



Геометрические критерии рождения частиц в релятивистских столкновениях



Пономарева А.В.,
Балдин А.А.

Летняя школа фонда "Базис"-2026 г.

Понятия кривизн на гиперболической конфигурации



1. Гиперболический модуль (module):

$$\text{module} = \frac{\sinh(h_2)}{\sin(a_2)}, \quad (1)$$

Это безразмерный параметр, характеризующий "отношение размера к высоте" в гиперболической геометрии. Аналог масштаба.

2. Эффективная гауссова кривизна (K):

$$K = \frac{\sum \alpha_i - \pi}{\text{module}}, \quad (1.2)$$

3. Эффективная средняя кривизна (H):

$$H = \frac{1}{3} \frac{\sum \sinh(h_i)}{\sum \sinh(a_i)}, \quad (1.3)$$

4. Главные кривизны $k_{1,2}$:

$$k_{1,2} = H \pm \sqrt{|H^2 - K|} \quad (1.4)$$

5. Критический угол ν :

$$\nu = \arccos\left(\frac{1}{1 + \delta}\right), \delta = \sqrt{\left|\frac{k_2}{k_1}\right|}, k_1 > k_2 \quad (1.5)$$

Для поверхности с угловой точкой существует критическое значение внутреннего угла ν , определяющее границу устойчивости.

Угол параллельности — это угол между перпендикуляром к данной прямой и лучом, параллельным другой прямой, проведённой из той же точки. В геометрии Лобачевского он зависит от длины перпендикуляра

$$\Pi_L(h) = 2 \cdot \operatorname{arctg}(e^{-h}) \quad (1.6)$$

Обозначения:

alf3 – угол при частице 3

alf2 - угол при частице 2

alf1 - угол при частице 1

a1 - сторона треугольника 1-2

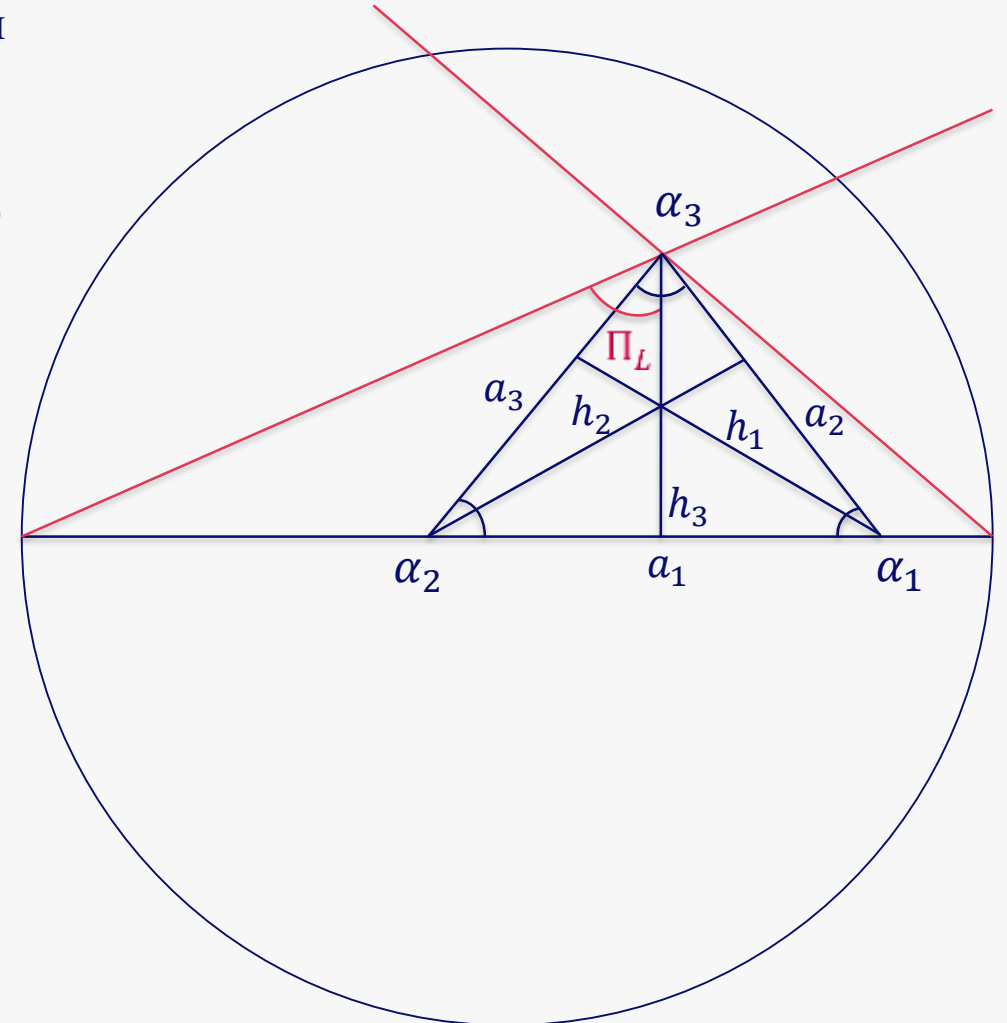
a2 - сторона треугольника 1-3

a3 - сторона треугольника 2-3

h1 - высота из вершины 1 (налетающ.)

h2 - высота из вершины 2 (мишень)

h3 - высота из вершины 3 (вторичная)



Параметр Балдина



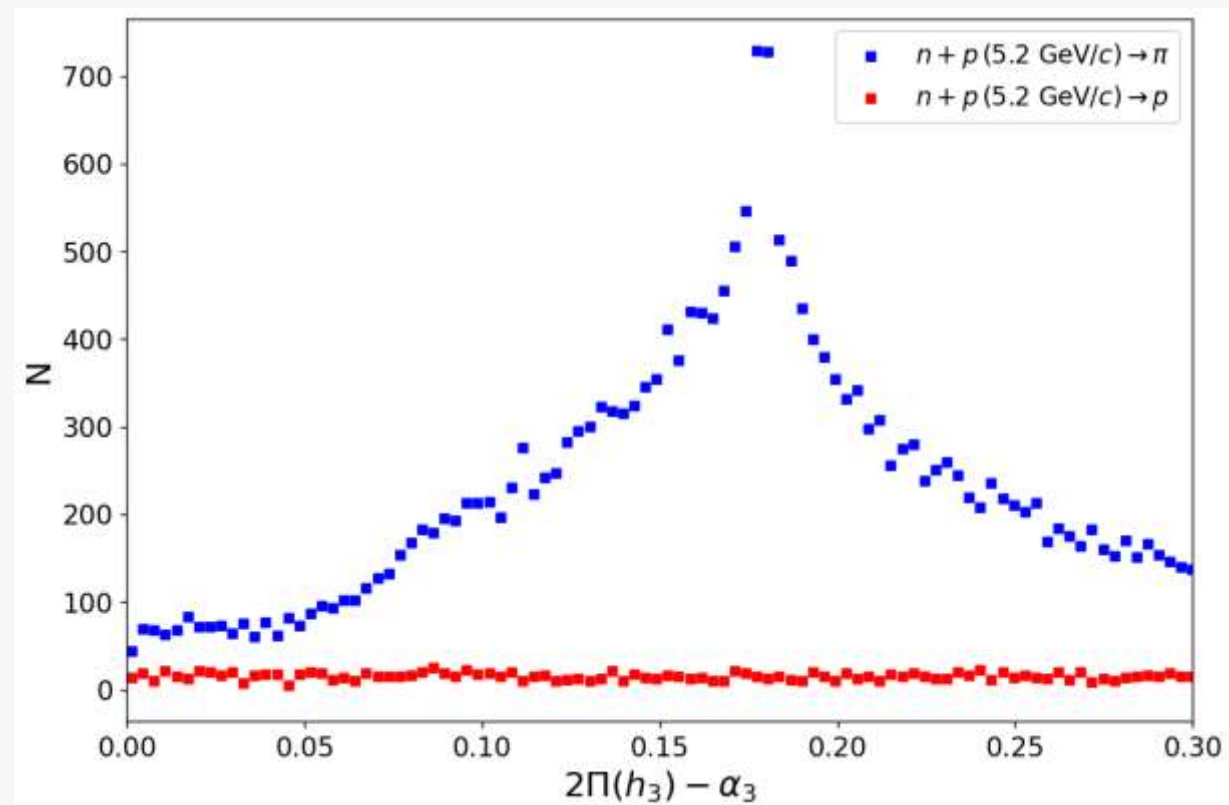
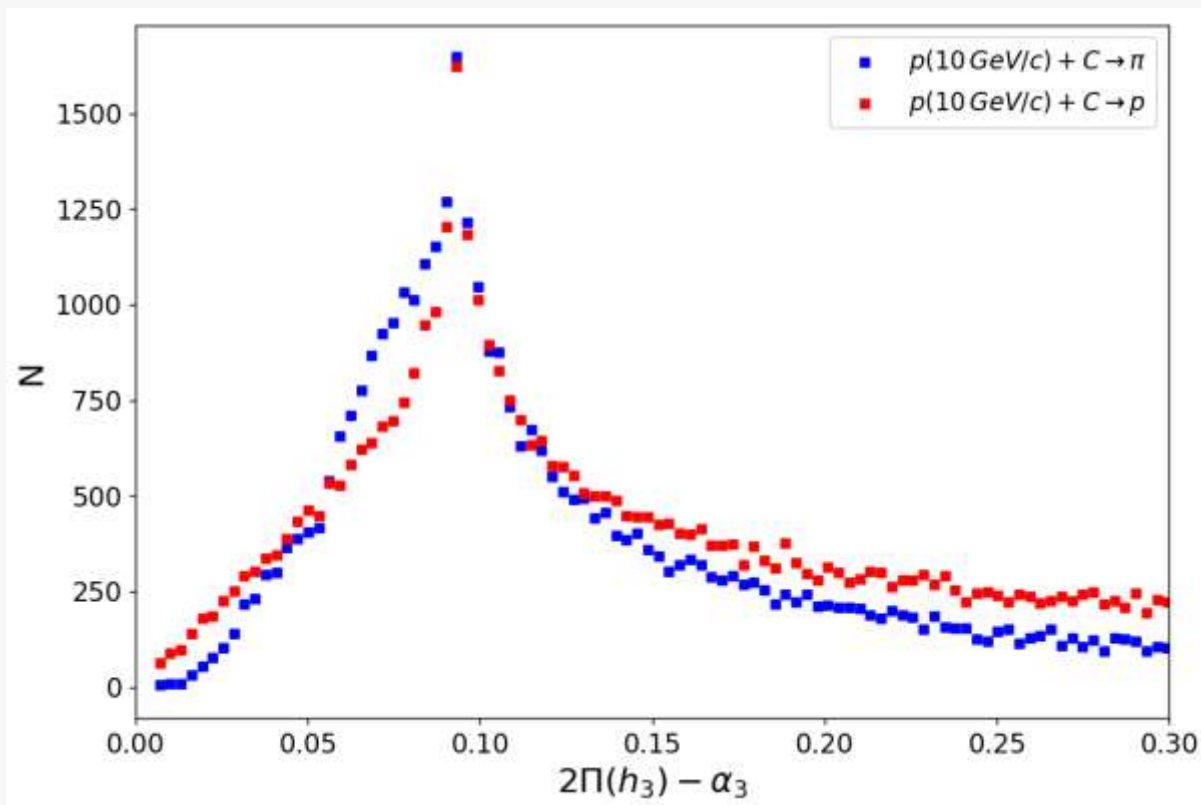
В ходе исследования было изучено распределение параметра Балдина

$$\Delta_{12}^3 = 2\Pi(h_3) - \alpha_3.$$

Для полного массива событий наблюдается выраженный максимум распределения:

$\Delta_{12}^3 \approx 0.0943$ для реакции $p + C$,

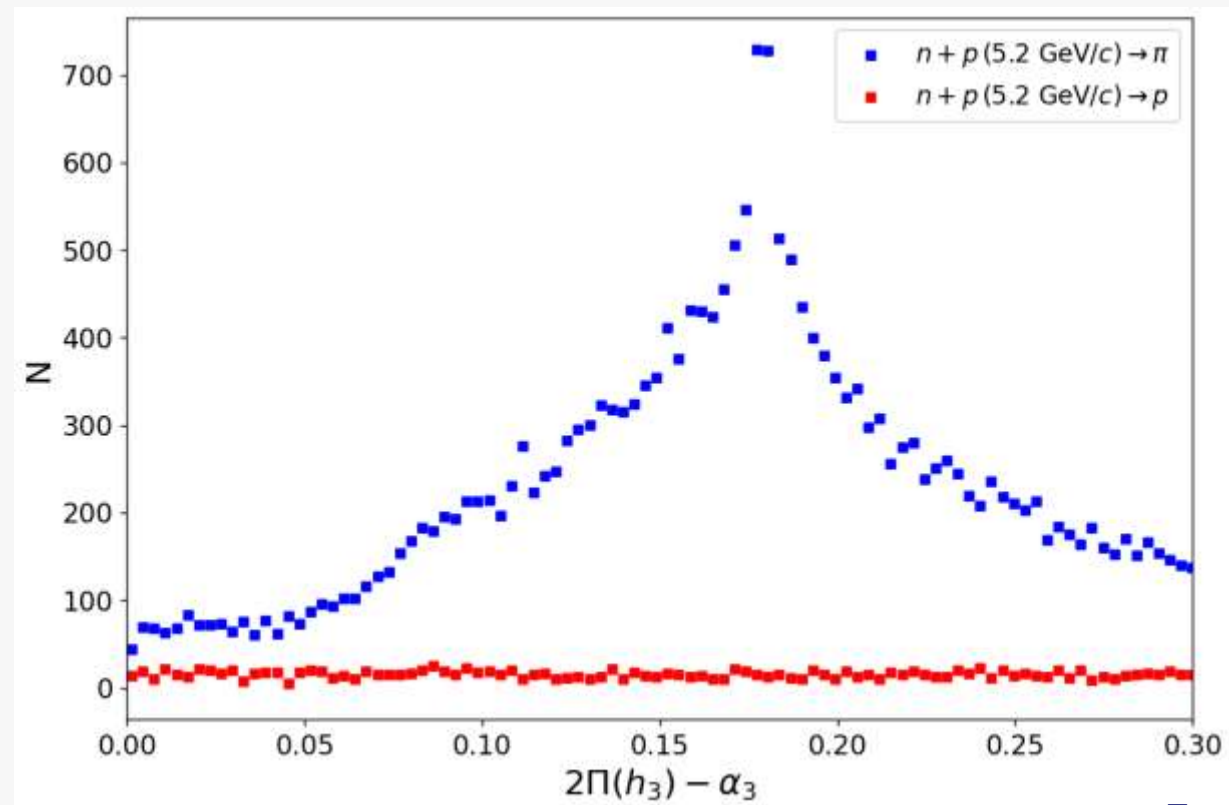
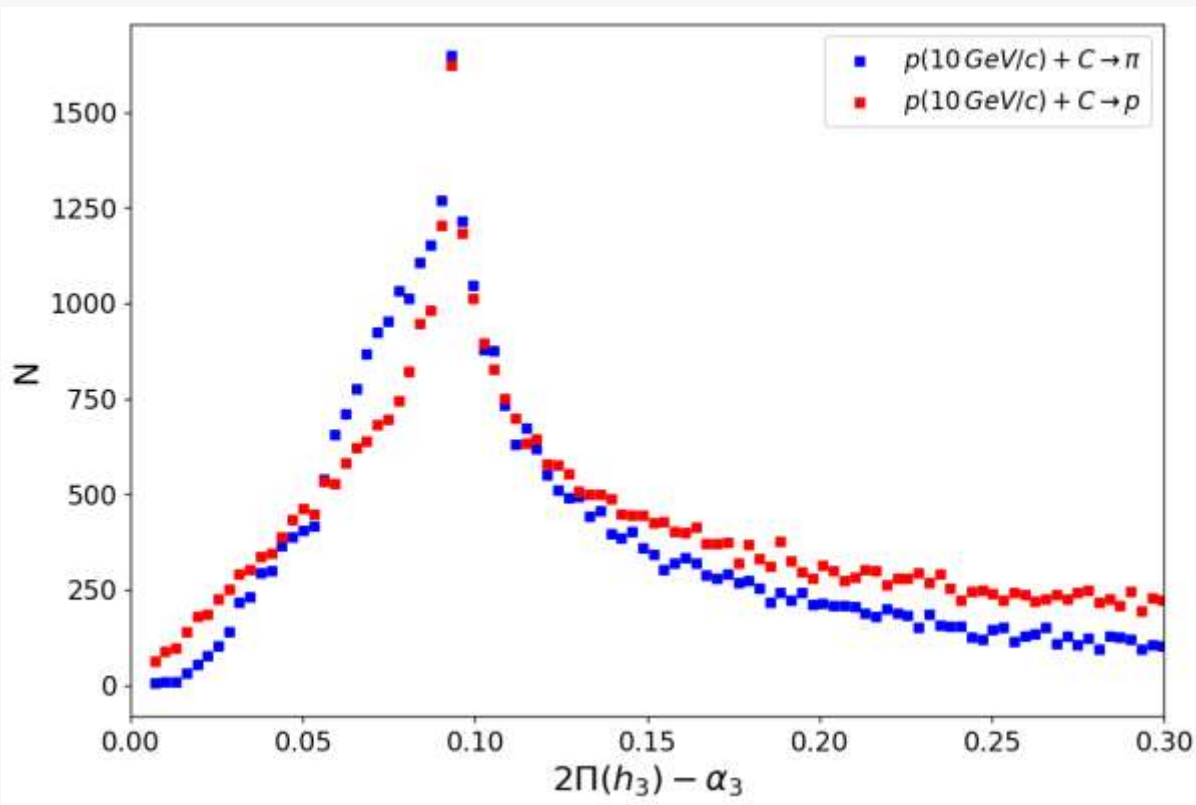
$\Delta_{12}^3 \approx 0.1696$ для реакции $n + p$.



Параметр Балдина



Именно в области максимума Δ_{12}^3 наблюдается наибольшее сближение геометрических характеристик пионов и протонов. Несмотря на различие масс частиц, их внутренние геометрические параметры становятся наиболее близкими именно в данной области пространства быстрот. Это позволяет предположить, что пик параметра Балдина соответствует особому геометрическому режиму, в котором свойства конечного состояния определяются прежде всего геометрией пространства относительных быстрот, а не видом зарегистрированной частицы.



Геометрическая структура событий в области максимума Δ_{12}^3



Анализ показал, что при энергии 10 ГэВ среди этих событий появляются практически идеальные равносторонние гиперболические треугольники. Для лучших конфигураций различие между длинами сторон составляет лишь тысячные доли, а коэффициент близости к равностороннему треугольнику достигает 0.999. Это означает, что локальная геометрия пространства быстрот максимально приближается к идеальной геометрии Лобачевского.

a1	a2	a3	ν	Δ_{12}^3	score
3.061951	3.062157	3.059253	0.694320	0.039582	0.999482
3.061951	3.049890	3.053258	0.694494	0.039927	0.996928

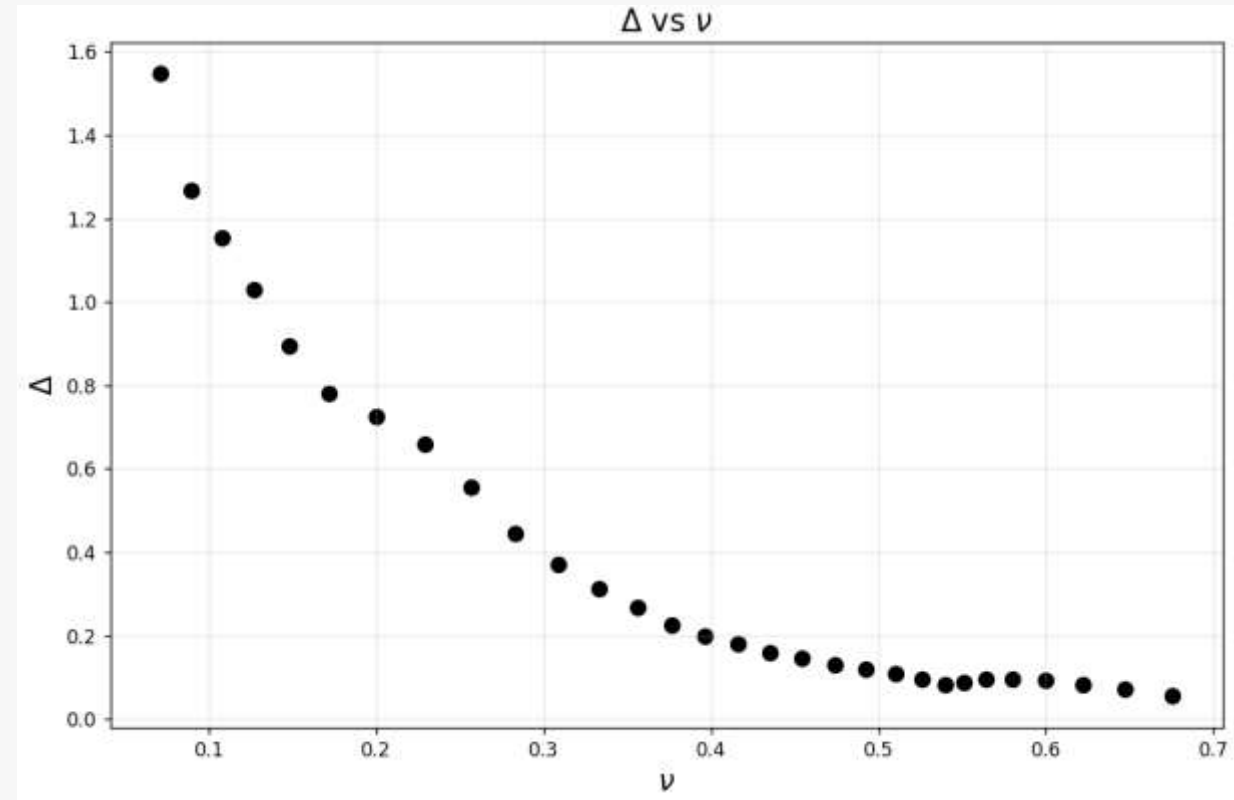
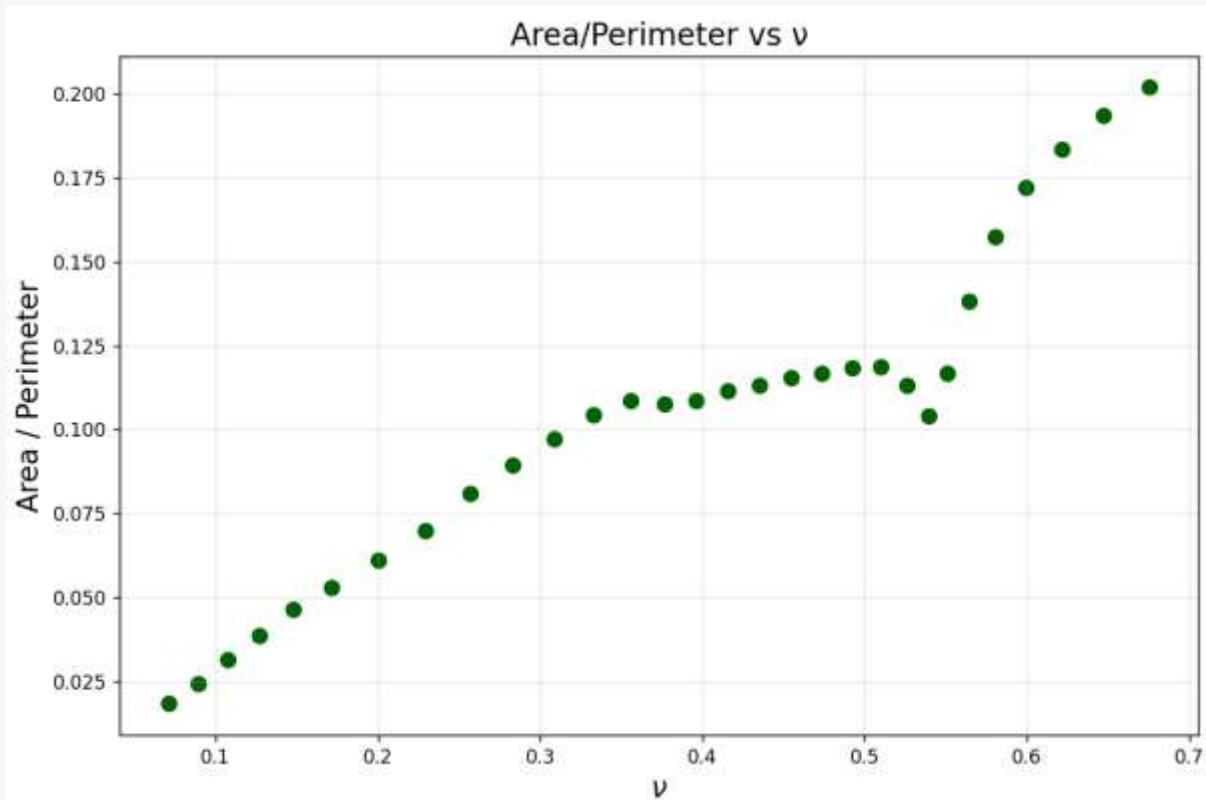
Аналогичные почти равносторонние конфигурации были обнаружены и при энергии 5.2 ГэВ, что показывает: само существование таких треугольников не является уникальной особенностью одной энергии.

a1	a2	a3	ν	Δ_{12}^3	score
2.41355	2.42424	2.42547	0.709900	0.101165	0.996683
2.41355	2.40242	2.41386	0.71007	0.102709	0.995904

Геометрическая структура событий в области максимума Δ_{12}^3



Дополнительный статистический анализ ансамбля гиперболических треугольников выявил существование характерной области $\nu \approx 0.55\text{--}0.56$, после которой начинается постепенное уменьшение разброса длин сторон и формирование всё более симметричных конфигураций. Такая картина позволяет предположить существование характерного геометрического порога, разделяющего два режима формирования конечного состояния.



1. Параметр Балдина характеризует не тип зарегистрированных частиц, а выделенную геометрическую область пространства относительных быстрот, связывающую начальное и конечное состояния реакции.
2. Максимум распределения параметра Δ_{12}^3 соответствует области с особыми геометрическими свойствами. Для этой области характерны повышенные значения параметра ν , что свидетельствует о существовании выделенного режима формирования конечного состояния.
3. Полученные результаты позволяют предположить существование выделенной области энергий порядка 10 ГэВ, в которой гиперболическая геометрия пространства относительных быстрот наиболее близка к идеальной геометрии Лобачевского. Проверка сохранения или исчезновения этой закономерности при более высоких энергиях представляет самостоятельный экспериментальный интерес и может стать одним из направлений дальнейших исследований на коллайдере **NICA**.



Спасибо за внимание!