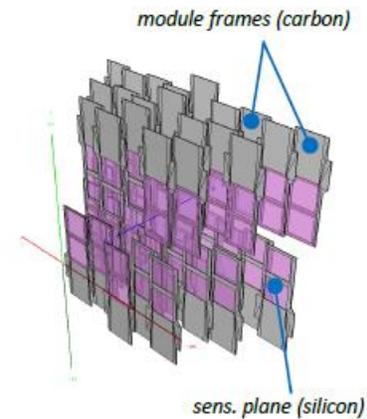


Si-module
with two double-sided strip
sensors of 63x63 mm² each

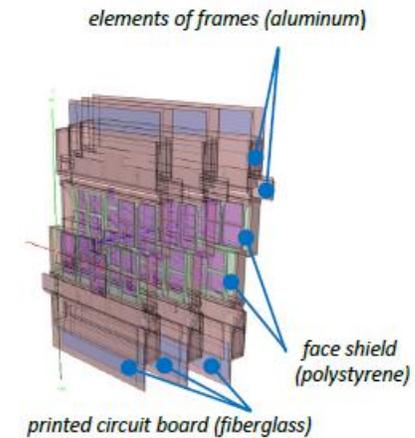
Si-module
with one double-sided strip
sensor of 63x93 mm²

sensor thickness: 300 μm
strip pitch: ≈ 100 μm
stereo angle between strips: 2.5°

ROOT geometry



Basic ROOT geometry of the FSD detector



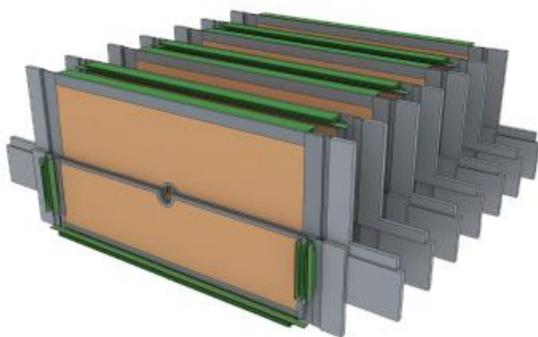
Detailed ROOT geometry of the FSD detector

Adding passive elements to the geometry allows us to take into account detector materials which affect the passage of particles through matter. This, in turn, improves the accuracy of the Monte-Carlo simulation.

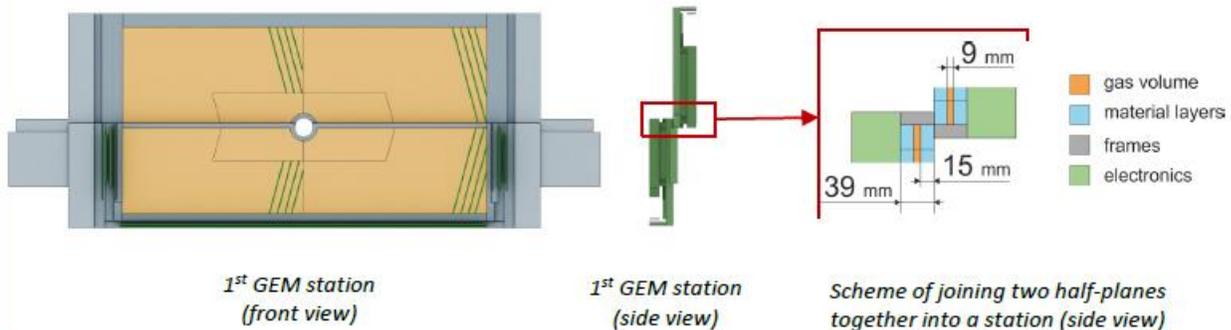
GEM detector

GEM (Gas Electron Multipliers) is a microstrip coordinate detector of the central tracker in the BM@N setup. It consists of gaseous chambers with electron multiplier system inside.

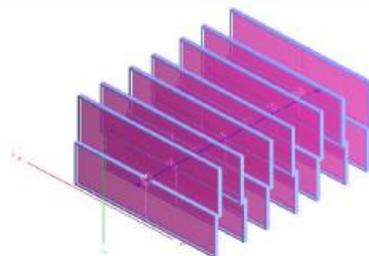
The configuration of this detectors for RUN-8 comprises **seven stations** located inside the magnet along the beam axis.



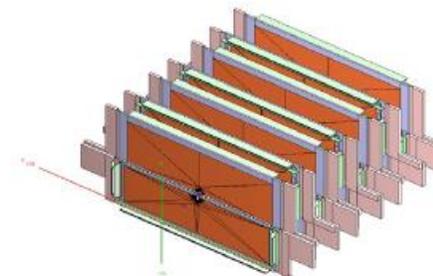
GEM station assembly



ROOT geometry

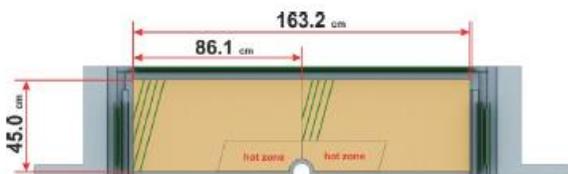


Basic ROOT geometry of the GEM detector

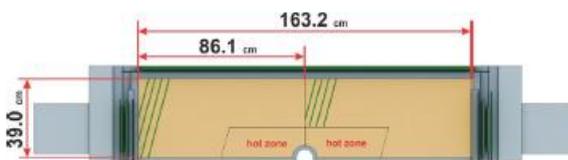


Detailed ROOT geometry of the GEM detector

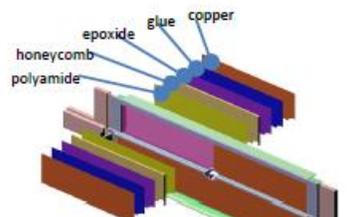
GEM chamber types



Upper half-plane



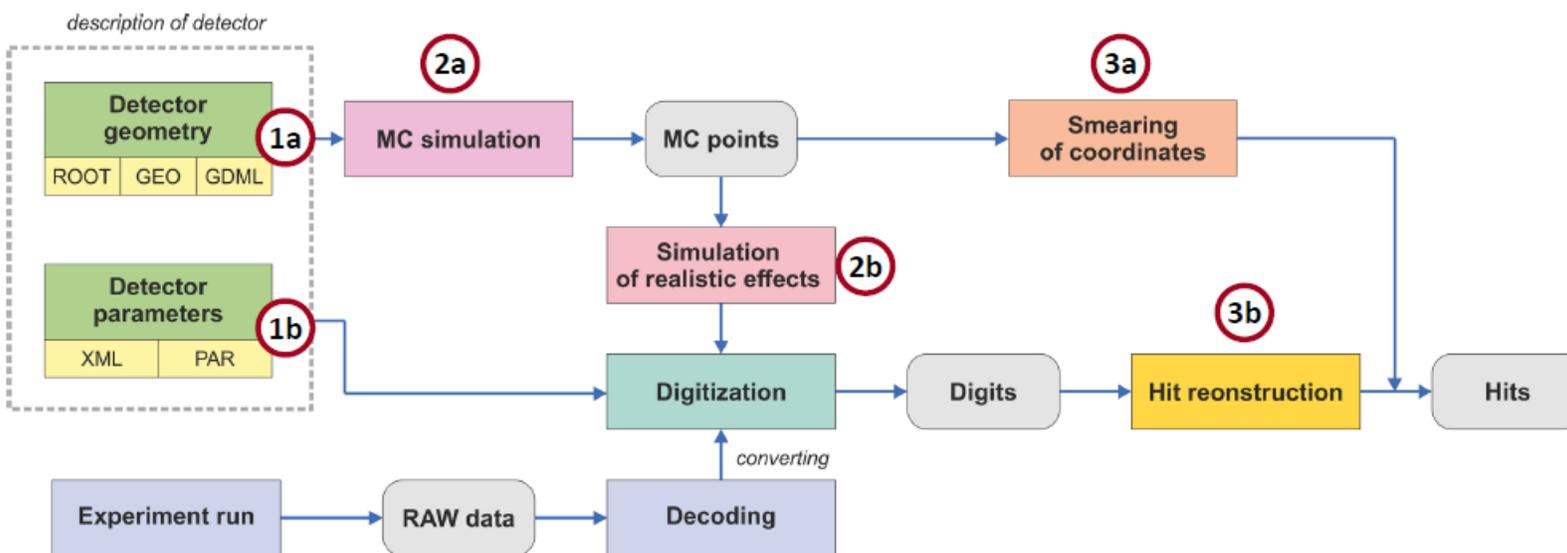
Lower half-plane



Sensitive area of a GEM chamber

Each active zone in a GEM chamber has a multi-layer structure. A layer has the following properties: thickness, material type and other characteristics which are taken into account in the Monte-Carlo simulation.

Tracking detectors: software for data processing

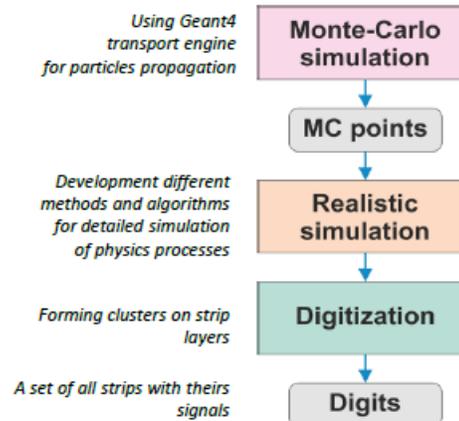


Basic stages of data processing for tracking detectors in BmnRoot

Stages of data processing

1. **Complete description of a detector:**
 - a) Description of detector geometry (ROOT files)
 - b) Description of detector parameters (XML files)
2. **Simulation:**
 - a) Monte-Carlo simulation
 - b) Simulation of realistic effects
3. **Procedures of getting "hits" (Hit-reconstruction):**
 - a) Smearing Monte-Carlo points (hit producing)
 - b) Hit reconstruction from "digits":
 - Realistic simulation + digitization
 - RAW experimental data + digitization

Realistic simulation steps



Complete simulation for detectors comprises the following stages:

1. Monte-Carlo simulation (getting MC-points by using Geant4)
2. Realistic simulation (taking into account the signal formation features)
3. "Digitization" (forming 'digits' as signal on the strips)

Cuts

Previous:

Λ :

4 cuts used:

- 5.0 cm \leq path \leq 50.0 cm
- 0.0 cm \leq dca12 \leq 0.51 cm
- 0.0 cm \leq dca0 \leq 0.20 cm
- 0.93 cm \leq dca2 \leq 10.0 cm

K_S^0 :

4 cuts used:

- 0.8 cm \leq dca1 \leq 10.0 cm
- 0.0 cm \leq dca12 \leq 0.4 cm
- 0.0 cm \leq dca0 \leq 0.5 cm
- 0.4 cm \leq dca2 \leq 10.0 cm

From signal analysis:

4 cuts used:

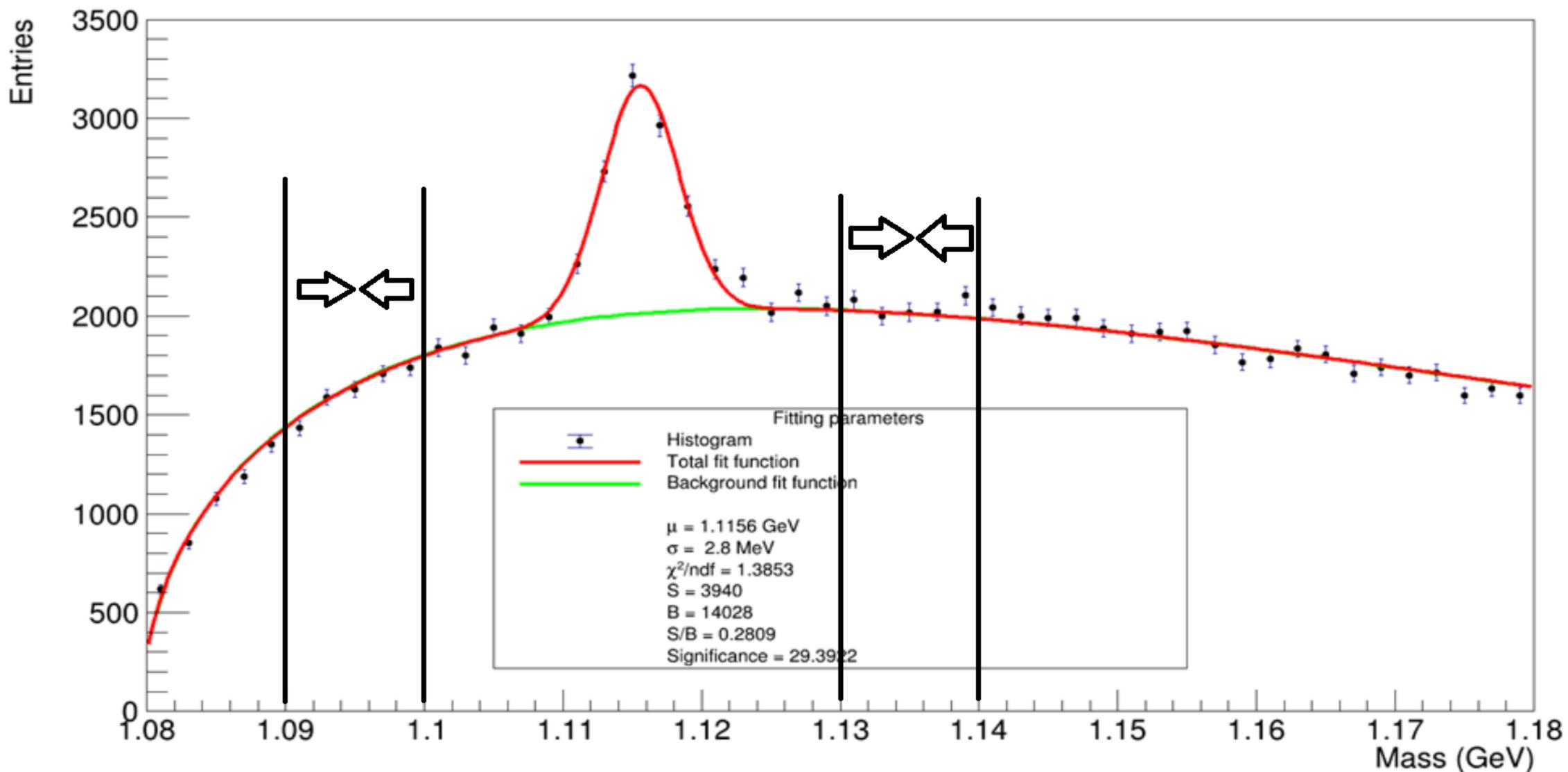
- 5.75 cm \leq path \leq 50.0 cm
- 0.0 cm \leq dca12 \leq 0.483 cm
- 0.0 cm \leq dca0 \leq 0.176 cm
- 0.929 cm \leq dca2 \leq 10.0 cm

4 cuts used:

- 0.52 cm \leq dca1 \leq 10.0 cm
- 0.0 cm \leq dca12 \leq 0.2875 cm
- 0.0 cm \leq dca0 \leq 0.7 cm
- 0.4 cm \leq dca2 \leq 10.0 cm

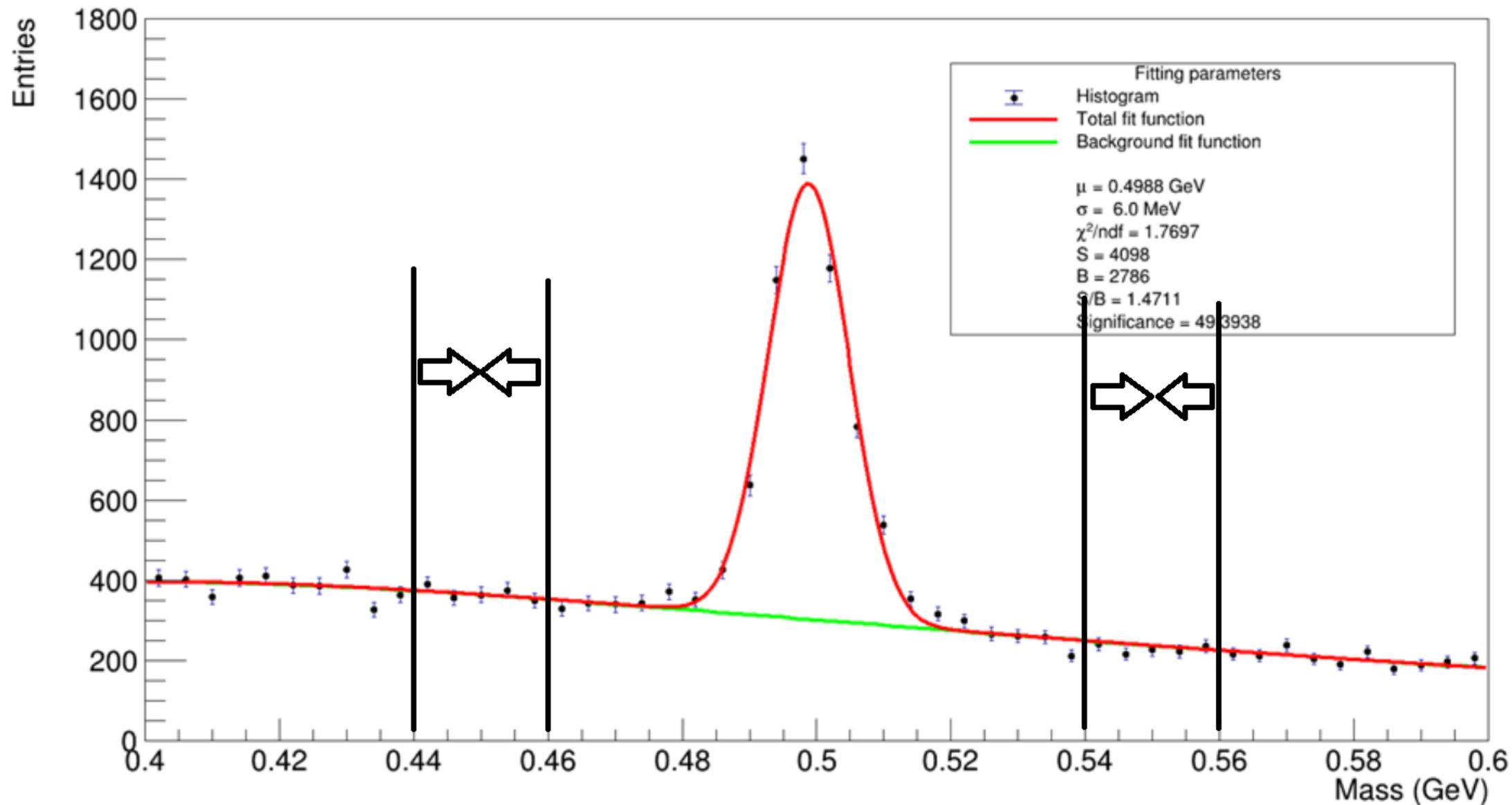
Результаты

Анализ по фону



Результаты

Анализ по фону

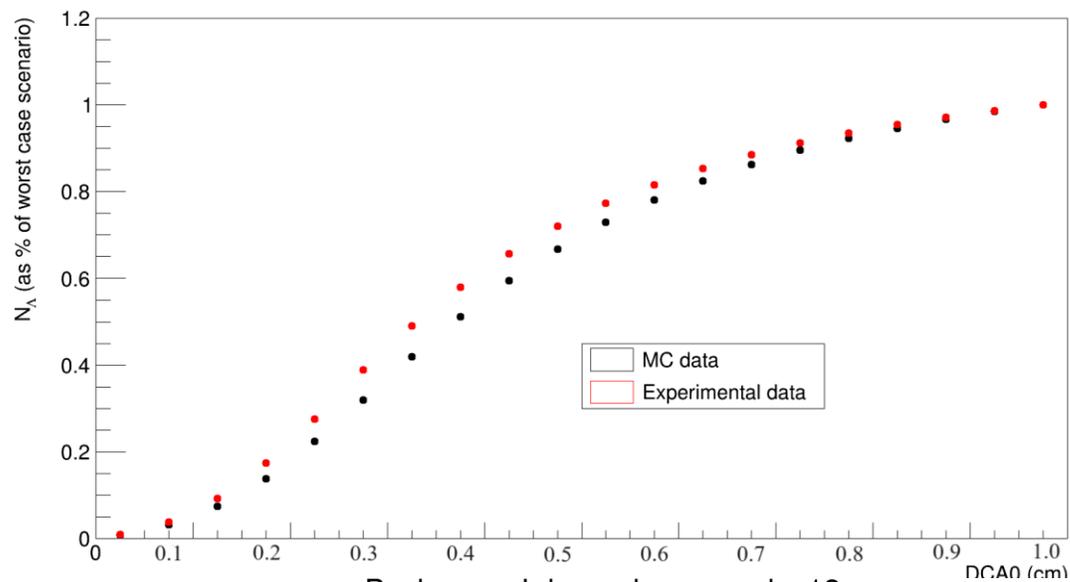


Результаты

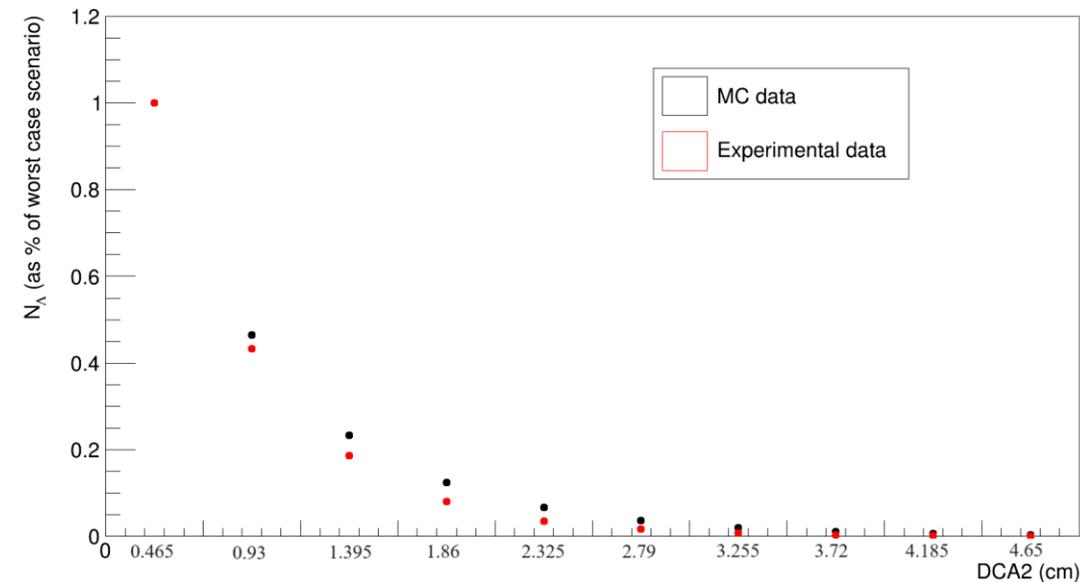
Анализ по фону для различных геометрических ограничений

Λ : интервал 1.09 – 1.1 ГэВ

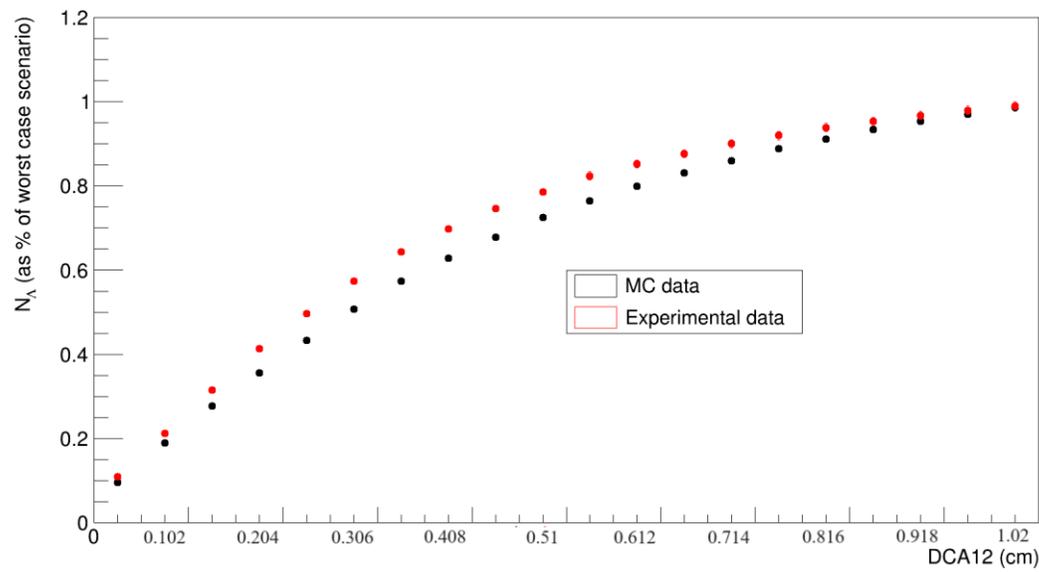
Background dependence on dca0



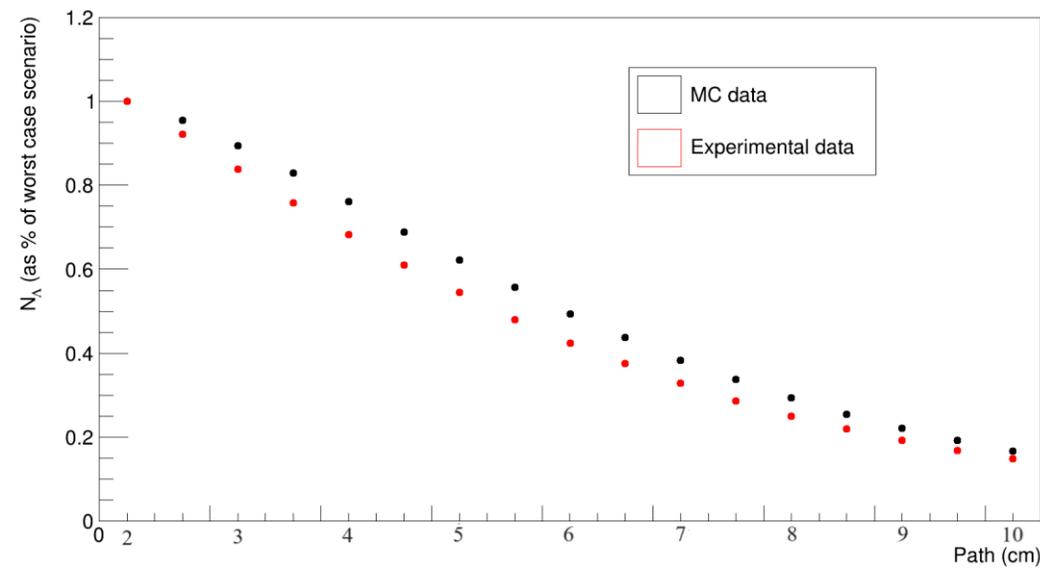
Background dependence on dca2



Background dependence on dca12



Background dependence on path

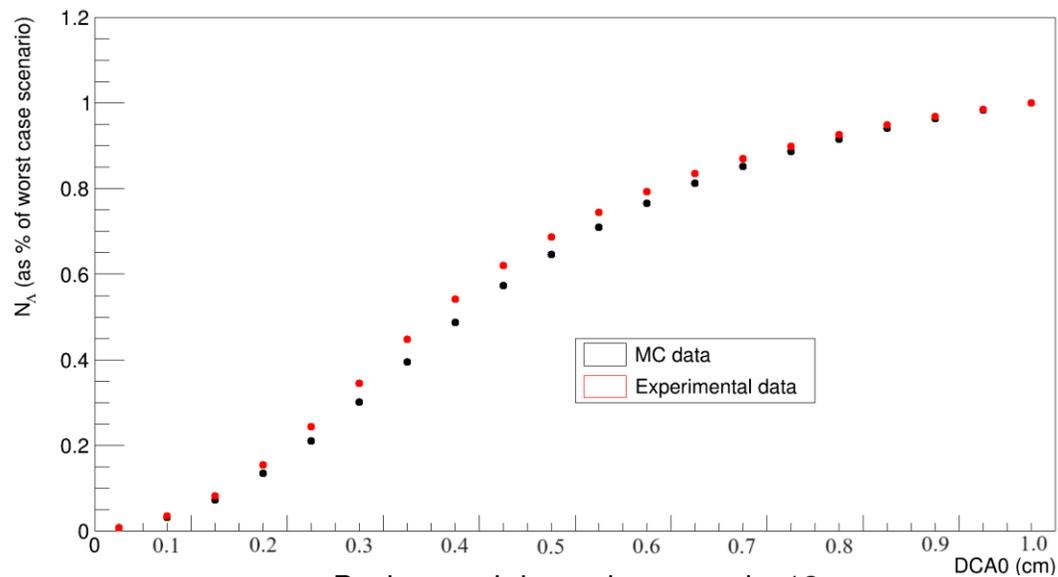


Результаты

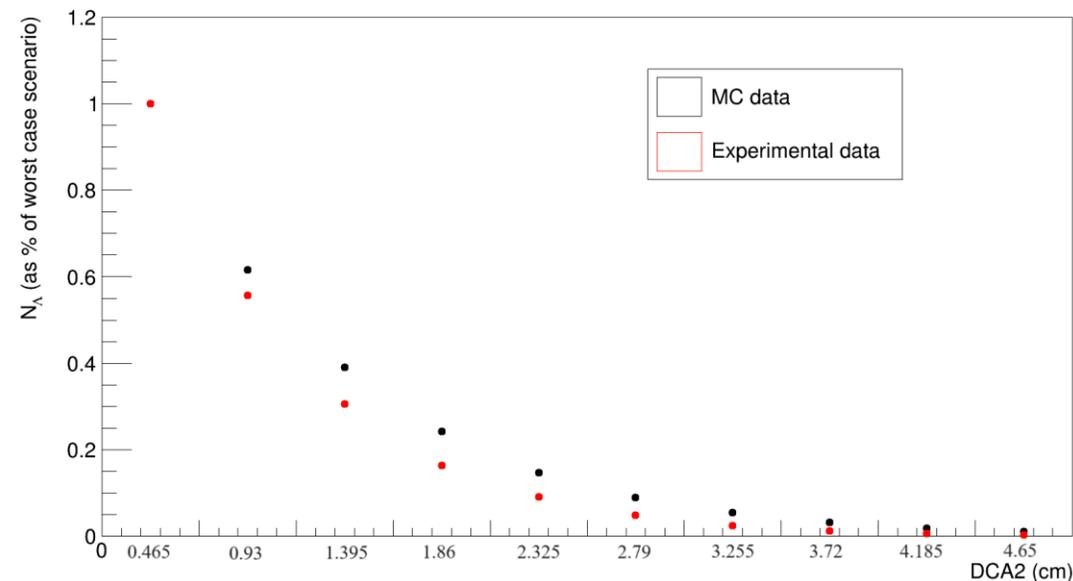
Анализ по фону для различных геометрических ограничений

Λ: интервал 1.13 – 1.14 ГэВ

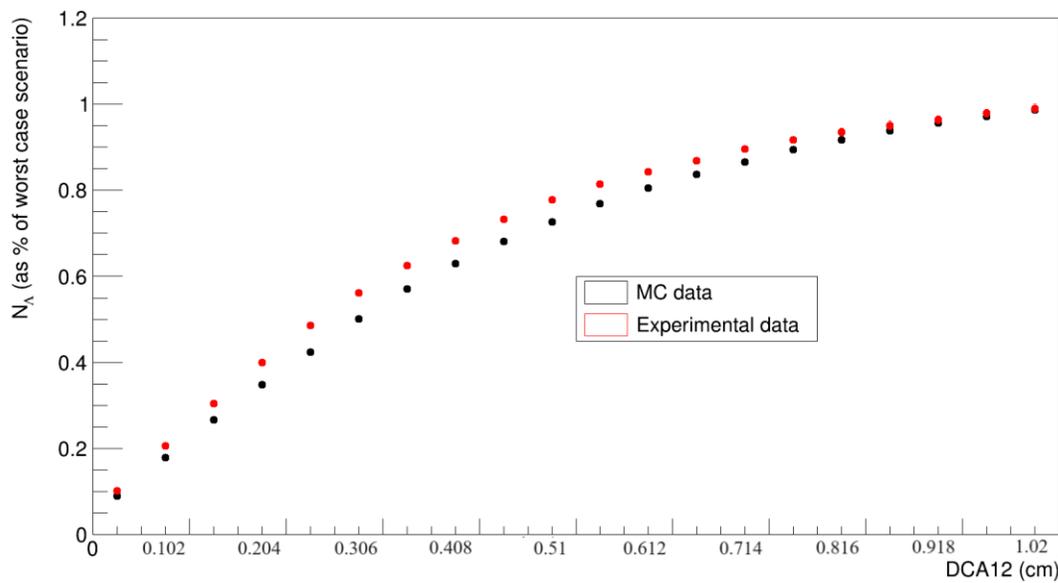
Background dependence on dca0



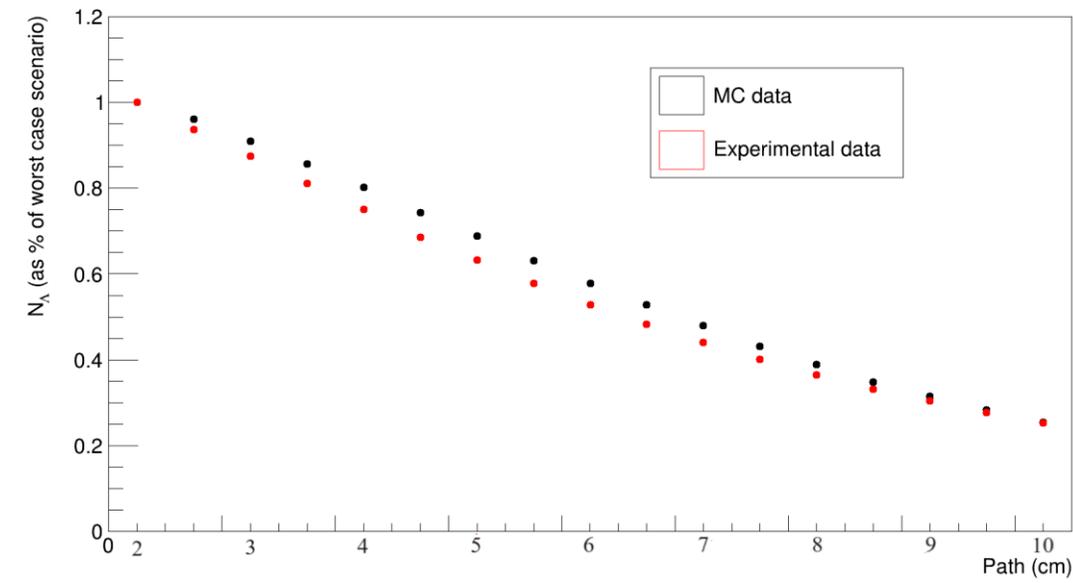
Background dependence on dca2



Background dependence on dca12



Background dependence on path

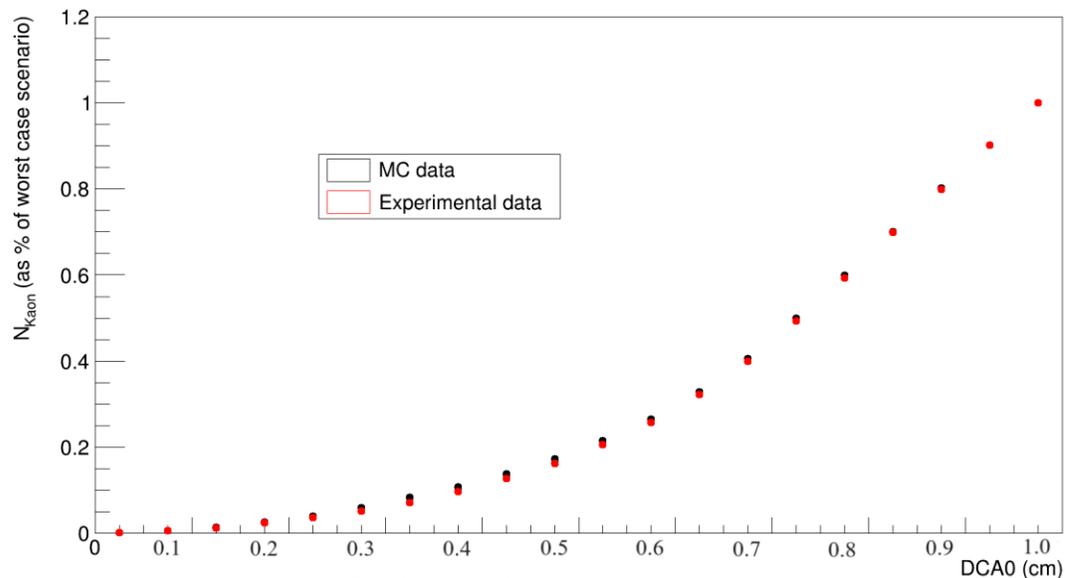


Результаты

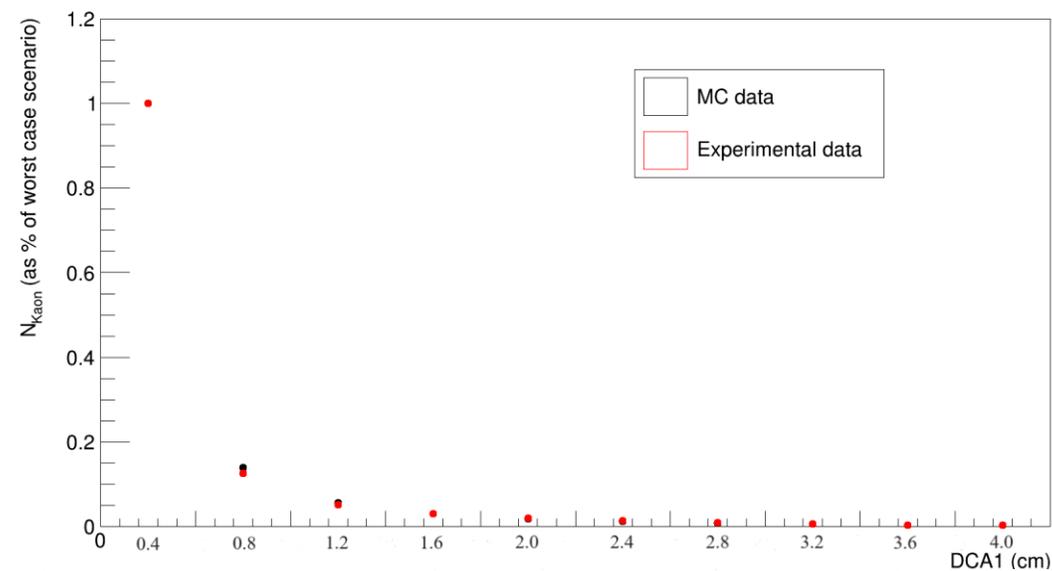
Анализ по фону для различных геометрических ограничений

K_S^0 : интервал 0.44 – 0.46 ГэВ

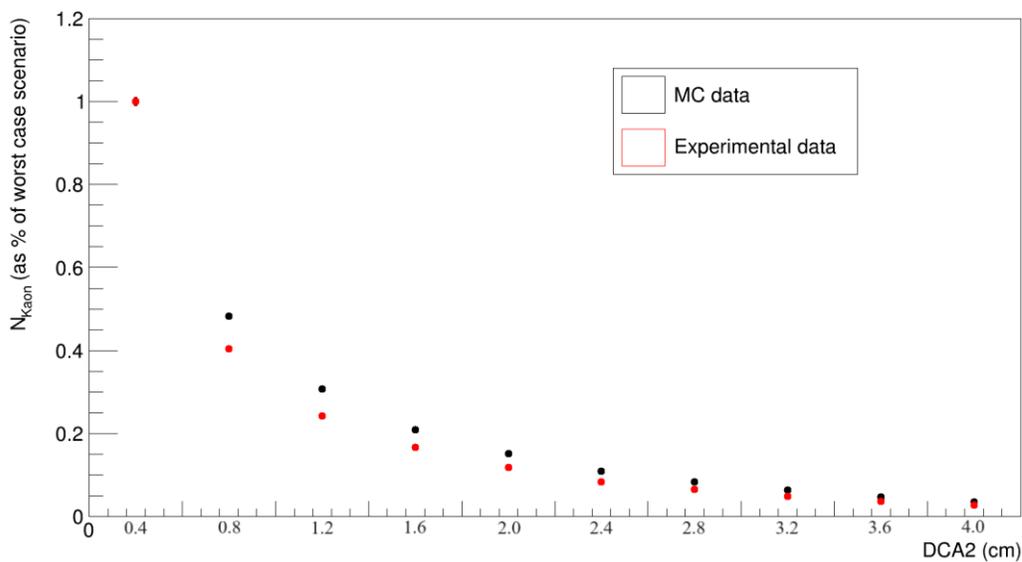
Background dependence on dca0



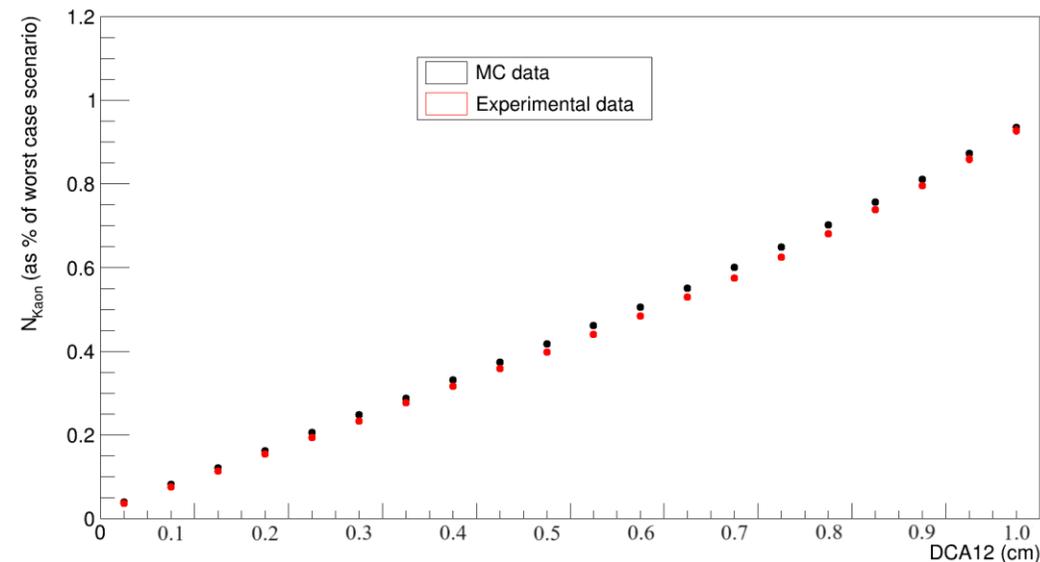
Background dependence on dca1



Background dependence on dca2



Background dependence on dca12

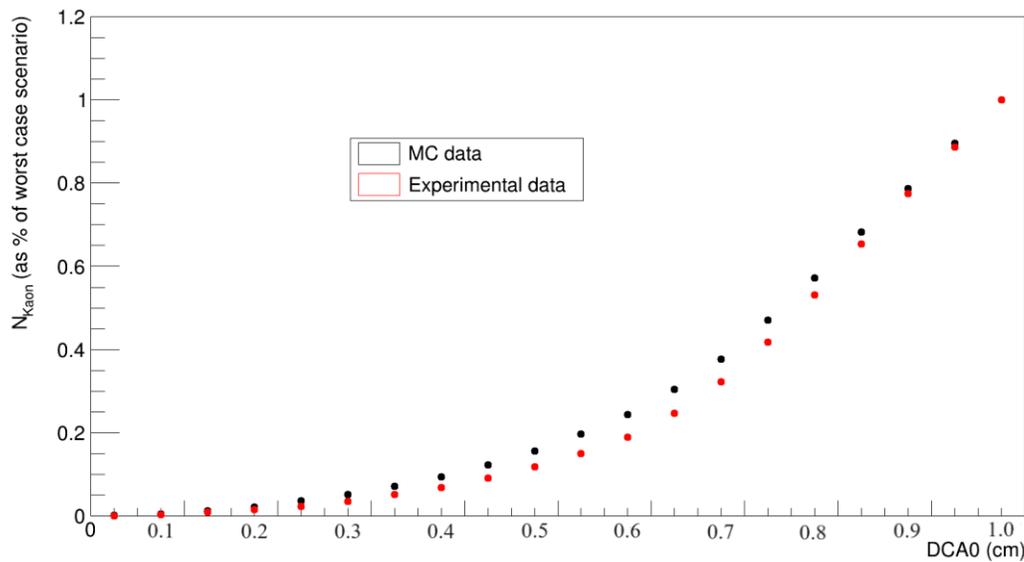


Результаты

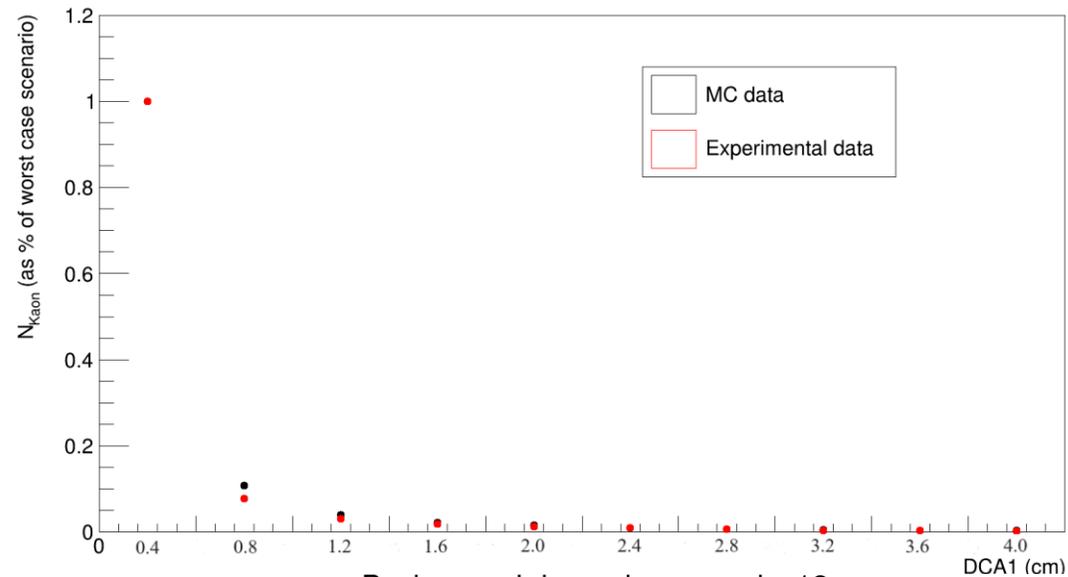
Анализ по фону для различных геометрических ограничений

K_S^0 : интервал 0.54 – 0.56 ГэВ

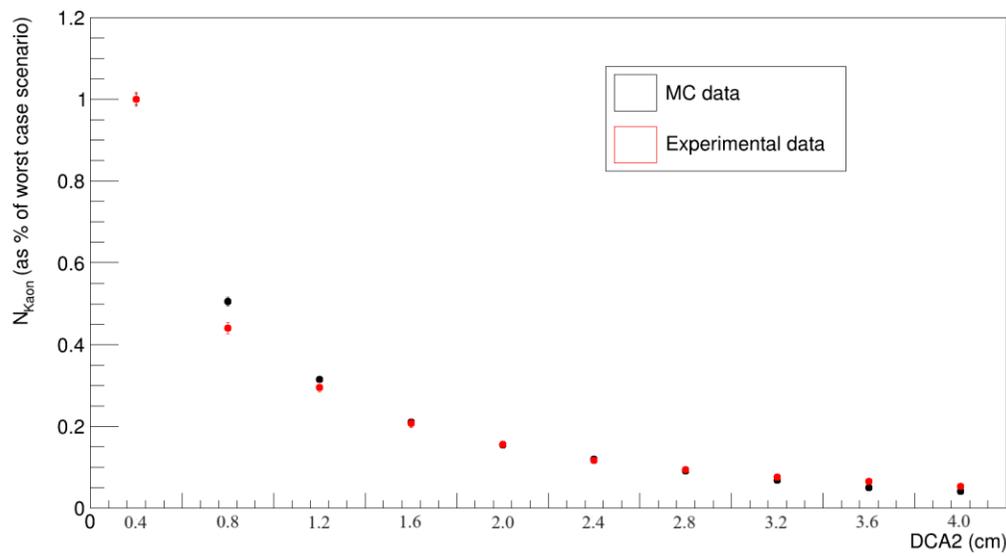
Background dependence on dca0



Background dependence on dca1



Background dependence on dca2



Background dependence on dca12

