

## ARTICLES

НҮҮРСТӨРӨГЧ-НҮҮРСТӨРӨГЧИЙН ҮЙЛЧЛЭЛ ДЭХ  
ХОЁРДОГЧ БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛЖ.Шинэбаяр<sup>1\*</sup>, М.Совд<sup>2</sup>, Р.Тогоо<sup>2</sup>, Т.Тулгаа<sup>2</sup>, А.Торсүх<sup>2</sup><sup>1</sup> МУБИС, Монгол улс<sup>2</sup> Физик технологийн хэрэглэн, ШУА, Монгол улс

Хүлээн авсан: 2018.03.02, Хянасан: 2018.03.31, Хэвлэгдсэн: 2018.04.03

## ХУРААНГУЙ

Нүүрстөрөгчийн цөм пропантай харилцан үйлчилсэн процесс түүссэн саармаг бөөмийн мэдээллийг сэргээн босгоод, адроны кластерын алгоритмаар -мезоны массыг тодорхойлж үзэхэд кластер босгох тайралтын параметрийн утга нь анхдагч энергиэс хамаарч байна.

Адроны кластерын болон түүн дэх бөөмсийн олонлогууд, дагуу хурдац, импульсийн хөндлөн байгуулагч, кластерын задралын температурын онцлогийг энэхүү ажлаар судлав. Онцлон тэмдэглэхэд, харилцан үйлчлэлийн төвийн мужид өндөр температуртай кластер түүссэн байна.

Түлхүүр үгс: Хөөст камер; харилцан үйлчлэлийн үзэгдэл; бөөмс; кластер; олонлог; температур.

## ОРШИЛ

Электрон-позитроны аннигиляцаас эхлээд, адрон-адрон, адрон-цөм ба цөм-цөмийн мөргөлдөөнд цэнэгт бөөмсийн олонлог, нэг төрлийн бөөмийн инклюзив тархалт, адронуудын хамтын шинж чанар болон олон бөөмсийн корреляцийн чиглэлээр олон төрлийн үзүүлэлтүүдээр харьцуулсан судалгааг гүйцэтгэсэн ажлуудыг хэвлүүлж байгаа. Гэхдээ бага дамжуулалтын импульстэй “зөөлөн” процесс, кварк-кваркийн сарнилтай төстэй адрон-адроны үйлчлэлд ч “хатуу” процессуудыг судалдаг. Эдгээрээс адроны кваркуудын олгойдох үзэгдлийг чухалчлан судалж байлаа [1]. Олгойдолтыг

“бөмбөрцөг хэлбэр” (sphericity) хэмээх хэмжигдэхүүнээр тодорхойлсон. Жишээлбэл 40 ГэВ-ийн  $\pi$ -C-үйлчлэлд ууршилтын буюу  $p_{lab} \leq 300$  МэВ/с бүхий протонуудыг хассан харилцан үйлчлэл болон  $\pi$ -N-үйлчлэлүүдэд “бөмбөрцөг хэлбэр”-ийн хувьсагчийг ашиглан анхдагч пионы чиглэлд түүссэн, мөн олон нуклоны  $\pi$ -C-үйлчлэлийн хоёрдогч адронуудын олгойдолтын үзүүлэлтүүд нь  $e^+e^-$  аннигиляц, адрон-адроны харилцан үйлчлэлд мөргөлдөгч бөөмсийн массын төвийн системд адилхан энергийн мужид хоорондоо сайн нийцэж байдаг [2]. Үүнээс гадна 4.2 ГэВ/с импульсийн мужид  $CC-$

\*corresponding author: [shinebayar@msue.edu.mn](mailto:shinebayar@msue.edu.mn)



The Author(s). 2018 Open access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

үйлчлэлд дээрх “бөмбөрцөг хэлбэр”-ийн хэмжигдэхүүнээр хоёрдогч бөөмсийн олгойдох үзэгдлийг судалж, нуклонуудын хамтын харилцан үйлчлэлийн илрэлт байж болохыг харуулж чадсан юм [3].

Энэ  $CC$ -үйлчлэлд нуклон-нуклоны системийн хувьд сарнилын өнцөг нь  $90^\circ$  орчим нисэн гарсан сөрөг пионууд ба протонуудын инклюзив спектрээр цөмийн материйн температур ба нягтыг тодорхойлж, адроны матери ба кварк-глюоны плазмын хооронд фазын шилжилт байгааг илрүүлсэн [4]. “Зөөлөн” ба “хатуу” харилцан үйлчлэлүүдэд кварк, дикварк ба бусад өнгөт системүүдийн адронизацлагдах

нь эдгээр өнгөт кваркийн системүүдийн шинж чанар ба үүсгэврүүдээс огт хамаарахгүй ба харин КХД-ын вакуумтай харилцан үйлчилдэг динамикаар л тодорхойлогддог. “Зөөлөн” ( $\pi p$ ,  $\pi C$ ,  $pp$ ,  $\bar{p} p$ ) ба “хатуу” ( $\bar{v}N$ ) үйлчлэлүүдийн хувьд массын төвийн энерги  $\sqrt{S} \geq 6$  ГэВ байхаас эхлээд асимптотик горимд шилждэг [5]. Дээр дурдсан шинж чанар, зүй тогтлыг туршилтын өгөгдлийн статистикийг олон дахин өсгөсөн ба өгөгдлүүдийн зарчмын алдаануудыг зассаны дараа дахин шалгахаар энэ судалгааг бид хийж гүйцэтгэж байна.

## МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Энэхүү ажилд ОХУ-ын Дубна хот дахь Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институтын Их энергийн лабораторийн Синхрофазотрон хурдасгуураар нэг нуклонд нь 4.2 ГэВ/с импульстэй нүүрстөрөгчийн цөмийн 2 метрийн пропант хөөст камер дотор бүртгэсэн харилцан үйлчлэлийн туршилтын өгөгдлүүдийг ашигласан. Харилцан үйлчлэлийн статистик нь 34947 нүүрстөрөгчийн цөм пропантай мөргөлдсөн тохиолдлуудаас бүрдсэн. Үүнээс 18889 тохиолдлууд нүүрстөрөгч-нүүрстөрөгчийн үйлчлэлийн сонгодог нөхцөлүүдийг хангасан [6]. 4.2 ба 10 ГэВ/с импульстэй протонуудын болон 4.2 АГэВ/с импульс бүхий дейтрон, гелий ба нүүрстөрөгчийн цөмүүдийн пропанан камер дотор бүртгэгдсэн үзэгдлүүд (тохиолдлууд)-ийн туршлагын материалын нэгдсэн дүнг [6] ажилд хэвлүүлсэн боловч энд саармаг хоёрдогч бөөмсийн мэдээллийг алдаатай оруулсан учраас бид энэ алдааг энэ удаа засаж залруулсан болно. Одоо саармаг бөөмс болох гамма квант ( $\gamma \rightarrow e^+ e^-$ ),  $K_S^0$  ( $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ )-мезон ба  $A^0$  ( $A^0 \rightarrow p \pi^-$ )-гипероны хувьд дүн шинжилгээг үргэлжлүүлэн хийхэд бэлэн боллоо. Үүнээс гадна хүнхэр огторгуйг төлөөлөх Лобачевскийн огторгуйн «бүтэн хурдац» хэмээх хувьсагчийг ашиглан, их энергитэй

$\pi^+$ -мезоныг протон дотроос ялган таних боломжийг тооцоолоод,  $CC$  үйлчлэлийн хувьд 20%, 10 ГэВ-ийн  $pC$  үйлчлэлийн хувьд 25% алдагдсан  $\pi^+$ -мезоныг сэргээж чадаж байна [7]. Энэ төрлийн алдагдал анхдагч энерги ихсэх тутам өснө.

1.5 Тл хүчлэгтэй соронзон орон камерыг тойруулан зохион бүтээсэн учраас бүх хоёрдогч цэнэгт бөөмсийн дараах бүлгүүдэд хуваадаг.

(а). Эхний бүлэгт сөрөг бүх бөөмсийг  $\pi^-$ -мезон гэж үздэг гэхдээ түүн дотор ялгаж чадаагүй электроны хольц 5%-аас хэтрэхгүй [8], ба сөрөг гаж бөөмс нь  $\sim 1\%$ .

(б). Дараагийн бүлэгт импульс  $p$  нь  $0.15 < p < 0.7$  ГэВ/с интервалд харьяалагдах протонууд, тэдгээрийн дунд дейтрон ( $d$ ) ба тритон ( $t$ )-ийн хольцууд  $10 \div 15\%$  байдаг [9, 10, 11].

(в). Дараа нь 0.7 ГэВ/с-ээс их импульстэй протонуудаас бүрдсэн релятив эерэг бөөмсийн бүлэг, энд -мезоны хольцыг  $\sim 10\%$  гэж тодорхойлсон [12];

(г). Сүүлчийн бүлэгт 0.7 ГэВ/с-ээс бага импульстэй найдвартай ялгагдсан  $\pi^+$ -мезонууд орно.

Туршлагаар хөдөлшгүй ялгагдсан  $\pi^-$ -мезоны импульсийн дундаж утга нь 70 МэВ/с байдаг. Мөн анхдагч сум цөмийн чиглэлд перпендикуляр чиглэлд болон фото

зураг авдаг объективын хавтгайд их өнцгөөр нисэн гарсан бөөмсийн засваруудыг мөн оруулсан. Нүүрстөрөгчийн цөмөөр камерыг шарсан тохиолдолд эдгээр засварууд нь 7% [13].

Цөм бай цөмтэй харимхай бус мөргөлдөхдөө анхдагч цөмийн бүх нуклонууд ч мөргөлдөөнд оролцдоггүй. Эдгээрийн нэг хэсэг нь харилцан үйлчлэлд оролцоогүй «спектатор» фрагмент буюу хэлтэрхий хэлбэрээр үлддэг. Энэ спектаторын бүлэгт импульс цэнэгийн харьцаа 3 ГэВ/с-ээс их ( $P/Z > 3$  ГэВ/с) ба гаралтын өнцөг нь  $\theta_{lab} < 4^\circ$  нөхцөлийг хангасан фрагментүүд буюу сум цөмийн хэлтэрхийнүүдэд хамааруулдаг. Сум цөмийн спектаторуудын нэг ба олон ( $Z_f > 2$ ) цэнэгтэй гэж дотор нь хуваадаг. Нөгөө талаас бай цөмийн спектаторууд бол  $p_{lab} < 0.3$  ГэВ/с нөхцөлийг хангасан протонууд юм. Хэрвээ харилцан үйлчлэл камерт байрлуулсан 3 ялтаснууд дотор явагдсан бол тантал нь  $p_{lab} < 240$  МэВ/с импульстэй

протонуудыг өөртөө шингээдэг онцлогтой.

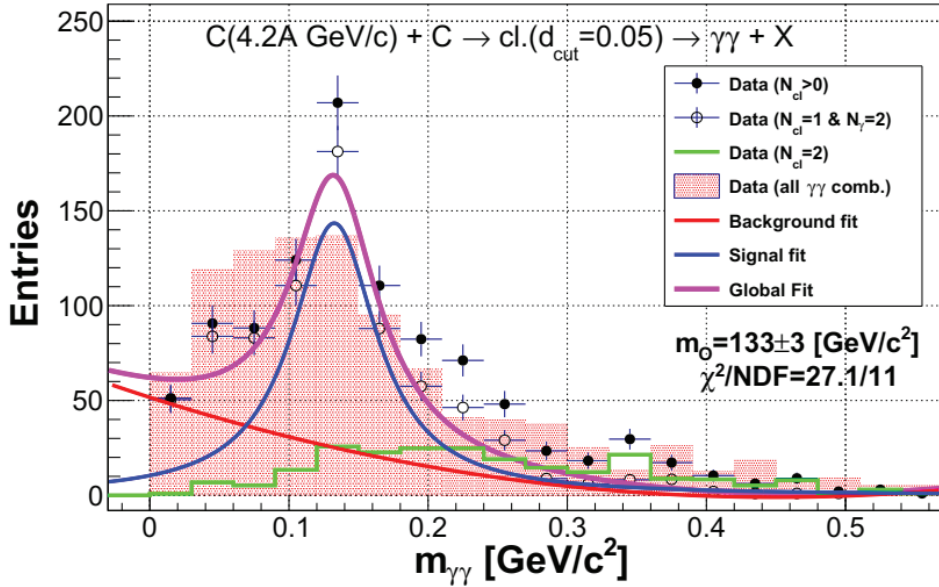
Туршлагын арга зүйн асуудлуудыг [8] - [15] ажлуудад дэлгэрэнгүй тодорхой тайлбарласан. Энэ судалгааны ажлыг гүйцэтгэхдээ 18889  $CC$ -үйлчлэлийн тохиолдлуудаас цэнэгт пионууд болон протоны нийлбэр тоо тохиолдол бүрд дөрөв ба түүнээс их ( $N_{\pm} \geq 4$ ), харин гамма-квантуудын хувьд тэдгээрийн тоо хоёр ба түүнээс их ( $N_{\gamma} \geq 2$ ) байгаа харилцан үйлчлэлийн үзэгдлүүдийг сонгож авсан. Нийт судалгааны статистик 12291  $CC$ -үйлчлэл, түүнд 28581 адроны кластерууд сэргээн байгуулагдсан. Энд онцлон тэмдэглэхэд энэ судалгааг гүйцэтгэхдээ анхдагч буюу мөргөлдөгч цөмүүдийн спектаторуудыг оролцуулаагүй, харин кластерын хурдцын тархалт байгуулсан 3-р зураг дээр тэдгээр спектаторуудыг фрагментацийн мужуудаа ялгахад чухал үүрэг гүйцэтгэсэн учраас оролцуулсан бөгөөд тэнд хар дугуйгаар тэмдэглэсэн билээ.

## ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

### 1. Саармаг пионы массын спектрин байрлалаар кластер байгуулах тайралтын параметрийг шалгасан нь

Өнгөрсөн зууны 90-ээд оны үед бүрдүүлсэн  $37940C + C_3H_8$  харилцан үйлчлэлийн саармаг бөөмсийн туршлагын өгөгдлүүдийг ашиглан, камерын нэгдсэн өгөгдлүүдийн материал бэлдсэн үе буюу 1998 онд  $37792C + C_3H_8$  тохиолдлуудын хувьд бүдүүлэг алдаа хийж дээрх бөөмсийн мэдээллийг нь устгасныг засаж залруулав. Энэ удаа гамма-квантын жинг тооцоогүй. Ингээд 1-р зургаас харахад,  $C+C$  харилцан үйлчлэлээр үүссэн гамма-квантуудаар  $\pi^0$ -мезоны массыг тодорхойлдог уламжлалт арга боломжит хослолоор байгуулсан (1-р зураг дээр улаан талбайгаар дүрсэлсэн) ба  $k_T$ -алгоритмд тайралтын параметр 0.05 гэж

тооцон кластер байгуулж үзэхэд (1-р зураг дээр хар цагиргаар тэмдэглэн харуулсан)  $\pi^0$ -мезоны масс  $m_{\pi^0} = m_{\gamma\gamma} \sim 0.135$  ГэВ/с<sup>2</sup> орчим байгааг тогтоож байна. Эндээс бидний өмнөх судалгааны ажилд [16] олж тогтоосон тайралтын параметрийн утга ойролцоо болохыг харуулж байна. Учир нь бид энэ удаа адроны кластер байгуулахад хэрэглэдэг хамгийн чухал тайралтын параметрийг анхдагч энергийн утгаас хэрхэн хамаарахыг Fritiof 1.6 загвараар үүсгэсэн  $\gamma\gamma$ -аар  $\pi^0$ -мезоныг босгож чадах утгуудыг сонгож үзэхэд, анхдагч энергийн утга өсөх тутам буурах хандлага ажиглагдаж байгаа (Хавсралтад үзүүлсэн хүснэгтээс харагдана) учраас бид [16] ажилд  $d_{cut} \sim 0.07$  байсныг бууруулж  $d_{cut} \sim 0.05$  болгон адроны кластераа байгуулж, гарсан үр дүнгээ нийтэлж байна.

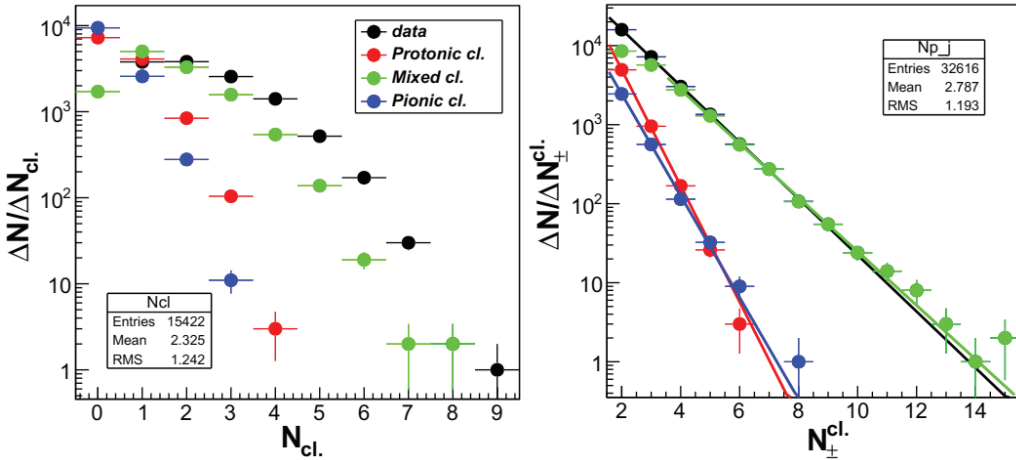


Зураг 1:  $d_{cut} = 0.05$  параметртэй  $k_T$  алгоритмаар байгуулсан хоёр гамма квантуудаас тогтсон кластерын массын тархалт. Энд туршилагын дүнгүүд (хар дугуйгаар бүх адроны кластеруудын хувьд, харин мөн хар цагиргаар тухайн тохиолдолд нэг кластер сэргээн байгуулагдсан ба түүн дотор зөвхөн хоёр гамма-квант агуулсан), ягаан муруй Брайт-Вигнерийн томъёогоор хийсэн дөхүүлэлт, хөх муруй дэвсгэр өгөгдлүүдийн хассан сигнал бол улаан муруйгаар 3-р эрэмбийн полиномоор илэрхийлсэн дэвсгэр, улаан талбайгаар гамма-гамма квантуудын хоорондох бүх боломжит комбинацууд. Харин ногоон гистограммаар олон кластеруудын массын тархалт.

### 1. Адроны кластеруудын ерөнхий шинж чанар

Адроны кластеруудын олонлогийг АЛТ алгоритмаар [17], кластер дахь бөөмсийн тооны илрэлтүүдийг БГДК [18] болон АЛТ алгоритмуудаар судалж байлаа. Энэ удаа судалгааны материалд эерэг бөөмийн ялгалыг сайжруулсан учраас кластер дахь бөөмсийн төрлөөс нэгэн төрөл бөөмсөөс, эсвэл олон төрлийн бөөмсөөс тогтсон гэж ангилах бололцоотой болсон учраас «пион», «протон» ба «холимог» кластеруудын олонлогууд (2-р зургийн зүүн талынх), кластер дахь бөөмсийн тархалт (2-р зургийн баруун талынх)-ыг байгуулж

үзлээ.  $CC$  үйлчлэлд  $\pi^+$ -мезонуудын тоо бага учраас пионы кластерууд нь 3-аас, протонных 4-өөс, харин холимог кластеруудынх 8-аас тус тус хэтрэхгүй байна. Кластер дахь бөөмсийн тархалтууд кластерын дотоод бүтцээс үл хамааран экспоненциал хуулиар буурч байна. Гэвч холимог бүтэцтэй кластеруудын хувьд  $N_{\pm}^{cl} < 4$  үеийг эс тооцвол бүх кластеруудын  $N_{\pm}^{cl}$ -ийн тархалтууд нэгэн экспоненциал хуулиар буурч байгаа ч харин налуугийн коэффициентууд ялгаатай. Харин 1-р хүснэгтэд адроны кластеруудын болон түүнийг бүрдүүлсэн бөөмсийн дундаж утгуудыг үзүүлсэн.



Зураг 2: Кластеруудын болон кластер дахь бөөмийн олонлогуудын түгэлт. Ногоон дугуйгаар мезон ба протонуудаас тогтсон “холимог” кластеруудынх, улаан дугуйгаар дан протонуудаас, хөх дугуйгаар зөвхөн пионуудаас бүрэлдсэнийг, хар цагиргаар адроны кластеруудын олонлогуудыг тэмдэглэсэн. Баруун талын зураг дээр бол “холимог” (ногооноор), протонуудын (улаанаар), мезонуудын (хөхөөр), харин хар цагиргаар адроны кластеруудад агуулагдсан бөөмсийн олонлогуудын тархалт. Хөх, улаан ногоон ба хар муруйнууд экспоненциал функцээр хийсэн дөхүүлэлтүүд.

Хүснэгт 1. Адроны кластеруудын болон кластер дахь бөөмсийн дундаж олонлогууд

Үзүүлэлтүүд	Кластеруудын дундаж олонлог $\langle n_{cl} \rangle$	Кластеруудын тоо	Кластер дахь бөөмсийн дундаж олонлог $\langle N_{cl} \rangle$
Бүгд	$2.32 \pm 0.01$	28581	$2.79 \pm 0.01$
протон	$0.50 \pm 0.01$	6097	$2.23 \pm 0.01$
холимог	$1.57 \pm 0.01$	19320	$3.04 \pm 0.01$
пион	$0.26 \pm 0.01$	3164	$2.29 \pm 0.01$

$$\text{Одообүтцийн функц } E \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2\sigma}{dy dp_T^2}$$

хэлбэрээр тодорхойлдог учраас  $d\sigma/dy$  ба  $d\sigma/dp_T^2$  гэсэн тархалтуудыг тус тусад нь авч үзье.

**Адроны кластеруудын хурдцын тархалт.** Хөдөлгөөний дагуу чиглэлийн динамикийн гол тодорхойлдог хувьсагч бол дагуу хурдац учир бид адроны кластеруудын (дунджаар өөртөө гурван цэнэгт бөөмсийг агуулсан) хурдцын тархалтыг 3-р зураг дээр үзүүлэв. Энд бид зөвхөн бүх (анхдагч цөмүүдийн спектаторуудыг оролцуулсан ба оролцуулаагүй байгуулсан)

кластеруудын тархалтаас гадна зөвхөн протонуудыг агуулсан “протоны”, протон ба пионыг зэрэг нэг объект болгосон “холимог”, сүүлчийн бүлэг кластерууд болох дан пионуудаас бүрэлдсэн “пионы” кластеруудын хувьд ч нэгэн зэрэг энэ зурагт харуулсан. Адроны кластерууд бай болон сум цөмийн фрагментацийн мужуудаар тодорхой ялгарч байхад, нөгөө хоёр төрлийн кластерууд нь харилцан үйлчлэлийн төвийн мужид давамгайлан байрлаж байна.

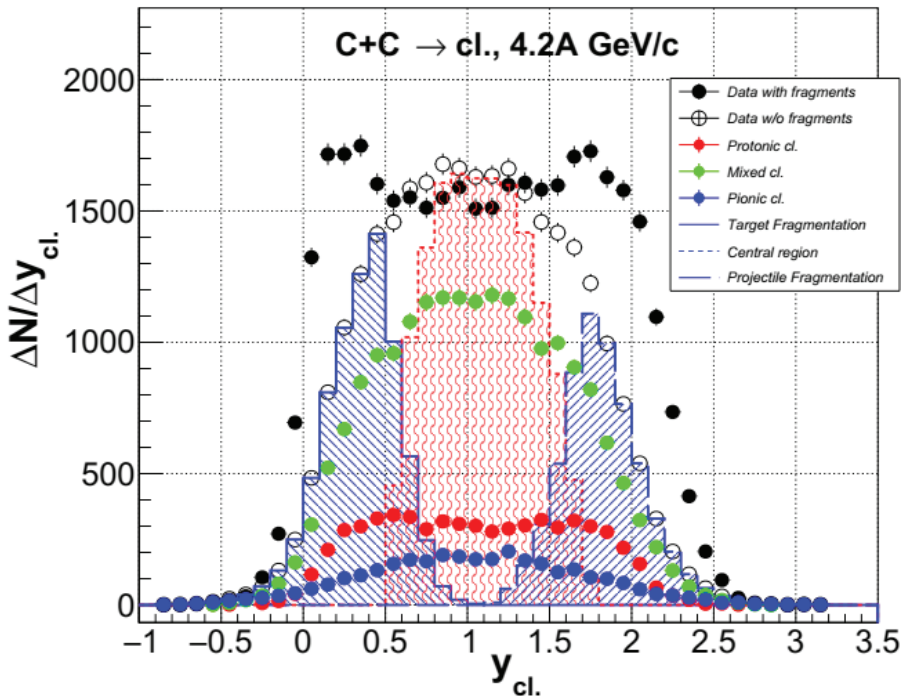
Дагуу хурдац харилцан үйлчлэлийн мужуудыг ялгардаг онцлогтойг харгалзан бид эхлээд мөргөлдөгч цөмүүдийн харимхай бус үйлчлэлд оролцоогүй

нэг цэнэгтэй спектаторууд буюу хэлтэрхийнүүдийг оролцуулан кластер байгуулахад 3-р зураг дээр хар дугуйгаар тэмдэглэсэн цэгүүдийн хувьд бай, сум цөмүүдийн фрагментацийн мужуудыг Гаусс хэлбэрийн тархалтаар ялгаж энэ зураг дээр хөх өнгийн талбайгаар дээр дурдсан хэлтэрхийнүүдийг оролцуулаагүй кластер байгуулсан нөхцөлд Гаусс тархалтаас үлдсэнийг дүрслэн харууллаа (2-р хүснэгтийн Гаусс тархалтуудыг

сонгон авсан гол параметруудийг нийтлэв). Харин төвийн мужийг улаан бор өнгийн талбайгаар тэмдэглэн үзүүлж байна. (Хэрвээ энэ тархалтыг Гаусс функцээр дөхүүлэлт хийхэд дундаж= $0.958 \pm 0.009$ , хазайлт= $0.512 \pm 0.005$ -тай тэнцүү). Харилцан үйлчлэлийн 3 мужийн тодорхойлсон арга дараагийн дүн шинжилгээ хийхдээ бид ашигласан ба энэ төрлийн судалгааг [19] ажлуудад гүйцэтгэж байсан ч ерөнхий зүй тогтол бараг хэвээр хадгалж байна.

Хүснэгт 2. Адроны кластеруудын бай болон сум цөмийн фрагментацийг тодорхойлсон Гаусс тархалтын параметрууд

Үзүүлэлт	Бай	Сум
Дундаж	$0.281 \pm 0.002$	$1.910 \pm 0.003$
Хазайлт	$0.215 \pm 0.002$	$0.245 \pm 0.002$

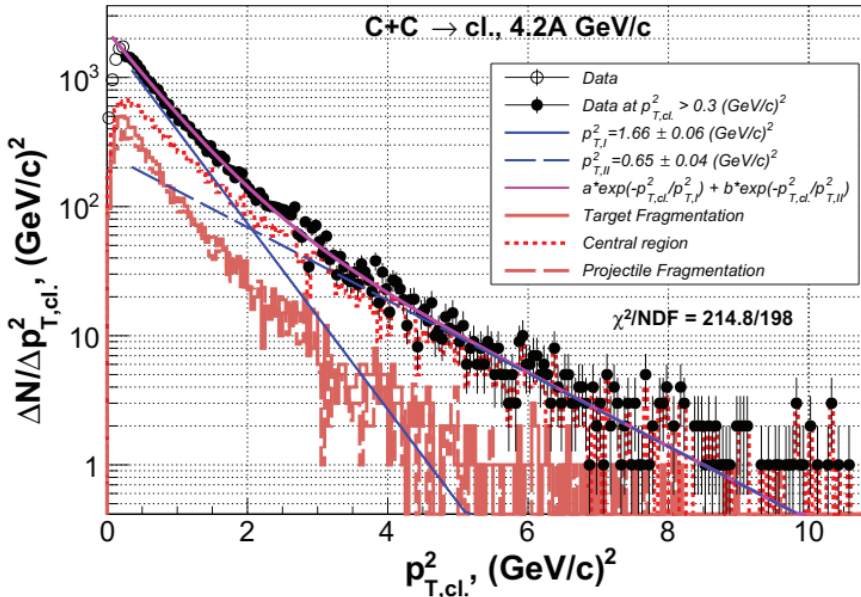


Зураг3: Адроны кластеруудын дагуу хурдцан тархалтууд. Энд хар дугуй болон цагиргаар туршилагын үзүүлэлт (эхлээд бид сум болон бай цөмүүдийн  $Z_f=1$  бүхий хэлтэрхийнүүдийг оруулж кластер босгосон-хар дугуй, харин эдгээр хэлтэрхийнүүдийг эс тооцсоныг цагиргаар тус тус тэмдэглэсэн), ногоон, улаан ба хөх дугуйгаар холимог, протонууд ба мезоны кластеруудын тархалтууд. Зүүн талын гистограммаар бай-цөмийнх, дундах нь төвийн мужийнх бол баруун талын гистограмм нь сум цөмийн фрагментацийн мужид харгалзах тархалтууд.

**Адроны кластеруудын хөндлөн импульсийн квадрат.** Энэ хувьсагчаар байгуулсан түгэлтийг 4-р зураг дээр үзүүлээ. 4-р зургаас харахад  $p_{T,cl}^2 < 0.3$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> мужид  $dN/dp_{T,cl}^2$  түгэлт өсөж байгаад, дараа нь буурч байгааг хоёр экспоненциалуудын нийлбэрээр дөхүүлэлт хийн тайлбарлаж болох нь. Эхний экспоненциал нь  $0.3 < p_{T,cl}^2 < 3$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> интервалд давамгайлж,  $\exp(-p_{T,cl}^2/p_{T,I}^2)$  хуулиар дөхүүлэлт хийхэд налуугийн параметр  $p_{T,I}^2$  нь  $p_{T,I}^2 = 1.66 \pm 0.06$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> тэнцүү байна. Дараагийн экспоненциал  $\exp(-p_{T,cl}^2/p_{T,II}^2)$  хэлбэрээр дөхүүлэлт хийгдэж, харгалзсан налуугийн параметр  $p_{T,II}^2$  бол  $p_{T,II}^2 = 0.65 \pm 0.04$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>-тэй

тэнцүү байна. Энэ зураг дээр бай ба сум цөмийн мужид  $dN/dp_{T,cl}^2$  түгэлт хоорондоо төстэй байхад төвийн мужид мөн хоёр экспоненциалын нийлбэрээр тодорхойлогдох нь тодорхой харагдаж байна харин тэдгээрийн налуугийн коэффициентууд нь мөргөлдөгч цөмүүдийн фрагментацийн мужуудаас их байна. Эндээс  $dN/dp_{T,cl}^2$  тархалт 3 хэсгээс бүрдэж байна, үүнийг  $dN/dy_{cl}$  тархалтаас тодорхой харагдаж байна.

Энэ 4-р зургаас онцлон тэмдэглэхэд, бай болон сум цөмийн фрагментацийн мужуудад  $\Delta N/\Delta p_{T,cl}^2$  тархалтууд хоорондоо адилхан бол төвийн мужийнх  $p_{T,cl}^2$ -ийн их утгад бага налуутай байна.



Зураг 4: Кластеруудын импульсийн хөндлөн байгуулагчийн квадратын түгэлтүүд. Цагаан дугуй цагиргаар туршилтын үзүүлэлт, харин хар дугуйгаар  $p_{T,cl}^2 > 0.3$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> нөхцөлд тохирсон туршилтынх, ягаан муруйгаар 2 экспоненциалуудаар хийсэн дөхүүлэлт, түүний байгуулагчуудыг хөх ба тасархай хөх шулуунаар дүрсэлсэн. Энд мөн бай-цөмийн (бор гистограмм) сум цөмийг (тасархай бор гистограмм) ба цэгэн улаан гистограммаар төвийн мужид тус тус харгалзах түгэлтүүд.

**Адроны кластеруудын задралын температур.** Кластераар дамжин үүссэн бөөмсийн температур бүтцийн функц  $F(T_k) = Ed^3\sigma/dp^3$ -ийн тусламжтайгаар кластерын задралаар температур буюу

энергийн онцлог шинжийн судалдаг уламжлалтай. Энд  $T_k$  бол кластерын тайван систем дахь бөөмийн кинетик энерги. Эдгээр функцүүд нь  $F(T_k) \sim \sum_{i=1} \exp(-T_k/T_0^i)$  гэсэн экспоненциал хуулиар дөхүүлэлт

хийж, кластеруудын задралын температур хэмээн нэрлэдэг  $T_0^i$  параметрийг боддог билээ.  $T_0$  параметрийг  $T_0 = m \langle b_k \rangle / 2$  илэрхийллээр тодорхойлдог. Энд  $\langle b_k \rangle$  хувьсагч нь  $b_k$  түүний кластер (олгойдох

процесст) дахь  $E \frac{d^3 \sigma}{d\vec{p}}$  инвариант функц

$F(b_k)$ -г байгуулаад, дараа нь нэг ба олон экспоненциал функцүүдийг нийлбэрээр буюу

$$F(b_k) \sim A \cdot \exp(-b_k / \langle b_k \rangle)$$

$$F(b_k) \sim A_1 \exp(-\frac{b_k}{\langle b_k \rangle_1}) + A_2 \exp(-\frac{b_k}{\langle b_k \rangle_2}) + \dots$$

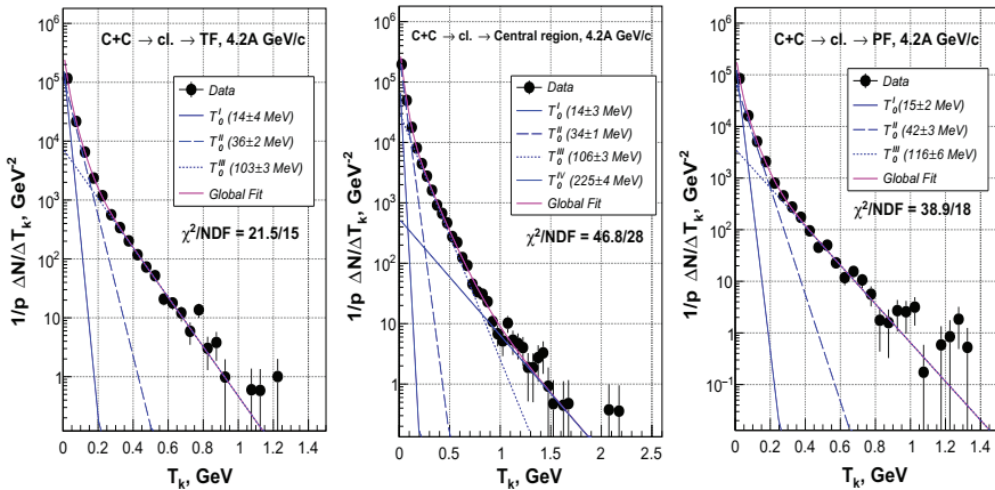
хэлбэрээр дөхүүлэлт хийж тодорхойлдог [2],  $b_k$  хувьсагч өөрөө кластерын төвтэй харьцангуйгаар  $k$  бөөмийн 4 хэмжээст хурд юм. Үүнийг  $b_k = -(V_{cl} - u_k)^2$  гэж илэрхийлдэг ба  $V_{cl}$  нь кластерын төвийн хурд,  $u_k$  бөөмийн хэмжээст импульс. Эндээс дүгнэхэд кластер дахь бөөмийн температур  $T_0$  (эсвэл  $\langle b_k \rangle$ ) нь анхдагч энергийн өргөн мужид харилцан үйлчлэлийн олон төрлүүдэд бөөмсийн бүлээр төрөх анализ нь хэмжээст харьцангуй хурдны квадратын огторгуйд ерөнхий нийтлэг зүй тогтлыг илрүүлдэг [5].

Адроны кластерын тайван системд тэдгээрээс задарч буй бөөмсийн температурыг тодорхойлохдоо  $F(T_k) = 1/p \cdot \Delta N / \Delta T_k$  бүтцийн функцээр түгэлт байгуулж, дараа нь хэд хэдэн экспоненциаль функцүүдийн нийлбэрээр дөхүүлэлт хийж олсон ба түүнийг 5, 6-р зургууд дээр үзүүлсэн. Энэ зураг дээр кластеруудыг бай цөм (target)-ийн, төв (center)-ийн ба сум-цөм (projectile)-ийн мужуудад хувааж, температурыудыг тодорхойлсон утгуудын (3-р хүснэгт) -д нийтэлсэн. Харин адроны кластерыг

бүрдүүлсэн бөөмсийн төрлөөс хамааруулсан (зөвхөн пионуудаас, пион болон протонуудаас ба зөвхөн протонуудаас тогтсон) нөхцөлд харгалзсан  $T_0^i (i = \overline{1, 4})$ -ийн утгуудыг 4-р хүснэгтэд нийтлэн үзүүлэв. 3, 4 хүснэгтүүдээс үзэхэд цөмийн матери ( $T_0 \sim 15$  МэВ температуртай), цөм-адроны холимог систем ( $T_0 \sim 30 \div 40$  МэВ), адроны төлөв ( $T_0 \sim 100 \div 120$  МэВ) ба ямар нэгэн их температур ( $T_0 \sim 220 \div 250$  МэВ)-тай төлөвүүд туршлагаар ажиглагдаж байна. Мөн харилцан үйлчлэлийн төвийн муж дахь “холимог” ба “протон”-ы кластеруудын задралын температурыг шинжилж үзбэл адроны материас кварк-глюоны плазмын төлөвт шилждэг гэсэн дүгнэлт [4]-ийг гэрчлэн баталж байна.

Кластерын ба олгойдолтын анализ бол инклюзив анализыг бодвол бөөмсийн хоорондох шүтэлцээ (корреляц)-г өөртөө тооцож байдаг учраас заримдаа энэ төрлийн анализууд хоорондоо нийцэхгүй байх нөхцөлтэй гэхдээ физик үзэгдлийн мөн чанар анализын төрлөөс үл хамааран ажиглагддаг.

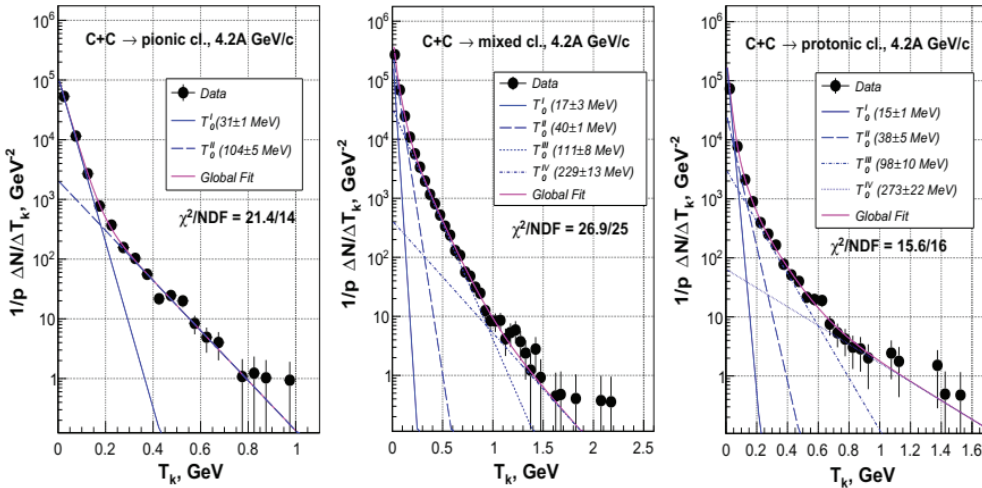




Зураг 5: Харилцан үйлчлэлийн 3 мужид тус бүрд кластерын тайван систем дахь кинетик энергиэр байгуулсан бүтцийн функцүүдийн тархалт. Энд зүүн талын зураг дээр бай цөмийн фрагментцын бүтцийн функцийг мужид  $F(T_k)$ -ийн тархалт, түүний 3 экспоненциал функцүүдийн нийлбэрээр дөхүүлэлт хийсний ягаан муруйгаар, харин хөх, тасархай хөх, цэгэн хөх шулуунууд энэ 3 экспоненциал функцүүдэд харгалзах дөхүүлэлтүүд, баруун талын зураг дээр сум цөмийн фрагментацийн мужид бүтцийн  $F(T_k)$  функцүүд, тэмдэглэгээ зүүн талынхтай адилхан. Харин дунд талын зураг дээр харимхай бус үйлчлэлийн төвийн мужид харгалзах бүтцийн  $F(T_k)$  функцийг тархалт, энд 4 экспоненциал функцүүдийн нийлбэрээр дөхүүлэлт хийгдэг, тэдгээрийн хөх, тасархай хөх, цэгэн хөх, цэгтэй тасархай хөх шулуунууд дүрслэн үзүүлсэн.

Хүснэгт 3. Харилцан үйлчлэлийн мужуудад харгалзсан  $T_0^i (i = \overline{1,4})$ -ийн утгууд

	Бай	Төвийн муж	Сум
$T_0^I$	$14 \pm 4$	$14 \pm 5$	$15 \pm 2$
$T_0^{II}$	$36 \pm 2$	$34 \pm 1$	$42 \pm 3$
$T_0^{III}$	$103 \pm 3$	$106 \pm 3$	$116 \pm 6$
$T_0^{IV}$	-	$225 \pm 4$	-
	$\chi^2/NDF = 21.5/15$	$\chi^2/NDF = 46.8/28$	$\chi^2/NDF = 38.9/18$



Зураг 6: Кластеруудын төрлөөс  $F(T_k)$  бүтцийн функцийг тархалтууд. Зүүн талын зураг дээр зөвхөн пионуудаас бүрдсэн кластеруудын, дунд талынх пион ба протонуудаас бүрдсэн “холимог” кластерууд ба баруун талынх нь зөвхөн протонуудаас бүрдсэн кластеруудын хувьд байгуулсан  $F(T_k)$  функцийг тархалтууд бөгөөд зураг бүр дээрх тэмдэглэгээ 5-р зурагтай адилхан болно.

Хүснэгт 4. Пионы, холимог ба протоны кластеруудын  $T_0^i (i = \overline{1, 4})$ -ийн утгууд

	Пионы кластер	Холимог кластер	Протоны кластер
$T_0^I$	31±1	17±3	15±1
$T_0^{II}$	104±5	40±1	38±5
$T_0^{III}$	-	111±8	98±10
$T_0^{IV}$	-	229±13	273±22
	$\chi^2/NDF = 21.4/14$	$\chi^2/NDF = 26.9/25$	$\chi^2/NDF = 15.6/16$

## ДҮГНЭЛТ

Бид өмнөх кластерын анализ хийж байхдаа зөвхөн тайвны масстай бөөмсөөр кластер сэргээн босгож байсан [17]-[19]. Сүүлийн жилүүдэд бид тайвны массаас үл хамаарах огторгуй ашигласан  $k_T$  алгоритм [20]-ыг хэрэглэсэн [16]. Адроны кластерыг сэргээн босгохдоо хэрэглэдэг тайралтын параметрийг  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  задралаар  $\pi^0$ -мезон хэмээх резонансыг хэрхэн зөв ялгаж болохыг онолын загвараар бодсон хиймэл өгөгдлүүдээр туршиж үзсэн болно. Онолын Fritiof 1.6 загвараар бодож гарсан

гамма-квантуудаар кластер байгуулж, кластерын массыг цэгнэж үзвэл, анхны энергийг өсгөх тутам тайралтын параметр буурч байгаа хамаарлыг олж тогтоолоо. Тайралтын параметрээ  $d_{cut} = 0.05$  гэж тооцон  $CC$ -үйлчлэлд анхдагч цөмүүдийн спектаторуудыг оролцуулаагүй, цэнэгт пион ба протонуудаар адроны кластерын сэргээн босгож байгуулаад дараах үр дүнд хүрлээ:

- Адроны кластеруудын дагуу хурдцын тархалтаар харилцан үйлчлэлийн 3

- мужийг ялгаж тогтоолоо;
- Кластерын импульсийн хөндлөн байгуулагчийн квадратыг  $50 \text{ (МэВ/с)}^2$ -ийн алхмаар байгуулсан тархалтаас харахад  $p_{T,cl}^2 < 0.3 \text{ (ГэВ/с)}^2$  хүртэл өсөж байгаад дараа нь хоёр өөр налууугийн параметртэй экспоненциал хуулиар буурч байна. Бай болон сум цөмийн фрагментацийн мужид  $\Delta N / \Delta p_{T,cl}^2$  тархалтуудын хэлбэрүүд нь хоорондоо адилхан байна;
  - Кластерын задралын температурыг тодорхойлоход харилцан үйлчлэлийн төвийн хар мужид задралын их температуртай кластерууд байна. Тоон утгаараа энэ их температур нь цөмийн төлөвөөс, адроны төлөвөөр дамжин

кварк-глюоны плазмын төлөв илэрч байна. Энэ дүн нь өөр аргаар гаргасан [4] ажлын дүнтэй ойролцоо байна. Иймд товчоор фазын шилжилтийг туршилтаар илрүүлэх боломжтой байна.

Талархал: Профессор Ц. Баатар, Г. Шархүү, Ц. Энхбат нарт бидний ажилд үргэлж дэмжлэг үзүүлж, харилцан шүүн хэлэлцэж, үнэтэй зөвлөгөө өгсөнд гүн талархаж байна. Түүнчлэн ОХУ-ын Дубна хот дахь Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институтийн Их энергийн физикийн лабораторийн эрдэмтэн О.В. Рогачевскийд туршлагын үр дүнг дахин сэргээхэд гүн туслалцаа үзүүлсэнд зохиогчид талархал илэрхийлж байна.

## НОМ ЗҮЙ

1. Haidt, T., DESY 81-084, 1981.
2. В.Г.Гришин, Л.А. Диденко, А.А.Кузнецов, Т.Б.Проголова, ОИЯИ, p1-89-838, Дубна, 1989. В.Г.Гришин, Л.А. Диденко, С.М. Елисеев, Т. Ганарек, З.В. Метревели, В.С. Мурзин, ОИЯИ p1-82-393, Дубна, 1982.
3. Г.Н. Агакишнев, бусад, ОИЯИ p1-82-508, Дубна, 1982.
4. L.A. Didenko, V.G. Grishin, M. Kowalski, A.A. Kuznetsov, Z.V. Metreveli, JINR, E1-84-354, Dubna, 1984.
5. L.A. Didenko, V.G. Grishin, A.A. Kuznetsov, JINR, E1-91-323, Dubna, 1991.
6. Бондарегко А.И и др. Сообщ. ОИЯИ, 1-80-778, Дубна, 1980.
7. R. Togo et al. Proc. Mongolian Academy of Sciences, 2016, vol.56, №1 (217), p5-12, Ulaanbaatar, DOI: <http://dx.doi.org/10.5564/pmas.v56i01.671>.
8. Гаспарян А.П, Препринт ОИЯИ, p1-80-778, Дубна, 1980.
9. Nagamiya S. et al., Phys.Rev.C, v24,1981, p971.
10. Malfried R. et al., Phys.Rev.C, v31,1985, p1275.
11. Adyaseich B.P. et al., Preprints IAE-3973/2, 1984; IAE-4148/2, 1985, Moscow;
12. Армутлийски Д. и др. Препринт ОИЯИ, p1-86-263, Дубна, 1986
13. Г.Н. Агакишнев и др, Препринт ОИЯИ p1-81-176, Дубна, 1981.
14. Баатар Ц. и др, Препринт ОИЯИ p1-86-477, Дубна, 1986.
15. Abdrahmanov E.O. et al. Z.Phys.C. v5, 1980, p1
16. Р. Тогоо, Ж. Шинэбаяр, Д. Отгонсүрэн., ШУА-ийн мэдээ, 2014, №2,(210),72-78.
17. Ангелов Н. Любимов В.Б., Тогоо Р., JINR Rapid Comm. №38-89, Дубна, 1989, pp11-15; ЯФ., том 54, №5(11),1991. pp1316-1326; ЯФ., том 55, №11,1992. pp2953-2961;
18. Baldin A.M., Didenko L.A., JINR Rapid Comm., №3-84, Dubna, 1984, p.5; №8-85, Dubna, 1985, p.5. Baldin A.M., et al., Z.Phys.C, 33, 1987, p.363; YaF, 1984, vol.39, p.1215; YaF, 1985, vol.41, p.317.
19. Ангелов Н. и др. Comm.IPT MAS, 96-03, Ulaanbaatar, 1996; 96-07, Ulaanbaatar, 1996.
20. S.Ellis and D.Soper, Phys.Rev.D48 (1993) 3160, [hep-ph/9305266].

21. Г.Н. Агакишнев, бусад, ОИЯИ, р1-84-35, Дубна, 1984. ЯФ, Т.40, вып.5, 1984, 1209; Z.Phys., 27С(1985) 177
22. Гаспарян А.П, ба бусад, ЯФ, Т.34, 1985 1318.
23. Ангелов Н, ба бусад, ОИЯИ, р1-80-473, Дубна, 1980.ЯФ, Т.33, вып.4, 1980, 1046-1056

Кластер байгуулах тайралтын параметрийг 4.2÷205 ГэВ/с импульсийн мужид адрон-адрон, адрон-цөм, цөм-цөмийн мөргөлдөөнд гамма квант-гамма квантын эффектив массаар тодорхойлсон дүн

NN	Харилцан үйлчлэлийн төрөл	Анхдагч импульс $p_0$ (ГэВ/с)	Анхдагч объектоос харилцан үйлчлэлд оролцсон протоны дундаж утга, $\langle v_p \rangle$	$\langle v_p \rangle \cdot p_0$ (ГэВ/с)	Тайралтын параметрийн утга $d_{cut}$
1	pp, pC, pTa	4.2	1.0	4.2	0.12±0.03
2	dC, dTa	4.2A	1.3±0.1 <sup>[21]</sup> , 1.3 <sup>[22]</sup> , 1.60±0.04 <sup>[23]</sup>	5.5±0.1 6.7±0.2	0.09±0.02 0.08±0.02
3	HeC, HeTa	4.2A	2.5±0.1 <sup>[21]</sup> , 2.0 <sup>[22]</sup> , 2.86±0.10 <sup>[23]</sup>	10.5±0.4 12.0±0.4	0.06±0.01 0.056±0.01
4	pp, pC, pTa	10	1.0	10	0.07±0.01
5	CC, CTa	4.2A	3.8±0.2, 3.5 <sup>[22]</sup> , 6.6±0.3 <sup>[23]</sup>	16.0±0.8 27.7±1.3	0.05±0.01 0.04±0.01
6	$\pi^-p$ , $\pi^-C$	40	1.0	40	0.03±0.01
7	pp	205	1.0	205	0.007±0.002

## SECONDARY PARTICLE CLUSTERIZATION IN CARBON-CARBON COLLISION

*Shinebayar J.<sup>1\*</sup>, Sovd M.<sup>2</sup>, Togoo R.<sup>2</sup>, Tulгаа T.<sup>2</sup>, Tursukh A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Mongolian National University of Education, Mongolia*

<sup>2</sup> *Institute of Physics and Technology, MAS, Mongolia*

*\*corresponding author, e-mail: shinebayar@msue.edu.mn*

**Abstract:** In the present work, using the hadron clustering algorithm, we have determined the mass of  $\pi^0$  mesons with excellent accuracy by restoring data of the neutral particles which are produced in the collisions of carbons and propane. It has observed that the value of cut parameter for the clustering depends on the primary energies.

We have studied hadron cluster's and its particle multiplicities, longitudinal rapidity, transverse momentum and the temperature feature of cluster decay. In the central region of the interaction, there is a cluster with high temperature produced by the collision process.

**Keywords:** *Bubble chamber; interaction event; particle; cluster; multiplicity; temperature;*