

Лобачевскийн огторгуй дахь релятив цөмийн мөргөлдөлтийн туршилтын өгөгдөлд хийсэн
анализ

А.А. Балдин, Э.Г.Валдина, Э.Н. Кладницкая, О.В. Рогачевски

Цөмийн судалгааны нэгдсэн институт, Дубна

Релятив цөмийн мөргөлдөлтийг релятив 4-н хурд ба хурдцын огторгуйн (Лобачевскийн огторгуй) онцлогийг ашиглан авч үзсэн. Лобачевскийн огторгуй дахь геометр харьцаа ба хэмжигдэхүйц (туршилтаар тодорхойлогдсон) кинематик характеристикиуд (хөндлөн импульс, дагуу хурдац, релятив 4-н хурдны квадрат b_{ik} гэх мэт)-ын хоорондох холбоог нь тайлбарладаг. Пропант хөөст камерыг ашиглан тодорхойлсон туршилтын өгөгдөл нь Лобачевскийн огторгуй дахь үндсэн гурвалжингаар шинжлэн судалсан. Релятив инвариант түгэлтүүдийн ерөнхий шинж чанарууд нь Лобачевскийн огторгуй дахь бөөмсийн геометр байрлалаар тодорхойлогдож тайлбарлагддаг. Шилжилтийн энергийн мужийг олон бөөмс үүсэлтийн үндсэн релятив хандлагаар авч үздэг. Туршилт-судалгааг төлөвлөхөд зориулан тодорхойлсон үр дүнгүүдийн боломжит хэрэглээнүүд ба олон бөөмс үүсэх өгөгдлийн анализийг тайлбарлалаа.

Relativistic nuclear collisions are considered in terms of relative 4-velocity and rapidity space (the Lobachevsky space). The connection between geometric relations in the Lobachevsky space and measurable (experimentally determined) kinematic characteristics (transverse momentum, longitudinal rapidity, square relative 4-velocity b_{ik} , etc.) is discussed. The experimental data obtained using the propane bubble chamber are analyzed on the basis of triangulation in the Lobachevsky space. General properties of relativistic invariants distributions characterizing the geometric position of particles in the Lobachevsky space are discussed. The transition energy region is considered on the basis of relativistic approach to experimental data on multiparticle processes. Possible applications of the obtained results for planning of experimental research and analysis of data on multiple particle production are discussed.

Проводится рассмотрение релятивистских ядерных столкновений с использованием свойств пространства относительных 4-скоростей и пространства быстрот (пространства Лобачевского). Рассматривается связь между геометрическими соотношениями в пространстве Лобачевского и измеряемыми (определяемыми из эксперимента) кинематическими характеристиками (поперечный импульс, продольная быстрота, квадрат относительной 4-скорости b_{ik} и др.). Экспериментальные данные, полученные при помощи пропановой пузырьковой камеры, анализируются на основе триангуляции в пространстве Лобачевского. Обсуждаются общие свойства распределений частиц в релятивистски-инвариантных переменных, характеризующих геометрическое расположение частиц в пространстве Лобачевского. На основе релятивистского рассмотрения экспериментальных данных по множественным процессам обсуждается переходная область энергий. Обсуждаются возможности применения полученных результатов для планирования экспериментальных исследований и анализа данных по множественному рождению частиц.

Удиртгал

Байгалийн энгийн хуулийг нээх гэж буй шалтгаан нь суурь шинжлэх ухааны үндсэн зарчимуудын нэгнийх нь дэвшилтэт (progressive) үүргийг гүйцэтгэх үзэгдлийн өргөн цар хүрээг тодорхойлох юм. Онолуудыг зохион бүтээх чухал алхамуудын нэг нь ажигласан үзэгдэлийн тайлбарт зориулсан хувьсагчуудын олонлогийн сонголт. Энэ өгүүлэлд релятив бөөмсийн мөргөлдөлтийн анализад ашигласан хувьсагчдыг тайлбарлахад онцгой анхаарал хандуулсан.

Цөмийн харилцан үйлчлэлийн онол нь одоогийн байдлаар бүрэн төгөлдөржилтөөс арай хол байна. Ялангуяа, үүнийг феноминолог загваруудын цогц ба боломжтой туршилтын өгөгдөлд тайлбарлах хандлагуудыг илэрхийлдэг. Биднийхээр цөмийн материйн онолын тайлбарын үүднээс бол ихэнх бэрхшээл нь цөмийн протон-нейтроны загвар ба кварк-глюоны дотоод чөлөөний зэргээр цочирогдсон муж хоорондох шилжилт юм.

Одоогоор хамгийн чухал асуудлуудын нэг нь 1994 онд шинжлэн судлаач С. Нагамиагийн гавьяагаар томъёологдож байсан адронуудыг тодорхойлоогүй үлдээсэн нөхцөлүүдийн тодорхойлолт ба гол үүргийг гүйцэтгэж эхлэх кваркийн чөлөөний зэрэг юм. А.М. Балдин <<эгэл бөөм>>-ийн хэрэглээний тэмдэглэгээний ангилалд танилцуулсан үндсэн хувьсагч b_{ik} (авч үзэж буй объектуудын хоорондох релятив 4-н хэмжээст хурдны квадрат) [1]-ыг дээрх асуудлын хариулт байдлаар танилцуулсан.

4-н хурдны (4-н хэмжээст хурдыг цаашид ингэж товчлов) огторгуйн шинж чанаруудын судалгааны нэг боломж нь бөөмийн түгэлтүүдийн ерөнхий үүргийг томъёолох, олон бөөм үүсэх анализийн релятив инвариант аргуудыг хөгжүүлэх ба релятив мөргөлдөлтийн загваруудын бодит хязгаарлалтын тоог ноогдуулах юм. Урт-хугацааны судалгаа (жишээ нь, [10-12]) нь физикт Лобачевскийн геометрийг хэрэглэхэд зориулагдсан.

1. Харьцангуй 4-н хурдны огторгуй. Бөөмийн түгэлтүүдийн ерөнхий шинжүүд

Цөмийн урвалуудыг судалж байх үед туршилтаар тодорхойлогдсон хэмжигдэхүүнүүд нь импульс, өнцөг, бүртгэгдсэн бөөмийн төрөл, мөргөлдөлтийн энерги, урвалын хөндлөн огтлол ба тэдгээрийн уламжлалууд юм.

Релятив инвариант хэмжигдэхүйц скаляр хэмжигдэхүүн $\frac{P_i P_j}{m_i m_j}$, энд P_i, P_j бол i ба j

бөөмсийн 4-н импульс бөгөөд m_i, m_j нь тэдгээр бөөмсийн масс, энэ нь инвариант масс, хурдац ρ , релятив 4-н хурдны квадрат b_{ik} ба инвариант хөндлөн огтлолын тодорхойлолтын үндэс суурь болдог. Хурдац ρ нь хэмжээст огторгуй буюу Лобачевскийн огторгуйд томъёологддог. Энэ огторгуйн шинж чанаруудын судалгаа нь 4-хэмжээст энерги-импульсийн огторгуй ба бодит туршилтын 3-н хэмжээст Евклидийн огторгуйн хоорондох хамаарлын ойлголтонд чухал.

Хэмжигдэхүйц хэмжигдэхүүнүүдээр тодорхойлогддог инвариант хувьсагч бол бөөмийн 4-н хурд:

$$U = \{U^0; \mathbf{U}\}, \quad (1)$$

энд $U^0 = \frac{E}{m}$, $\mathbf{U} = \frac{\mathbf{p}}{m}$. E бол нийт энерги, \mathbf{p} нь 3-н хэмжээст импульс ба m нь бөөмийн масс.

3-н хэмжээст Лобачевскийн огторгуй нь 4-н хэмжээст хурдны огторгуйтай холбоотой бөгөөд хурдны 4-р байгуулагчаар илэрхийлэгддэг. Хамгийн эхний гурав нь:

$$U^0 = \pm \sqrt{1 + U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}. \quad (2)$$

3-н хэмжээст хурдцын огторгуй нь Лобачевскийн геометр нь хоёр-гадаргуйт гиперболойдын дээд гадаргуйгаар тодорхойлогддог (3). 4-н хурдны байгуулагчууд ба хурдцын хоорондох хамаарал нь дараахаар илэрхийлэгддэг:

$$U^0 = \text{ch } \rho; |\mathbf{U}| = \text{sh } \rho. \quad (3)$$

Тэгэхээр, бөөмийн энерги, импульс ба массийн хоорондох хамаарал $E^2 - \mathbf{p}^2 = m^2$ нь хурдцын огторгуйд дараахаар томъёологддог:

$$(\text{ch } \rho)^2 - (\text{sh } \rho)^2 = 1.$$

Лабораторийн систем дэх бөөмийн хурдцыг хэмжигддэг параметруудээр илэрхийлж болно:

$$\rho = \frac{1}{2} \ln \frac{E + |\mathbf{p}|}{E - |\mathbf{p}|}. \quad (4)$$

Инвариант хувьсагч b_{ik} [1] нь дараахаар тодорхойлогддог

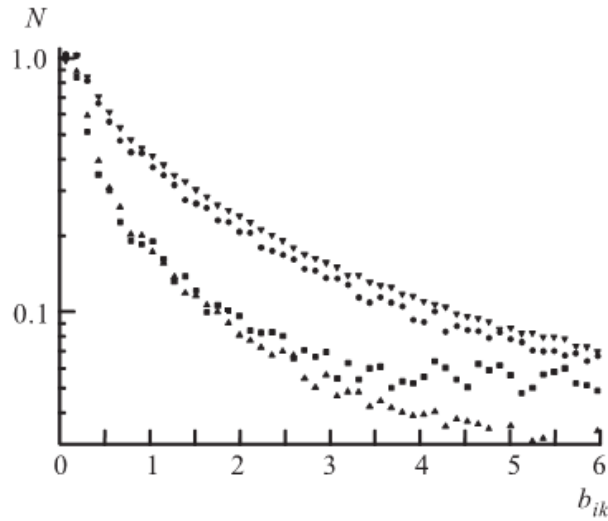
$$b_{ik} = -(U_i - U_k)^2 = 2[(U_i U_k) - 1] = 2 \left[\frac{E_i E_k - \mathbf{p}_i \mathbf{p}_k}{m_i m_k} - 1 \right]. \quad (5)$$

b_{ik} хувьсагч ба хурдцын хоорондох хамаарал нь:

$$b_{ik} = 2[(U_i U_k) - 1] = 2[\text{ch } \rho_{ik} - 1]. \quad (6)$$

Релятив цөмийн материйг 4.2 ГэВ/с бүхий p , d , He, C-ийн багцаар шарсан харилцан үйлчлэлд пропант хөөс камерыг ашиглан тодорхойлсон өгөгдөлд хувьсагч b_{ik} -г бөөмийн түгэлтүүдээр авч үзлээ [2]. 2 метрийн пропант хөөст камер [5] дээр ажиллаж байсан судалгааны хамтын ажиллагаа [3, 4]-гаар туршилтын өгөгдлийг гаргаж авсан. Зураг 1-д C+Ta, He+Ta, d +Ta, p +Ta урвалуудад бүртгэгдсэн бөөмс болох протонууд ба π мезонуудын хосуудын харьцангуй 4-н хурдны нормчилсон түгэлтүүдийг үзүүлээ. Энд бүх дөрвөн урвалуудын түгэлтүүдийн шинжийг адилханаар харуулсан. Эндээс харьцангуй 4-н хурд нь бөөмийн тооноос хязгааргүй утга өгдөг нөхцөл “туйл”-ын ойролцоо огцом экспоненциалаар өсөж байгааг харж болно. Туйлын ойролцооллын томьёоны хэлбэр

$$\frac{d\sigma}{sN} \approx \frac{C}{(b_{ik} + \alpha)^2}, \quad (7)$$



Зураг 1. C+Ta (\blacktriangledown), He+Ta (\bullet), d +Ta (\blacktriangle), p +Ta (\blacksquare) урвалуудад бүртгэгдсэн бөөмсийн хосууд (p - p , p - π ба π - π)-ын 4-н харьцангуй хурдны нормчилсон түгэлт.

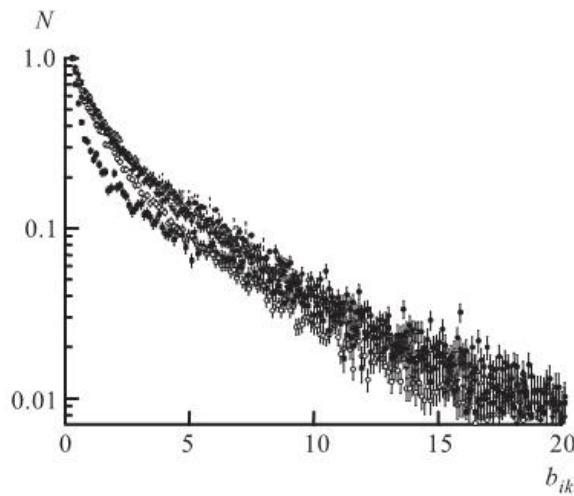
Энд $\alpha \approx 0.002$, үүнийг фрагментацийн процесс [1]-ийн хөндлөн огтлолд зориулж хамгийн анх удаа тооцоолсон.

Туршилтаар b_{ik} түгэлтүүдийн шинжийн өөрчлөлтийг туйлын мужаас экспонент ба зэргэн функцээр өөрчилж, А.М. Балдин [6] эгэл бөөмийн харилцан үйлчлэлийг дараах ангиллаар дүрсэлсэн:

- $0 \leq b_{ik} \leq 10^{-2}$ муж релятив биш цөмийн физиктэй холбоотой, энд нуклонуудыг цэгэн объектууд мэтээр авч үздэг.
- $b_{ik} \sim 1$ муж адронуудын өдөөгдсөн дотоод чөлөөний зэрэгтэй холбоотой.
- $b_{ik} \gg 1$ квант хромодинамикаар тайлбарлагдсан, зарчим биелэгдэж байх ёстой.

Олон тооны хэвлэлүүд нь (жишээ нь, [6, 7]-г үзээрэй) b_{ik} -аар бөөмийн түгэлтүүдийн судалгаа ба эдгээр түгэлтүүдийн ерөнхий шинж чанарын анализ, тухайлбал корреляци устгах зарчим зэргийг шийдвэрлэдэг.

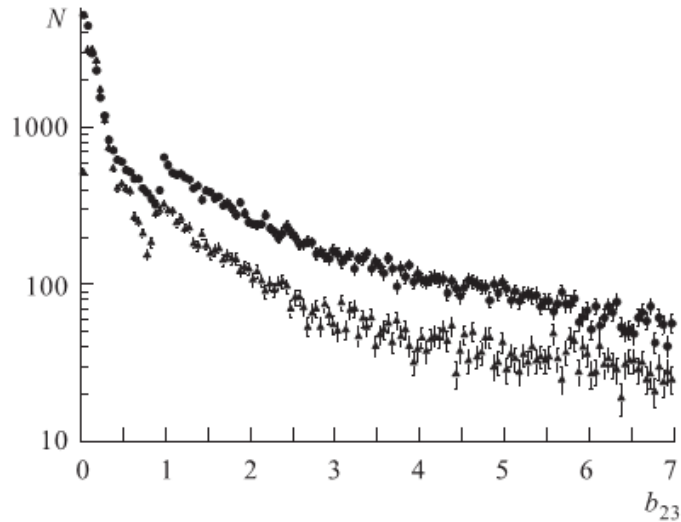
Судлаачид b_{ik} түгэлтүүдийн анализийг хийж, эдгээр түгэлтүүдийн хэлбэр тохиолдол дахь бөөмсийн олонлогоос хамаарахгүй болохыг үзүүлсэн. Зураг 2-д ангилсан таван бүлэг рүү сонгогдсон тохиолдлуудын C+Ta урвалд духь протонууд ба π мезонуудын хосуудын бүх комбинацийн харьцангуй 4-н хурдны түгэлтүүдийг үзүүлсэн. Тухайн 5 бүлэг нь: 16-20, 26-30, 36-40, 46-50, ба 56-60 бөөмүүдийн интервал дахь олонлог.



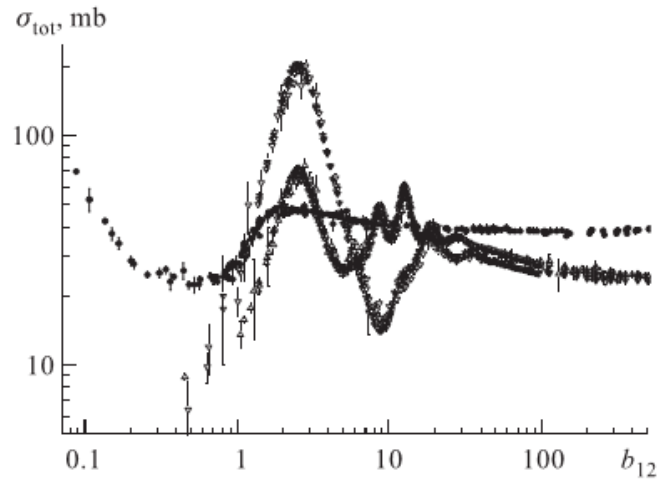
Зураг 2. Таван бүлэгт сонгогдсон тохиолдлууд (16-20 (■), 26-30 (●), 36-40 (Δ), 46-50 (▼), 56-60 (○) бөөмүүдийн интервал дахь олонлог)-ын C+Ta урвалд бүртгэгдсэн бөөмсийн хосууд (p - p , p - π ба π - π)-ын харьцангуй 4-н хурдны нормчилсон түгэлтүүд.

Мезоны олонлогийн үүсэлтийн инклюзив хөндлөн огтлолоос хамааралгүйг зохиогчид [8]-д тэмдэглсэн хэлсэн. Олонлогийг илэрхийлэх характеристик нь туршилтаар ажиглагдсан бөөмийн түгэлтээс хамаарахгүй. Мөн тухайн механизм нь олон бөөмийн үүсэлтэнд давамгайлах нуклон-нуклоны мөргөлдөлтөөс хамаарахгүй. Энэхүү ерөнхий шинж чанарыг онолын үндэслэл ба нуклон-нуклоны мөргөлдөлтийн компьютерийн загваруудад зайлшгүй авах ёстой бөгөөд туршилтын төлөвлөгөөнд цөмийн материйн (кварк-глюоны плазм ба бусад коллектив эффектүүд) экзотик төлвүүдийн судалгааг зорилгоо болгон тавьсан.

C+Ta, p +C урвалуудын үед пропант хөөст камерь ашиглан бүртгэсэн протонуудын бөөм-байн харьцангуй 4-н хурдны түгэлтүүдийг авч үзье (Зураг 3.)! Графикуудад маш нэгдмэл байдлаар b_{ik} , нуклонууд дотоод чөлөөний зэрэг дэх оршин тогтнох шилжилтүүдийг харууллаа. Энэ эффект ялгаатай цөмийн харилцан үйлчлэл ба ялгаатай мөргөлдөлтийн энергид ижил болохыг анхаарна уу!



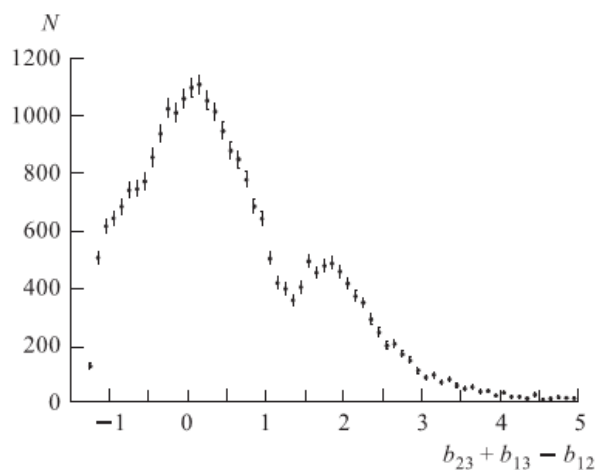
Зураг 3. $C(4.2 \text{ ГэВ/с})+Ta \rightarrow p$ (\blacktriangle), $p(10 \text{ ГэВ/с})+C \rightarrow p$ (\bullet) урвалуудад бүртгэгдсэн протонуудад зориулсан бөөм-байн харьцангуй 4-н хурдны түгэлтүүд.



Зураг 4. Харьцангуй 4-н хурдны функц, адроны харилцан үйлчлэлийн нийт хөндлөн огтлол. Өгөгдлийг [9]-өөс авсан: \bullet - pp ; Δ - πp ; ∇ - $\pi^+ p$

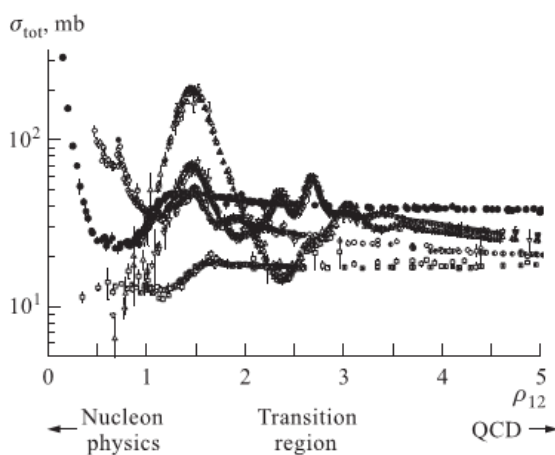
Нуклоны дотоод чөлөөний зэрэгт оногдсон шилжилтийг адроны харилцан үйлчлэлийн бүтэн хөндлөн огтлолыг харьцангуй хурд b_{12} –оос хамаарахыг авч үзсэн (Зураг 4) [9]. Тэгэхээр, энэ $b_{ik} \sim 1$ муж нь, бай-бүртгэгдсэн протоны хос (Зураг 3) ба бай-сум хосод хоюуланд хамаарна, тухайн цөмийн материйн кваркуудын чөлөөний зэрэг нь чухал ач холбогдолтой бөгөөд нуклонууд нь цэгтэй адил биш.

Энд хувьсагч b_{ik} хэмжээст огторгуйд томъёологддоггүй гэдгийг тайлбарлах хэрэгтэй; $b_{12} + b_{13} \geq b_{23}$ хамаарал бол ерөнхийдөө буруу. Үүнийг 2 метрийн пропант камерь ашигласан судалгаануудын хамтын ажиллагааны туршилтын өгөгдлийг ашиглан тайлбарлаж болно. Зураг 5-д $b_{12} + b_{23} - b_{12}$ утгын түгэлтүүдийг үзүүлээ. Энд 1 ба 2 нь $C+Ta$ урвалууд дахь сум ба байг илэрхийлнэ. Үүнийг зураг 5-аас үзэж болох бөгөөд протонуудын ихэнх хэсэг нь сум ба байг тус тусдаа <<нарийн>> байр нь шилжсэн чиг хандлагатай байна. Хурдац ρ_{ik} релятив инвариант b_{ik} -тай хамтдаа давуу талтай байсан, үүний томъёолол нь хэмжээст огторгуй-Лобачевскийн огторгуйн b_{ik} -тай адил биш.



Зураг 5. Релятив 4-н хурд $b_{13} + b_{23} - b_{12}$ -ны түгэлт, энд 1 ба 2 нь сум ба бай илэрхийлэх ба 3 нь $C+Ta \rightarrow p$ урвалд бүртгэгдсэн протон.

Зураг 6-д бөөм-бай харьцангуй хурдцын функц мэтээр π мезонууд, K мезонууд, протонуудын бүтэн харилцан үйлчлэлийн хөндлөн огтлолыг үзүүлсэн. 1 ба 4-ийн хоорондох хурдцын муж, 1 ба 25 АГэВ/с-ийн хоорондох сумны импульстэй дүйцэж байна, классик цөмийн физик ба квант хромодинамикийн хоорондох шилжилтийн энергийн мужийг тодорхойлдог.



Зураг 6. Бөөм-бай харьцангуй хурдцын функц мэтээр π мезонууд, K мезонууд, протонуудын харилцан үйлчлэлийн бүтэн хөндлөн огтлол. Өгөгдлийг [9]-өөс авсан. Энд дараах тэмдэглэгээг оруулсан: \bullet - pp ; ∇ - πp ; Δ - $\pi^+ p$; \circ - $K p$; \square - $K^+ p$;

Тэгэхээр, 4-н хурдны огторгуйн Евклидын биш шинжийг тооцоолоход харьцангуй бага адроны энерги (хэдэн зуун МэВ-ээс эхлэдэг) чухал бөгөөд релятив биш механик нь изотроп, дулаан гэх мэт ойлголтод суурилсан үзэл. Энэ нь координатын системийн сонголттой холбоотой хязгаарлалтын зарчимтай байдаг.

2. Хурдцын огторгуй дахь бөөмийн түгэлтүүдийн геометр шинж чанарууд

Хурдцын илэрхийлэл дэх бөөмийн шинж чанарын анализийг түүний дагуу ба хөндлөн байгуулагчаар илүү дэлгэрэнгүй авч үзье. Бүтээлд, гэхдээ, туршилтын өгөгдлийг үргэлж дагуу хурдац (урвалын тэнхлэг дээрх проекц) ба хөндлөн импульсийн функц мэтээр илэрхийлдэг. Дагуу хурдац нь дараахаар томъёологддог:

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + p_{\parallel}}{E - p_{\parallel}}, \quad (8)$$

ба хөндлөн масс нь

$$m_T = \sqrt{m^2 + p_T^2}, \quad (9)$$

энд p_T нь хөндлөн импульс.

Хөндлөн импульсийг тодорхойлохдоо τ :

$$\text{ch } \tau = \frac{m_T}{m}. \quad (10)$$

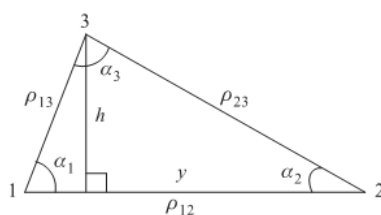
Бүтэн хурдац ρ нь Лобачевскийн огторгуй дахь Пифагорийн теоремоор дагуу ба хөндлөн хурдцуудтай холбогддог:

$$\text{ch } \rho = \text{ch } y \cdot \text{ch } \tau. \quad (11)$$

Огторгуйн шинж чанаруудыг хурдцын муж (харьцангуй хурдцуудын талууд бүхий гурвалжны хэмжээст шинж чанаруудын үр дагавар)-ийг тодорхой хязгаарлалтаар томъёолдог:

$$(\rho_{23})_{\min}^{\max} = |\rho_{12} \pm \rho_{13}|, (\rho_{13})_{\min}^{\max} = |\rho_{12} \pm \rho_{23}|, (\rho_{12})_{\min}^{\max} = |\rho_{23} \pm \rho_{13}|. \quad (12)$$

Хамгийн энгийн геометр элемент бол гурвалжин. Лобачевскийн огторгуй (Зураг 7-г үзээрэй) дахь хурдцуудын оройнууд бүхий гурвалжны үндсэн харьцааг дараах зургаар илэрхийлдэг:



Зураг 7. Лобачевскийн огторгуй дахь энгийн загвар. ρ_1, ρ_2, ρ_3 хурдцуудтай бөөмсийг гурвалжны 123 оройнууд болгон авсан. Гурвалжны талууд нь $\rho_{12}, \rho_{13}, \rho_{23}$ 1, 2, 3 бөөмсийн харьцангуй хурдцууд. Хэрэв 2 нь лабораторийн систем дэх тайван бай бол α_2 өнцөг нь бүртгэгдсэн бөөмийн лабораторийн өнцөгтэй тэнцүү.

Хоёр теоремыг гурвалжны талууд ба өнцгүүдийн хоорондох харьцааг тодорхойлоход ашигладаг: косинусын хууль

$$\text{ch}(\rho_{12}) = \text{ch}(\rho_{13}) \cdot \text{ch}(\rho_{23}) - \text{sh}(\rho_{13}) \cdot \cos(\alpha_3), \quad (13)$$

синусын хууль

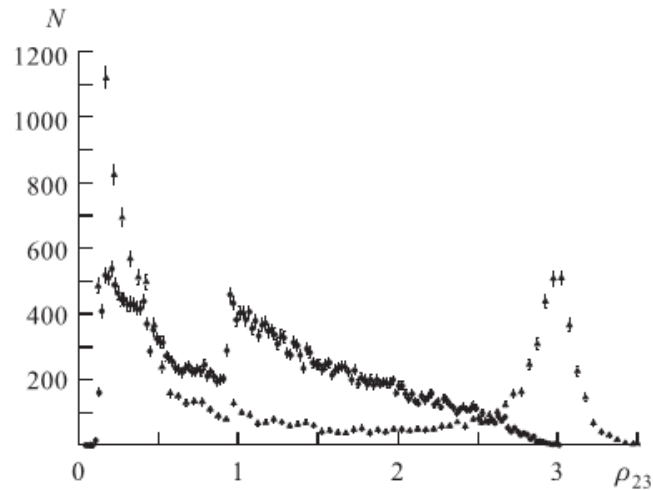
$$\frac{\text{sh}(\rho_{12})}{\sin(\alpha_3)} = \frac{\text{sh}(\rho_{13})}{\sin(\alpha_2)} = \frac{\text{sh}(\rho_{23})}{\sin(\alpha_1)}. \quad (14)$$

Гурвалжны өндөр (Зураг 7)-ийг дараахаар тодорхойлдог

$$\text{sh}(h) = \text{sh}(\rho_{23})\sin(\alpha_2) = \text{sh}(\rho_{13})\sin(\alpha_1).$$

Тэгэхээр, h нь 3 бөөмийн хөндлөн хурдацтай тохирдог, хөндлөн хөдөлгөөний хэмжээсгүй релятив инвариант шинж чанар.

Үргэлж, туршилтын өгөгдөлд анализ хийх үед бүртгэгдсэн бөөмсийг харилцан үйлчлэлийн <<hardness-бөх бат>>-ийн үндсэн дээр ангилдаг. Жишээ нь, <<evaporating-ууршилт>> нь байтай харьцангуйгаар 300 МэВ-ээс бага импульстэй протонууд ба <<stripping-зурваслалт>> нь сумны импульстай бараг ижил импульс бүхий протонууд ба лабораторийн өнцөг нь 4° -аас бага бол <<soft-зөөлөн>> харилцан үйлчлэлийн үр дүнгээр тайлбарлагддаг [4]. Хурдцын огторгуйн анализ нь бөөм-бай ба бөөм-сум харьцангуй хардцуудыг ашигласан ангилалтанд зориулсан үндсэн релятив инвариант нөхцлийг ашиглах боломжийн нэг юм. <<soft>> харилцан үйлчлэлд харьцангуй хурдцын дээд хязгаар нь ~ 0.3 юм.



Зураг 8. Сонгосон өнцөг α_3 -ийн хоёр интервалууд дахь ρ_{23} протонуудын түгэлтүүд:
 $p(10\text{ГэВ}/c) + C \rightarrow p$ урвалын хувьд $\alpha_3 > 1.6$ рад (\bullet) бөгөөд $\alpha_3 < 1.6$ (\blacktriangle)

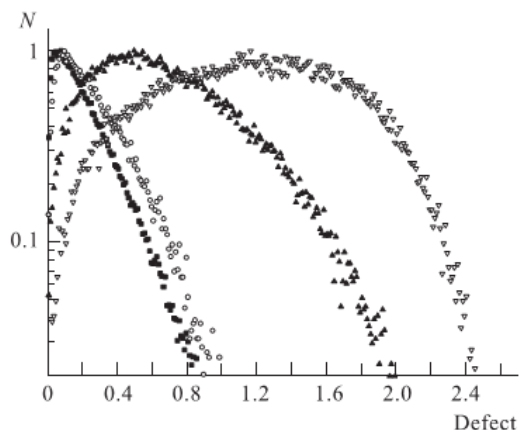
Релятив инвариант анализ нь дурын бүртгэгдсэн бөөмстэй холбоотой, ерөнхийдөө зөвхөн мөргөлдөж байгаа объектуудын авч үзэж буй хоёр цэгүүдээс гадна хурдцын огторгуйн бүх цэгүүдэд бүгдэд нь хүчин төгөлдөр. Ийм арга нь ялангуяа олон бөөм үүсэлтийн анализ, тэдгээрийг бүлгэд хуваах (хосуудын хамаарал, кластерууд, олгойдолт гэх мэт)-д ашигтай.

Дурын геометр проекц, Лобачевскийн огторгуйд агуулагддаг дуалист (хоёрдмол) зарчим нь цэгүүдийн хоорондох зайны гишүүдээр томъёологдох илэрхийллүүд нь багцуудын хоорондох өнцгүүдийн гишүүдээр томъёологдох илэрхийллүүдтэй эквивалент гэдэг утгаар хүчин төгөлдөр.

Харин, харилцан үйлчлэлийн <<hardness>> зэргийг хурдцын огторгуй дахь гурвалжны өнцгүүдийн утгуудыг ашиглан анализ хийж болдог. Зураг 8-д сонгосон өнцөг α_3 -ийн интервалуудад зориулсан ρ_{23} протонуудын түгэлтийг үзүүлээ. Авч үзэж буй бай ба сумны фрагментацийн 0 ба 3-ийн хөрш зэргэлдээ орших ρ_{23} -ийн мужуудыг тус тусад нь хувьсагч α_3 (ρ_{12} ба ρ_{13} хурдцуудын хоорондох өнцөг)-г ашиглан задалж болно.

Гурвалжин нь түүний дефектээр тодорхойлогддог. Дефект нь гурвалжин (пропорционалийн тогтмол нь огторгуйн муруйлтын квадраттай тэнцүү)-ы талбайтай пропорционал:

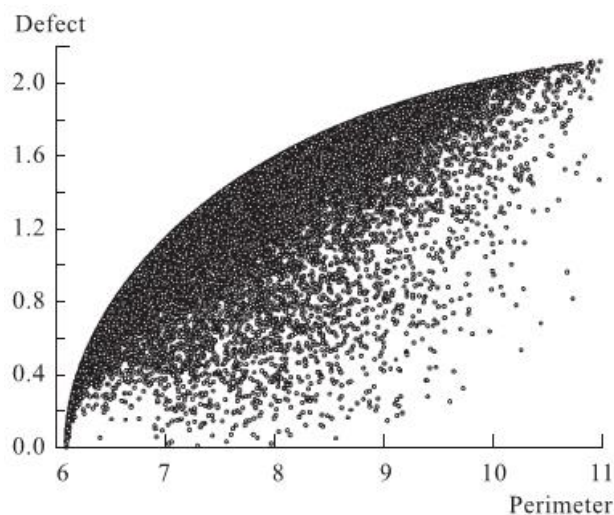
$$defect = \pi - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3, \quad (15)$$



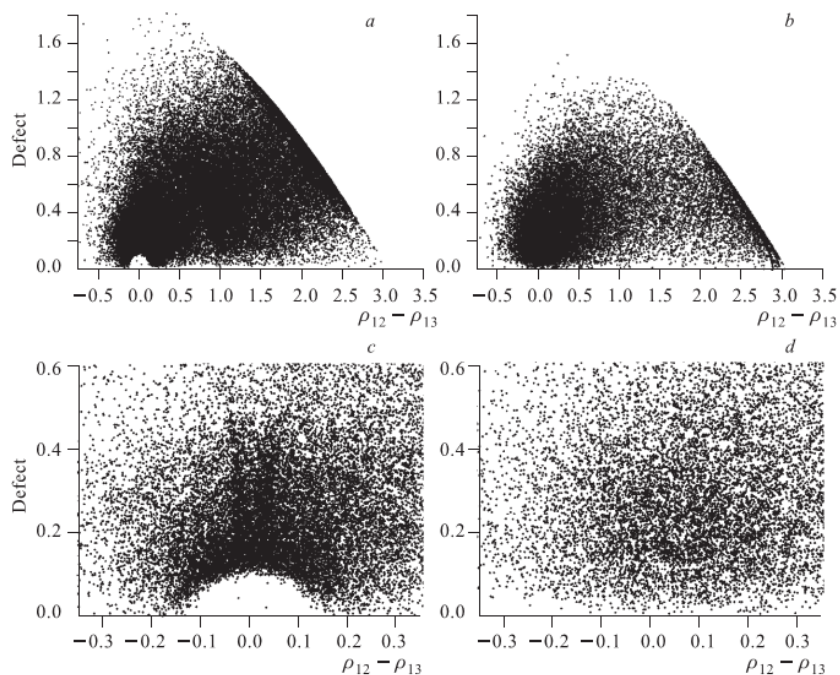
Зураг 9. $p(10 \text{ ГэВ/с})+C$ урвалд бүртгэгдсэн протонуудын бүх хослол ба π мезонуудын бүх хослолуудаар илэрхийлэгдсэн гурвалжны дефектийн нормчилсон түгэлтүүд: ■-р туршилт; ○-р загвар; ▼- π туршилт; ▽ - π загвар.

Өнцгийн дефект нь хурдцын огторгуй дахь бөөмсийн гурвалын харьцангуй байрлалын скаляр шинж чанар юм. Зураг 9-д 10 ГэВ/с бүхий протон-нүүрстөрөгчийн харилцан үйлчлэлд бүртгэгдсэн протонуудын бүх хослол ба π мезонуудын бүх хослолуудаар илэрхийлэгдсэн гурвалжны дефектийн нормчилсон түгэлтүүдийг үзүүлсэн. Гурвалын протонд зориулсан дефектийн түгэлтийг зургаас харахад экспоненциал хэлбэртэй, гурван протоны ажиглагдах магадлал нь бусдаас (хурдцын гишүүд)-аа <<хол>> экспоненциалаар унадаг. Энд протонуудын өгөгдөлд RQMD загвар [13] туршилттай сайн нийцэж байгааг цохон тэмдэглэх хэрэгтэй. π мезонуудад зориулсан дефектийн түгэлтүүд арай өөр хэлбэртэй байсан. Эдгээр гурвал нь протонуудтай харьцуулахад хурдцын огторгуйд илүү том талбай бүхий гурвалжингаар томьёологддог. Загвар протонууд ба π мезонуудын инклюзив спектрийг хоюуланг нь хангалттай таарахаар босгож болохыг анаарах хэрэгтэй. Гэхдээ π мезонуудын гурвалын түгэлт нь туршилтын өгөгдлөөс мэдэгдэхүйц ялгаатай байна.

Бид хурдцын огторгуй дахь бөөмийн түгэлтүүдийн өөр нэгэн ерөнхий шинжийг тайлбарлая. Гурван бөөмсийн хослолуудыг авч үзье: цэг 1-сум, цэг 2-бай, цэг 3-ямар нэгэн бүртгэгдсэн бөөм. Зураг 10-д $p(10 \text{ ГэВ/с})+C$ урвалаар үүссэн π мезонуудын туршилтын өгөгдлөөр тооцоолсон тэдгээрийн периметрийн функц мэт гурвалжны дефектийг үзүүллээ. Тодорхой периметртэй, хамгийн их зөвшөөрөгдсөн дефекттэй бөөмс нь илүү өндөр магадлалаар үүсдэг. Энэ бол хөндлөн огтлол нь фазын огторгуйн хил хүртэл өсдөг мэдэгдэж буй онцлогтой нийцдэг ба загвар [13]-тай мөн нийцдэг.



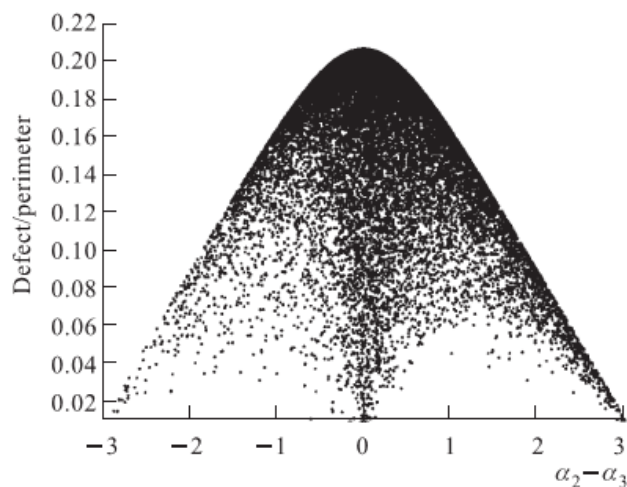
Зураг 10. Дефект ба гурван бөөмсийн хослолуудаар илэрхийлэгдсэн гурвалжны периметр: цэг 1-сум, цэг 2-бай, цэг 3- $p(10 \text{ ГэВ/с})+C \rightarrow \pi$ урвалд бүртгэгдсэн дурын π мезон (\circ).



Зураг 11. Дефект ба $(\rho_{12} - \rho_{13})$, энд ρ_{12} нь сум-байн харьцангуй хурдац бөгөөд ρ_{13} нь $p(10 \text{ ГэВ/с})+C$ урвалаар үүссэн протонууд зориулсан сум-бөөмийн хурдац: туршилт (a) ба загвар (b) өгөгдөл; бөгөөд тэгийн ойролцоох мужид илүү дэлгэрэнгүй үзүүлж: туршилт (c) ба загвар (d)-ын өгөгдөл.

Зураг 11-д дефект ба $p(10 \text{ ГэВ/с})+C$ урвалаар үүссэн протонуудын туршилт ба загвар дахь $(\rho_{12} - \rho_{13})$ -ийг графикаар үзүүллээ. Эндээс загвар $\rho \sim 1$ шилжилтийн муж (Зураг 11 a, b)-ийн өвөрмөц онцлогийг үзүүлэхгүй байгааг харж болно. Байн фрагментацийн мужийг Зураг 11-ийн c, d-д илүү дэлгэрэнгүй үзүүлсэн. Энд протоны түгэлтийн тодорхой нарийн бүтцийг харуулсан бөгөөд авч үзэж буй хурдцын огторгуй дахь тэгш хэмтэй бүтцийг загвар үүсгээгүйг мөн харуулж байна. Энэ муж нь авч үзэж буй адил хажуут гурвалжины бүртгэгдсэн протонуулын хөндлөн огтлолын хувьд өвөрмөц онцлогуудтай. Харьцангуй бай-сум ба сум-бүртгэгдсэн бөөмийн хурдцууд нь тохирдог. Бөөм үүсэх магадлал нь илүү өндөр бол харьцангуй бай-сум ба сум-бүртгэгдсэн бөөмийн хурдцууд нь тохирох (мөргөлдөж буй цөмтэй харьцангуйгаар бүртгэгдсэн

бөөмийн байрлал нь тэгш хэмтэй) нь ажиглагдсан. π мезонуудад зориулсан дээрх санааг Зураг 12-д үзүүлээ.



Зураг 12. Дефект/периметрийн харьцаа ба $p(10 \text{ ГэВ}/c)+C$ урвалд хэмжсэн π мезонуудад зориулсан бай ба сумны өнцгүүдийн ялгавар. Тодорхой симметр бүтцийн түгэлт ажиглагдсан.

Үүнийг Евклидын огторгуйтай адилхан биш гэдгийг онцлох нь чухал, Лобачевскийн огторгуй дахь гурвалжнуудын талбай-периметрийн харьцаа нь хязгаартай.

Дүгнэлт

Бөөмийн ангилалд зориулсан нэгдмэл релятив инвариант нөхцөл, жишээ нь, <<stripping>> ба <<evaporating>> протонуудын сонголт, хурднуудын орон зайн (өнцгүүд) үндсэн дээр томьёолсон. Энэ нь дефект ба периметр мэт Лобачевскийн огторгуй дахь шинж чанаруудыг ашиглан ялгаатай механизмаар үүссэн бөөмүүдийг сонгох боломж юм.

Пропант хөөст камер ашиглан тодорхойлсон өгөгдлийн анализ нь 4-н хурдны огторгуй дахь бөөмийн түгэлтүүдийн ерөнхий шинж нь ялгаатай урвалууд ба олонлогоос хамаарахгүй гэдгийг үзүүлсэн.

Туршилтын өгөгдөл ба RQMD загвараар [13] үзүүлсэн симуляцийн харьцуулалт нь бөөмийн түгэлтүүдийн интеграл шинж чанарууд-инклюзив спектрийг зохих ёсоор үүсгэж, фазын огторгуйн дүүргэлт нь хоёр- ба гурван бөөмийн хамаарлыг зөв үүсгэх боломжгүй.

Лобачевскийн огторгуйн шинж чанаруудын тооцооллыг авч үзэхэд, ялангуяа энэ нь ямар ч геометртэй адил биш (Евклидын геометртай адил биш), бөгөөд туршилтын өнөгдлийн анализ ба олон бөөм үүсэлтийн загваруудын бүтцэд маш чухал.

Талархал. Зохиолчид профессор А.Н. Сиссакианд ажлыг дэмжиж, сонирхсон явдалд талархал илэрхийлж байна.

Ажлыг Оросын суурь судалгааны холбоо зарим талаар дэмжиж байсан, грант №01-02-16407.

Номзүй

1. Baldin A. M. // Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1975. V. 222, No. 5. P. 1064.
2. Bondarenko A. I. et al. // Rus. J. Nucl. Phys. 2002. V. 65. P. 95.
3. Agakishiev G. N. et al. // Rus. J. Nucl. Phys. 1984. V. 40. P. 1209; Z. Phys. C. 1985. V. 27. P. 177.
4. Armutliysky D. et al. // Rus. J. Nucl. Phys. 1989. V. 49. P. 182.
5. Balandin M. P. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1963. V. 20. P. 110.
6. Baldin A. M., Baldin A. A. // Part. Nucl. 1998. V. 29, issue 3. P. 577.

7. Baldin A. M., Didenko L. A. // Fortsch. Phys. 1994. V. 38. P. 261.
8. Baldin A. A., Kladnitskaya E. N., Rogachevsky O. V. // JINR Rapid Commun. 1999. No. 2[94].
9. Hagiwara K. et al. // Phys. Rev. D. 2002. V. 66. P. 010001; <http://www-pdg.lbl.gov/>
10. Fok V. A. The Theory of Space, Time and Gravity. M.: Gostekhizdat, 1955.
11. Kotelnikov A. P. The Principle of Relativity and the Geometry of Lobachevsky // In Memorial N. I. Lobatshevskij. Kazan, 1927. V. 2. P. 37-64.
12. Chernikov N. A. // Sov. J. Part. Nucl. 1973. V. 4. P. 773.
13. Sorge H. // Phys. Rev. C. 1995. V. 52. P. 3291.