

Улсын бүртгэлийн
дугаар:.....

Нууцын зэрэглэл: Б

Төсөл хэрэгжүүлэх гэрээний
дугаар: ШyCc-2019/20

ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ ФИЗИК, ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН

“БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ”

суурь судалгааны төсөл гүйцэтгэх ажлын тайлан

2019-2022

Төслийн удирдагч:

Р.Тогоо, академич, доктор (Sc.D)

Санхүүжүүлэгч байгууллага:

Шинжлэх Ухаан, Технологийн Сан

Захиалагч байгууллага:

Боловсрол, шинжлэх ухааны яам

Улаанбаатар

2023 он

ТӨСЛИЙН ГҮЙЦЭТГЭГЧИД:

1. Равдандорж ТОГОО
ФТХ-ийн Онолын ба их энергийн физикийн лабораторийн эрдэм шинжилгээний тэргүүлэх ажилтан, төслийн удирдагч шинжлэх ухааны доктор, академич
2. Гомбожавын Шархүү
ФТХ-ийн Онолын ба их энергийн физикийн лабораторийн эрдэм шинжилгээний тэргүүлэх ажилтан, доктор
3. Наранхүү Хишигбуян
ФТХ-ийн Онолын ба их энергийн физикийн лабораторийн эрдэм шинжилгээний дадлагажигч ажилтан, магистр,
4. Жанчив Шинэбаяр
МУБИС-ын Боловсрол судлалын сургууль, докторант
5. Бадарч Жадамба
МУБИС-ын Боловсролын суурь судалгааны төв, доктор
6. Очирбат Алтангоо
МУБИС-ын Хөтөлбөрийн алба, доктор
7. Төмөрбаатар Ганбаатар
МУБИС-ын Боловсрол судлалын сургууль, доктор
8. Сүхбаатар Батчулуун
Сүхбаатар аймаг, Баруун-Урт сумын ерөнхий боловсролын II сургууль

ГАРЧИГ

РЕФЕРАТ.....	4
Төслийн үр дүнгийн даалгавар.....	5
ОРШИЛ.....	7
I. ОРЧИН ҮЕИЙН ЭГЭЛ БӨӨМИЙН ФИЗИКТ ХЭРЭГЛЭЖ БУЙ ОНОЛЫГ ЗАГВАРУУДЫГ ТУРШЛАГЫН СУДАЛГААТАЙ ХОЛБОХ	
1.1 Харимхай бус C+C үйлчлэл дэх сум цөмийн хэлтэрхийнүүд.....	8
1.1.1 Туршилтын материал.....	8
1.1.2 Судалгааны аргазүй.....	9
1.1.3 Онол-туршлагын харьцуулалт.....	10
1.1.4 Сум нүүрстөрөгчийн цөмийн хэлтэрхийнүүдийг ялгасан нь.....	11
1.1.5 Азимутал өнцгийн корреляц.....	15
1.1.6 Бүтцийн функцийн тархалт ба температурын үзүүлэлт.....	17
1.2 205 ГэВ/с импульстай протон-протоны харилцан үйлчлэлд үүссэн π^- мезоны хөндлөн импульсын тархалтыг ашиглан Цаллисын аргаар дөхүүлэлт хийх.....	18
1.2.1 Цаллисын дөхүүлэлтийн арга.....	19
1.2.2 Туршилтын өгөгдөл.....	20
1.2.3 UrQMD загвар.....	21
1.2.4 Судалгааны үр дүн.....	22
1.3 Цөмийн фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй хүчилтөрөгчийн цөмийн мөргөлдөөнийг ялгасан нь.....	25
1.3.1 Туршлагын материал.....	27
1.3.2 Цөм фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй мөргөлдөх нөхцөлийг ялгах уламжлалт арга.....	27
1.3.3 Хүчилтөрөгчийн цөм фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй мөргөлдөхийг ялгах процесс	28
II. ЭГЭЛ БӨӨМСИЙН ФИЗИКИЙН ОНОЛЫН ЗАГВАРУУДЫН ӨГӨГДЛҮҮД ДЭХ РЕЗОНАНСЫГ ҮҮСГЭСЭН МЭДЭЭЛЛЭЭР ТҮҮНЭЭС ҮҮССЭН БӨӨМС НЬ КЛАСТЕРЧЛАГДАХ ОГТОРГУЙН ХЭМЖЭЭГ КВАНТ ТООНУУДААС ХАМААРСАН ЗҮЙ ТОГТЛЫГ ТОДОРХОЙЛОХ	
2.1 Лобачевскийн огторгуйг ашиглан туршилтын өгөгдлүүдэд их энергитэй эрэг цэнэгтэй бөөмсийг дахин ангилсан засварууд.....	32
2.1.1 Хагедорны тархалт.....	35
2.1.2 Цаллисын тархалт.....	38
2.2 40 ГэВ-ийн энергитэй сөрөг пионы протонтой болон нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчилсэн мөргөлдөөнд илэрсэн резонансууд.....	40
2.2.1 Судлагдсан байдал.....	41
2.2.2 Туршлагын төлөв байдал.....	43
2.2.3 Үр дүн.....	44

2.3	Сөрөг пионы протон ба нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчлэлээр үүссэн цэнэгт бөөмсийн азимутал өнцгийн бүтцийг судалгаа.....	47
2.3.1	Туршилтын дэлгэрэнгүй.....	48
2.3.2	S параметруудийн арга зүй.....	49
2.3.3	Үр дүн ба боловсруулалт.....	50
2.4	Загварчлалын GEANT4 программаар пропант (C3H8) хөөст камерт үүссэн бөөмсийн тоог өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох.....	56
2.4.1	Материал ба судалгааны арга зүй.....	56
2.4.2	Судалгааны үр дүн.....	57
III.	ДЭЭД БОЛОН ЕРӨНХИЙ БОЛОВСРОЛЫН СТАТИСТИК МЭДЭЭЛЭЛД КЛАСТЕРЫН АНАЛИЗИЙГ ХЭРЭГЛЭН МЭДЛЭГ ЧАДВАР-ХАНДЛАГЫН ХАМААРЛЫН ДҮР ЗУРГИЙГ ГАРГАХ	
3.1	Кластер анализ ашиглан суралцагчдыг сурах хандлагаар ангилсан нь.....	58
3.1.1	Судалгааны арга зүй.....	59
3.1.2	Классик тестийн онол.....	60
3.1.3	Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг.....	62
3.2	Байгалийн ухааны чиглэлээр виртуаль лабораторийн эхлэл тавих.....	67
3.2.1	МУБИС, ЦШНИ-ийн хамтын ажиллагааны гэрээ байгуулав.....	68
3.2.2	ЦШНИ-ийн олон улсын хамтын ажиллагааны төлөвлөгөөнд орсон эрдэм шинжилгээний сэдэвт ажилд оролцсон байдал.....	72
IV.	СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН, ДҮГНЭЛТ	77
V.	АШИГЛАСАН НОМЗҮЙ	80

ХАВСРАЛТ 1.

“Бөөмсийн кластерчлал” суурь судалгааны төслийн хэвлүүлсэн бүтээлийн талаар

ХАВСРАЛТ 2.

“Бөөмсийн кластерчлал” суурь судалгааны төслийн хэвлүүлсэн бүтээлийн жагсаалт

РЕФЕРАТ

Сансрын туяаны физикийн туршлагын үр дүнгээс [28]÷ [30] эрдэмтэд 1÷10 ТэВ энергийн мужид адронуудын бүлээр үүсэх процессыг тайлбарлахдаа: эхлээд 2÷5 ГэВ масс бүхий массын төвийн системд харьцангуй удаан хөдөлж байгаа цөмийн матери (бөөгнөрөл)-ийн 2 хэсэг үүсдэг, дараа нь энэ бөөгнөрлүүд дунджаар 5÷10 бөөмс болон задардаг. Олон орны эрдэмтэд адроны бөөгнөрлийн задралын тухай термодинамик (гидродинамик)- ийн онолыг боловсруулж, улам сайжруулан хөгжүүлж, олон арван туршлагыг тайлбарлаж байна. Эдгээр онолд анх удаа “кластер” гэсэн ойлголт оруулж ирсэн. Кластерууд үүсэх механизм, тэдгээрийн задралын огтлол, массын спектр ба шинж чанарын тухай асуудлууд маш чухал судалгаа бөгөөд цаашид судлах шаардлагатай. Тус ажлын гол зорилго энэ адроны кластеруудыг туршлагаар хайж олох, судлахад зориулагдаж байна. Туршлага бол үнэний шалгуур учраас Орчлонгийн үүслийг танин мэдэхээр зориулсан олон улсын хамтын ажиллагааны эх материал дээр гүн гүнзгий анализ гүйцэтгэх нэг чухал зорилт байдгаас уг төслийг 3 жилд хийж гүйцэтгэж, орчин үеийн физикийн хамгийн сүүлийн үеийн бөөмсийн кластерчлагдах процессын чиглэлээр эрдэм шинжилгээний ажил явуулж, ном, сурах бичиг, гарын авлага бичиж хэвлүүлээд, залуу судлаачдын онол-туршлагын мэдлэгийг олон улсын жишигт хүргэсэн. ФТХ-ийн Их энергийн салбарт хуримтлуулсан туршилтын материалуудад хоёрдогч бөөмсийг ялган танихад хэрэглэсэн хүнхэр огторгуйн мөн чанарыг ашиглан, кластерчлах судалгаагаа гүйцэтгэхдээ кластер сэргээн босгох тайралтын параметрийг анхдагч энерги болон мөргөлдөгч объектуудын төрлөөс хэрхэн хамаарах нь бүрэн тайлбарлагдаагүй байсныг танин мэдэж, судалгаандаа нэвтрүүлсэн. Дээд болон ерөнхий боловсролын статистик мэдээлэлд кластерын анализыг хэрэглэсэн. Судалгааны үр дүнгээр дотоодын хянан магадалгаатай эрдэм шинжилгээний сэтгүүлд нийт 9 өгүүлэл хэвлүүлсэн байна. Эдгээрээс ШУА-ын физик технологийн хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний сэтгүүлд 5, ШУА-ын мэдээ сэтгүүлд 1, МУИС-ын физик сэтгүүлд 1, МУБИС-ын Лавай сэтгүүлд 1, Академич Баатарын Чадраа боть II 1 өгүүлэл хэвлүүлсэн үр дүнтэй тэсэл хэрэгжсэн. Мөн судалгааны үр дүнгээр “бөөмсийн кластерчлал” нэртэй шинжлэх ухаан танин ном болон Академич Баатарын Чадраа боть II-ыг редакторлан хэвлүүлсэн байна.

ТӨСЛИЙН ҮР ДҮНГИЙН ДААЛГАВАР

Төслөөр бий болох үр дүн	Тоо хэмжээ	Үр дүнгийн үзүүлэлт	Үр дүн хүлээлгэн өгөх хугацаа (он, сар)
Орчин үед эгэл бөөмсийн физикт хэрэглэж буй онолын загваруудыг туршлагын судалгаатай холбож, танин мэдэхүйн өгөөжийг дээшлүүлэх;	2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Туршлагын өгөгдлүүдийн үр дүнг хамгийн сайн тайлбарласан онолын загвартай болно. 2. Резонансын квант тоо тайралтын параметр хэрхэн нөлөөлөх эсэхийг тодорхойлно (ЭШӨ 1). 	2019 он 12 сар
Эгэл бөөмсийн физикийн онолын загваруудын өгөгдлүүд дэх резонансыг үүсгэсэн мэдээллээр түүнээс үүссэн бөөмс нь кластерчлагдах огторгуйн хэмжээг квант тоонуудаас хамаарсан зүй тогтолыг тодорхойлох;	4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Лобачевскийн геометрийг хэрэглэн туршилтын материалд засвар хийнэ. 2. Туршилтын өгөгдлүүд дээр резонансууд хайна (ЭШӨ 1). 3. Цагирган (ring-like) болон олгойдох (jet-like) хэлбэртэй үзэгдлүүдийн холбоог кластерчлалаар тайлбарлана (ЭШӨ 1). 4. Зарим туршилтыг GEANT4 программаар загварчилж физик хэмжигдэхүүнүүдийн 	2020 он 12 сар

		нарийвчлалыг тогтооно (ЭШӨ 1).	
Дээд болон ерөнхий боловсролын статистик мэдээлэлд кластерын анализыг хэрэглэн, мэдлэг чадвар-хандлагын хамаарлын дүр зургийг гаргах.	3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Багшийн туршлага-чадвар-арга барил, оюутан буюу сурагчдын сурдлагын мэдээллийг эмхэтгэн боловсруулах. 2. Байгалийн ухааны чиглэлээр виртуаль лабораторийн үндсийг тавих (ЭШӨ 1). 3. Багшийн ажилласан жил-хичээлийн хөтөлбөр болон оюутан ба сурагчдын сурлагын үнэлгээний агуулгын хамаарал, мэдлэг-чадвар-хандлагын шүтэлцээг тодорхойлно (ЭШӨ 1). 	2021 он 12 сар
Судалгааны ажлын үр дүнгээр ном хэвлүүлнэ.	1	“Бөөмсийн кластерчлал” нэртэй ном хэвлүүлнэ.	2021 он 12 сар
Төслийн эцсийн тайлан бичиж захиалагч, санхүүжүүлэгчид хүлээлгэн өгөх	1	Төслийн эцсийн тайлан	2021 он 12 сар

ОРШИЛ

Кластер гэдэг нь хийсвэр объектуудын бүлгийг ижил төстэй объектуудын ангилалд хуваадаг тооцоололны үйлдэлд суурилсан өгөгдөл олборлох сонгодог арга юм. Кластер нь өгөгдлийг хэд хэдэн дэд бүлэгт хуваагддаг ба кластер бүр нь ижил төстэй шинж ихтэй, эсбэл багатай өгөгдлийн объектуудаас ч бүрддэг. Кластерын шинжилгээ бол объектуудыг шинж чанарт нь үндэслэн бүлэглэх бөгөөд кластер доторх ижил төстэй шинж давамгайлдаг харин кластер хоорондын ижил төсгүй ч бага магадлалтай. Кластер гэж юу вэ? Кластерт ангилахдаа хамгийн бага зай, өгөгдлийн цэгүүдийн нягтрал, график эсвэл янз бүрийн статистикийн тархалт зэрэг шалгууруудыг ашигладаг. Кластер шинжилгээ нь хяналттай тооцоолол, өгөгдөл олборлолт, статистик, график аналитик, дүрс боловсруулалт, байгаль, нийгмийн шинжлэх ухааны олон төрлийн хэрэглээнд өргөн хэрэглэгддэг. Яагаад кластерын шинжилгээ гэж? Өгөгдөл цуглуулагч эрдэмтэд болон бусад хүмүүс өгөгдөлд кластер хийх алгоритмыг хэрэглэх үед өгөгдлийн цэгүүд ямар бүлэгт (эсвэл кластерт) багтаж байгааг ажиглан өгөгдлөөс чухал ойлголт авахын тулд кластерчлалыг ашигладаг. Тодорхойлолтоор бол хараа хяналттай сургалт нь урьд өмнө нь тэмдэглэгээгүй, хүний оролцоо багатай өгөгдлийн багц дах хэв маягийг хайдаг тооцоололын сургалтын нэг төрөл юм. Мөн кластерийг ямар ч кластерт ороогүй өгөгдлийн цэгүүдийг олохын тулд гажиг илрүүлэхэд ашиглаж болно. Хоёр ба түүнээс дээш хувьсах хэмжигдэхүүн бүхий өгөгдлийн багц дах ижил төстэй объектуудын бүлгийг тодорхойлоход кластерийг ашигладаг. Практикт эдгээр мэдээллийг маркетинг, биоанагаах ухаан, газарзүйн мэдээллийн сангаас цуглуулж болно. Бүх кластерийн алгоритмуудын нийтлэг хэлхээ нь өгөгдлийн объектуудын бүлэг юм. Гэхдээ өгөгдөл судлаачид болон програмистууд өөр өөр кластерийн загваруудыг ашигладаг бөгөөд загвар бүр өөр өөр алгоритм шаарддаг. Кластерууд эсвэл олонлогууд нь объект бүр нь кластерт харьяалагддаг эсвэл хамаарахгүй хатуу нягттай бөөгнөрөл эсвэл объект бүр кластер бүрт тодорхой хэмжээгээр харьяалагддаг зөөлөн кластерууд гэж ялгадаг.

Бид энэ төсөлдөө эгэл бөөмсийн кластерчлагдах онцлог, мөн чанарыг судлаад, судалгааны ажлууд тус бүрдээ дүгнэлтэндээ бичсэн. Кластерчлагдах процесс эгэл ертөнцээс макра ертөнц хүртлэх өргөн уудам орон зай-цаг хугацааг хамардаг юм.

I. ОРЧИН ҮЕИЙН ЭГЭЛ БӨӨМИЙН ФИЗИКТ ХЭРЭГЛЭЖ БУЙ ОНОЛЫГ ЗАГВАРУУДЫГ ТУРШЛАГЫН СУДАЛГААТАЙ ХОЛБОХ

Аливаа судалгааны гол зарчим бол туршлагийн үр дүнг онолын таамаглалуудтай харьцуулан шижиж үзэх нь уг процессын мөн чанарыг тайлан ойлгоход маш чухал асуудал. Бид олон жил энэ асуудлыг ажиглаж байлаа. Сүүлийн жилүүдэд туршлагийн дүнгүүдийг тайлбарладаг загварууд зохиогдсон. Бидэнд Дубнагийн каскадын загвараас эхлээд Fritiof, QGSM (Quark Gluon String Model), Parton String Model, UrQMD(Ultra Relativistic Quantum Molecular Dynamics) гэсэн загваруудыг ашиглан ажиллаж байна. Дараах ажлуудад эдгээр загварууд хэрхэн туршлагын дүнг харах болно.

1.1 Харимхай бус C+C үйлчлэл дэх сум цөмийн хэлтэрхийнүүд

Аливаа туршилтаар хуримтлуулж авсан үр дүн цаг хугацаа өнгөрөх тутам үнэт эрдэнэ болдог билээ. Иймд Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институт (ЦШНИ)-ийн Их энергийн лаборатор (ИЭЛ)-ийн ажиллаж байсан хоёр метрийн пропант хөөст камераар цуглуулсан нүүрстөрөгчийн цөмийн харимхай бус харилцан үйлчлэлийн судалгааг бид үргэлжлүүлсээр байна. Өнгөрсөн зууны дундуур эцсийн хувилбараар бүрдүүлсэн туршлагын иж бүрдэл, тухайлбал саармаг бөөмсийн задралын ба солибилцууд болон камерын төгсгөлөг хэмжээг тооцдог жингийн тоон утгууд зарим хайнга судлаачийн алдаанаас болж устгаснаар иж бүрнээр ашиглах боломжгүй байсныг Ж.Шинэбаяр өөр форматаар хувилж авсан туршилтын өгөгдлүүдээс нөхөж оруулаад нийт статистикийн арван хувийн алдагдалтайгаар бүрдүүлсэн. Ингээд нүүрстөрөгчийн цөм пропан (C_3H_8) – тай үйлчилсэн үзэгдлийн тоо 34947. Мөн энэ туршлагын материалдаа стеоро зураган мэдээлэлд шийдэж чаддаггүй их энергитэй эерэг пионы протоноос ялгаж салгах ярвигтай асуудлыг бид шийдвэрлээд, засвар оруулж чадсан [1]. Судалгаандаа онолын загварууд болох QGSM (Кварк глюоны утсан загвар) [2] ба Fritiof [3] тооцооллын үр дүнгийн харьцуулалтыг хавсаргасан. Харьцуулалт хийхийн тулд спектаторуудын өнцгийн болон импульсийн тархалтуудыг туршлагын түгэлтүүдтэй төстэй болгосон алхамуудыг нэмж гүйцэтгэсэн. Олон жилийн өмнө нүүрстөрөгчийн цөм пропантай ба танталтай харилцан үйлчилсэн үед нүүрстөрөгчийн цөм гурван альфа цөмүүд болон задрах, сум цөмийн хэлтэрхийнүүдийн онцлогийг судалсныг дурьдах хэрэгтэй [4]. Үзэгдлийн статистик хоёр дахин өссөн учраас бид өмнө гаргаж авсан дүнг дахин батлах зорилгоор энэ бүтээлийг гүйцэтгэв.

1.1.1 Туршилтын материал

Энэ ажилд ЦШНИ-ийн Их энергийн лабораторийн Синхрофазотрон хурдасгуураар нэг нуклонд нь 4.2 ГэВ/с импульс ноогдох нүүрстөрөгчийн цөмийн мөргөлдөөний 2 метртэй пропант хөөст камер дотор бүртгэсэн туршилтын өгөгдлүүдийг ашигласан. Харилцан үйлчлэлийн статистик нь нүүрстөрөгчийн цөм пропантай мөргөлдсөн тохиолдлуудаас 18889 тохиолдол нь нүүрстөрөгч-нүүрстөрөгчийн мөргөлдсөнийг

сонгох нөхцөлүүдийг хангасан [5]. 4.2 ба 10 ГэВ/с импульстэй протонуудын болон 4.2 АГэВ/с импульс бүхий дейтрон, гелий ба нүүрстөрөгчийн цөмүүдийн хөөст камер дотор бүртгэгдсэн урвалуудын (тохиолдлууд) туршлагын материалын нэгдсэн дүнг [5] ажилд хэвлүүлсэн. Үүнээс гадна хүнхэр огторгуйг төлөөлөх Лобачевскийн огторгуйн “бүтэн хурдац” хэмээх хувьсагчийг ашиглан, их энергитэй π^+ -мезоныг протон дотроос ялган таних боломжийг олж хараад, $C^+ C$ үйлчлэлийн хувьд 20%, 10 ГэВ-ийн $p^+ C$ үйлчлэлийн хувьд 25% алдагдсан π^+ -мезоныг сэргэсэн [1]. Энэ төрлийн алдагдал анхдагч энерги ихсэх тутам өснө.

1.1.2 Судалгааны аргазүй

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

(а). Эхний бүлэгт сөрөг бүх бөөмсийг π^- -мезон гэж үздэг, гэхдээ түүн дотор ялгаж чадаагүй электроны хольц 5%-ээс хэтрэхгүй [6] 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 ÷ 15% байдаг [7-9].

(в). Дараа нь 0.7 ГэВ/с-ээс их импульстэй протонуудаас бүрдсэн релятив эерэг бөөмсийн бүлэг, энд π^+ -мезоны хольц $\sim 10\%$ [10];

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

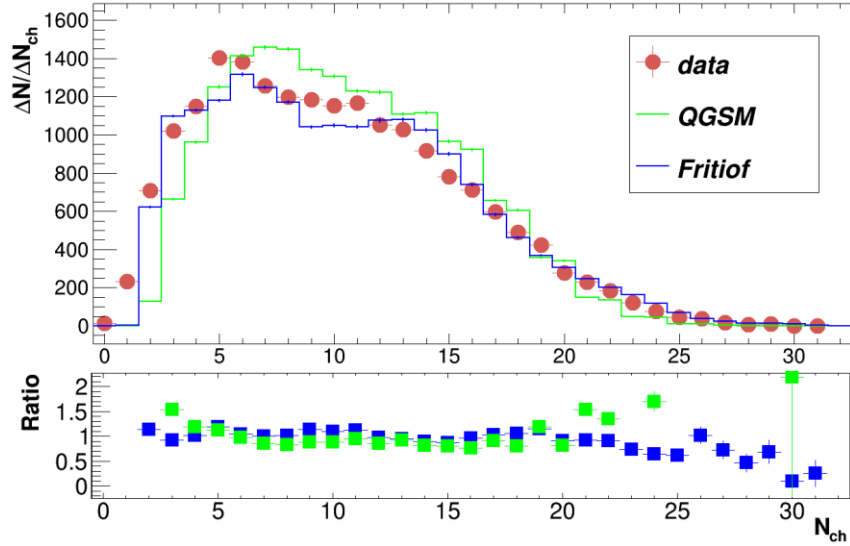
Туршлагаар хөдөлшгүй ялгагдсан π^- -мезоны импульсийн дундаж утга нь 70 МэВ/с байдаг. Мөн анхдагч сум цөмийн чиглэлд перпендикуляр чиглэлд болон фотоураг авдаг объективийн хавтгайд их өнцгөөр нисэн гарсан бөөмсийн засваруудыг мөн оруулсан. Нүүрстөрөгчийн цөмөөр камерыг шарсан тохиолдолд эдгээр засварууд нь 7% [11].

Цөм бай цөмтэй харимхай бус мөргөлдөхөд анхдагч цөмийн бүх нуклонууд мөргөлдөөнд оролцох албагүй. Эдгээрийн нэг хэсэг нь харилцан үйлчлэлд оролцоогүй фрагмент буюу хэлтэрхий хэлбэрээр үлддэг. Мэргэжлийн хэвлэлд энэ хэлтэрхийг заримдаа “спектатор” гэж нэрлэдэг. Энэ спектаторын бүлэгт импульс цэнэгийн харьцаа $3 \text{ ГэВ/с-ээс их } (p_f / Z_f > 3 \text{ ГэВ/с})$ ба гаралтын өнцөг нь $\theta_{lab} < 40$ нөхцөлийг хангасан фрагментүүд буюу сум цөмийн дан цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийг хамааруулдаг. Сум цөмийн спектаторуудыг дан буюу нэг ба олон ($Z_f > 1$) цэнэгтэй гэж дотор нь хуваадаг. Цаашид бид эдгээр спектаторуудыг $f(\text{fragment})$ гэж тэмдэглэлээ. Нөгөө талаас бай цөмийн спектаторууд бол $p_{lab} < 0.3 \text{ ГэВ/с}$ нөхцөлийг хангасан протонууд юм. Хэрвээ харилцан үйлчлэл камерт байрлуулсан гурван ялтасууд дотор явагдсан бол тантал нь $p_{lab} < 240 \text{ МэВ/с}$ импульстэй протонуудыг өөртөө шингээдэг онцлогтой. Туршлагын арга зүйн асуудлуудыг [6] - [13] ажлуудад дэлгэрэнгүй тодорхой тайлбарласан.

1.1.3 Онол-туршлагын харьцуулалт

Туршлагын өгөгдлүүдийг онолын загварчлалаар гаргаж авсан дүнтэй харьцуулахдаа эхлээд загварчлалын ерөнхий өгөгдлүүдийг туршлагын нөхцөлүүдтэй тохируулахаас гадна онолоор гаргасан магадлалын тархалтуудыг математикийн тохирох функцүүдээр өөрчлөн засварласан түгэлтүүдийг шинээр байгуулах үйлдлүүд хийдэг. Дараах дөрвөн зургуудад онолын үр дүнг туршлагын үзүүлэлтэй харьцуулсныг харуулав. Эхлээд харимхай бус $C + C$ үйлчлэлийг онолоор тооцоолон босгохдоо нүүрстөрөгчийн цөм пропаныг бүрдүүлдэг протонтой мөргөлдөх хувийг тооцоолж, нүүрстөрөгчтэй харилцан үйлчлэх үзэгдлүүдийн тоон дээр нэмж ерөнхий статистик гаргаад, дараа нь нүүрстөрөгч-нүүрстөрөгчийн мөргөлдөөнийг ялгагдаг долоон шалгуураар шүүн $C + C$ үйлчлэлийн тохиолдлуудыг түүн авсан.

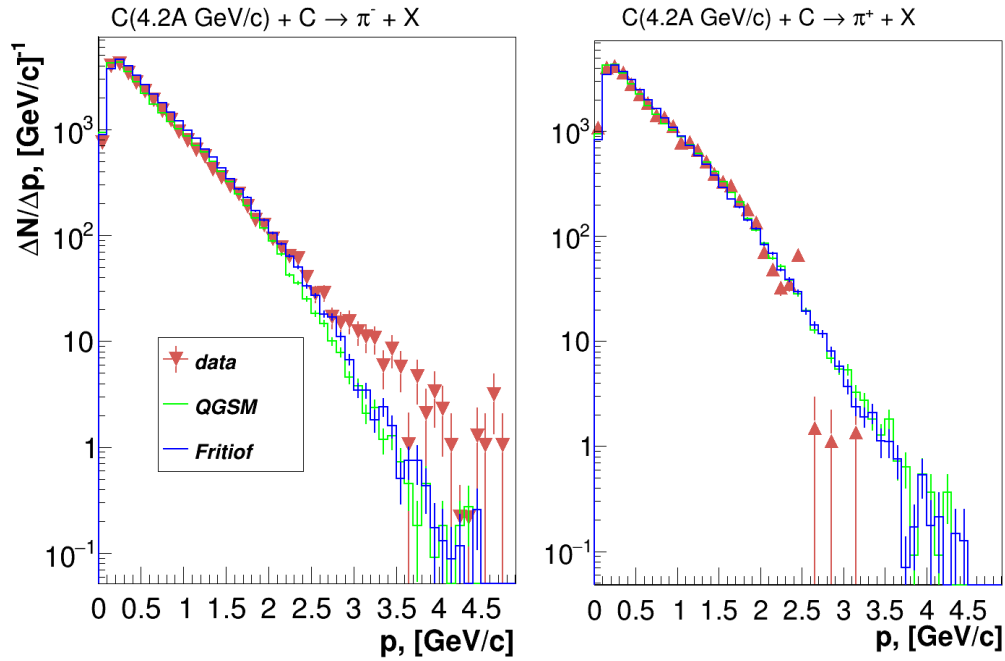
Зураг 1 дээр $C + C$ үйлчлэлээр үүссэн цэнэгт бүх бөөмсийн олонлогийг үзүүлэв. Энд онолын үр дүнгүүдийг гистограммуудаар дүрслэн харуулав, гэхдээ нормчлолыг туршлагын статистиктай тохируулан харьцууллаа. Онол-туршлагын хоорондын тохиролцоог тодорхой болгох зорилгоор онолын үзүүлэлтийг туршлагынхтай харьцуулсан, харьцаа ерөнхийдөө нэгийн ойролцоо байна. Зураг 2 – 3 дээр сөрөг ба эерэг пионуудын болон протон, сум цөмөөс мөргөлдөөнд оролцоогүй олон цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийн импульсийн тархалтуудыг харууллаа. Протон дотор сум цөмөөс мөргөлдөөнд оролцоогүй нэг буюу дан цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийг хамтатган оруулсан билээ. Зураг 4 дээр эерэг ба сөрөг цэнэгт пионуудыг нэгтгэсэн (зураг 4-ийн эхнийх) болон сум цөмөөс мөргөлдөөнд оролцоогүй дан цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдтэй протоны (зураг 4-ийн дундах), сум цөмөөс мөргөлдөөнд оролцоогүй олон цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийн сарнилын өнцгийн тархалтууд (зураг 4-ийн баруун талынх) -ыг харуулав. Сүүлчийн тархалт буюу хэлтэрнүүдийн сарнилын өнцөг дөрвөөс их үед онолууд туршлагын өгөгдлийг тайлбарлаж чадахгүй байна. Гэхдээ эдгээр дөрвөн тархалтуудаас үзэхэд, QGSM ба Fritiof загварууд туршлагын үр дүнгүүдийг тайлбарлаж байна. Бидний судалж буй системийн бүтэн энерги массын төвийн Ц-системд $\sqrt{SN} N = 3.14$ ГэВ-тэй тэнцүү, гэтэл QGSM-ын хувьд $\sqrt{SN} N = 3$ ГэВ энергийн мужид симуляц гүйцэтгэсэн онолын өгөгдлүүдийг олж ашигласан билээ.



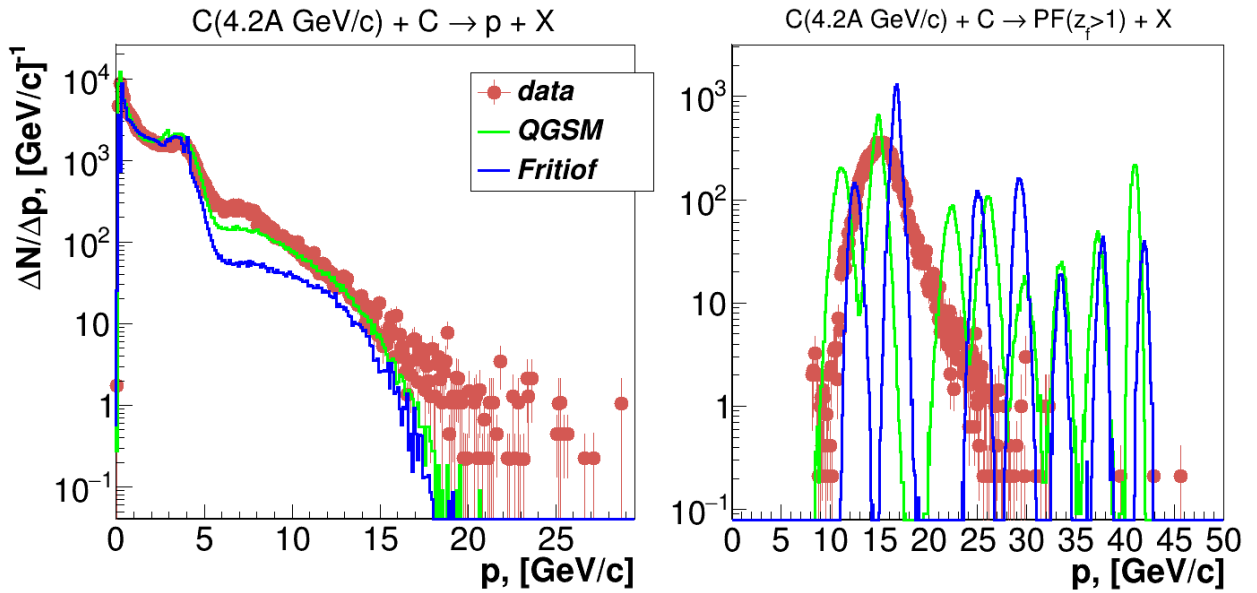
Зураг 1. C + C мөргөлдөөний цэнэгт бөөмсийн олонлог. Энд улаан бор дугуйгаар туршлагын үр дүнгийн цэгүүд, ногоон гистограммаар QGSM-ын үр дүн, хөхөөр – Fritiof загварчлалын. Доод талд туршлагын дүнг загварчлалын дүнтэй харьцуулсан тархалтууд. Хөх дөрвөлжингөөр туршлага/Fritiof харьцааг, харин ногоон дөрвөлжингөөр туршлага/QGSM харьцааг тус тус тэмдэглэв.

1.1.4 Сум нүүрстөрөгчийн цөмийн хэлтэрхийнүүдийг ялгасан нь

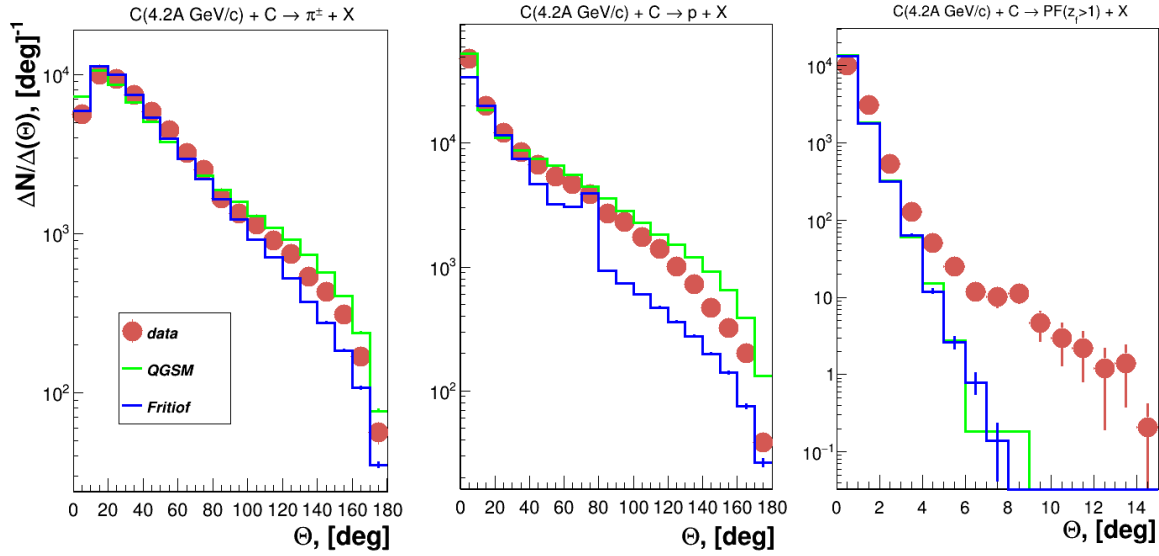
Бид эхлээд дан цэнэгтэй хэлтэрхийнүүд болох тэдгээрийн импульс нь 3 ГэВ/с -ээс их, сарнилын өнцгийн хэмжээ 4 -өөс бага байх нөхцөлийг хангасан релятив бөөмсийг дотор нь протон, дейтрон ба тритон гэж ялгах хэрэгтэй. Үүний тулд тэдгээрийн импульсийн урвуу хэмжигдэхүүнээр тархалт байгуулан ялгаж болдог [4]. Эхлээд зураг 5-д сум нүүрстөрөгчийн цөмийн дан цэ нэгтэй хэлтэрхийнүүдийн олонлогийн болон хөндлөн импульсийн квадратын тархалтуудыг үзүүлэв. Олонлогийн дундаж утгууд нь 1.88 ± 0.01 (туршлага), 2.13 ± 0.01 (QGSM) ба 1.30 ± 0.01 (Fritiof). Эндээс Fritiof загварынх бага байна. Харин хөндлөн импульсийн квадратын тархалтуудын төрх туршлага ба онолын хувьд ойролцоо байна.



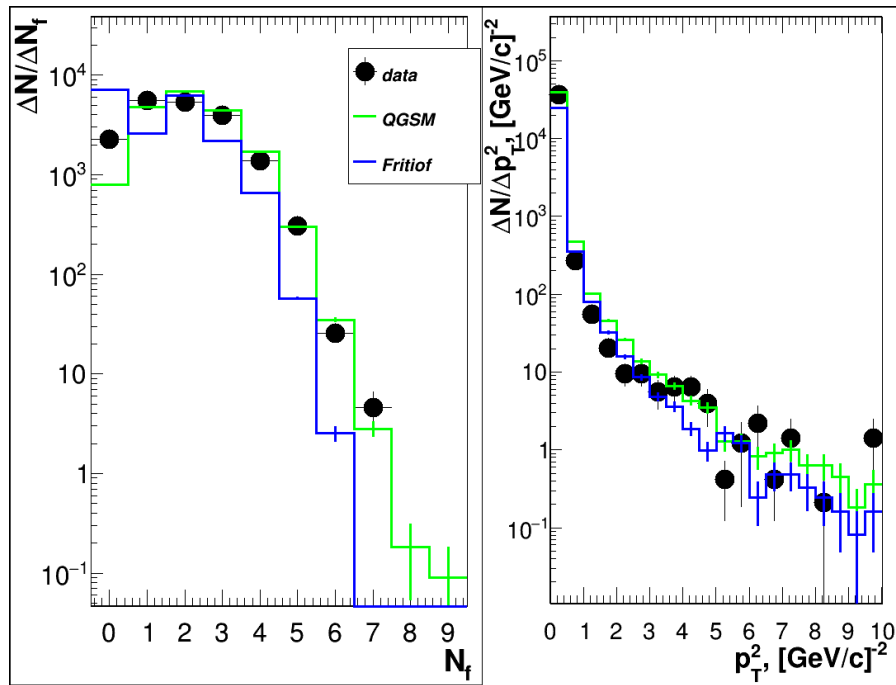
Зураг 2. C + C мөргөлдөөнөөр үүссэн хоёрдогч цэнэгт пионы импульсийн тархалт. Тэмдэглэгээ нь Зураг 1-тэй адилхан



Зураг 3. C + C мөргөлдөөнөөр үүссэн хоёрдогч протон болон олон цэнэгт хэлтэрхийнүүдийн импульсийн тархалтууд. Тэмдэглэгээ нь Зураг 1-тэй адилхан



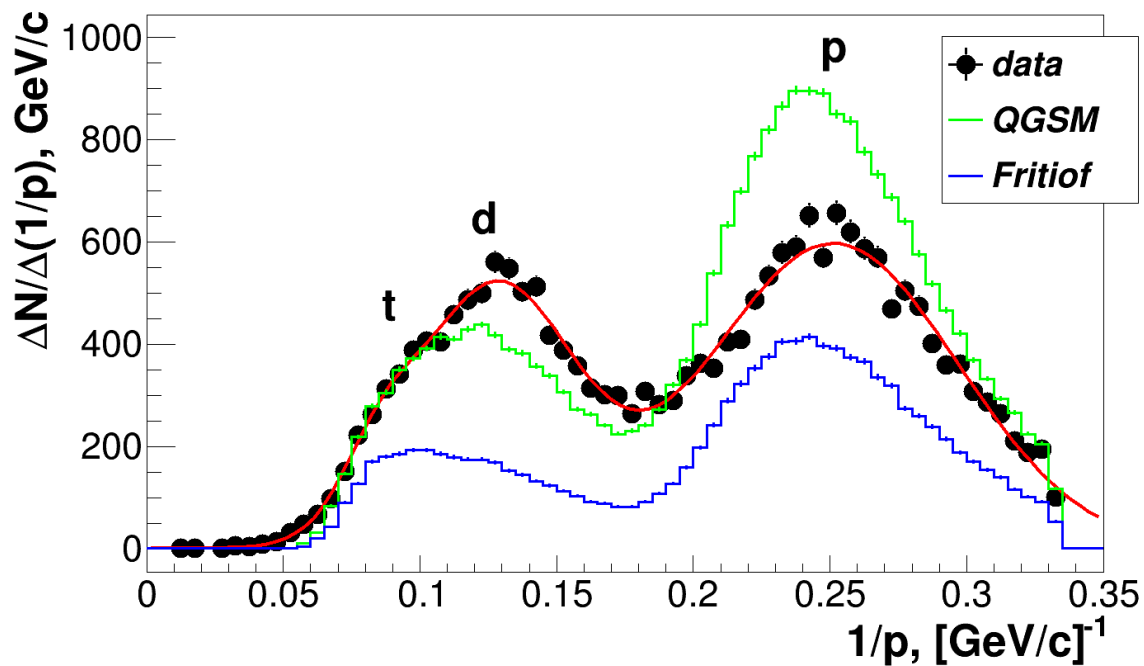
Зураг 4. C +C мөргөлдөөнөөр үүссэн хоёрдогч цэнэгт пион, протон болон олон цэнэгт хэлтэрхийнүүдийн сарнилын өнцгийн тархалтууд. Тэмдэглэгээ нь Зураг 1-тэй адилхан.



Зураг 5. C +C мөргөлдөөнд сум цөмөөс түүнд оролцоогүй хэлтэрхийнүүдийн олонлогийн болон тэдгээрийн хөндлөн импульсийн квадратын тархалтууд. Энд хар дугуйгаар туршлагын цэгүүд, ногоон гистограммаар QGSM-ын үр дүн, хөхөөр – Fritiof загварчлал.

Дараах зураг 6-д C + C мөргөлдөөнөөр үүссэн дан цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийн импульсийн урвуу тархалтыг харуулав. Энэ зургаас харахад, спектатор протоныг

импульсийн $3 \text{ ГэВ/с} < p < 5.9 \text{ ГэВ/с}$ завсарт заагласан бол дейтроныг $5.9 \text{ ГэВ/с} < p < 10 \text{ ГэВ/с}$ завсараа, харин тритоныг $p > 10 \text{ ГэВ/с}$ завсраар хязгаарласан. Үүнийг $1/p_0$ хувьсагчаар тодорхойлбол протоны хувьд $1/p_0 > 0.17$, дейтрон $1 < 1/p_0 < 0.17$, харин тритоных $1/p_0 < 0.1$ гэж харгалзна. Эдгээр завсраар протоны, дейтроны болон тритоны олонлогуудыг тодорхойлж чадна. Ингээд тэдгээрийн дундаж олонлогууд $\langle n_p \rangle$, $\langle n_d \rangle$, $\langle n_f \rangle$ -ын хүснэгт 1-д нийтлэв. Энэ хүснэгтээс олон цэнэг бүхий хэлтэрхийнүүдийн олонлогууд туршлага ба онолын үр дүнгүүд ойролцоо боловч Fritiof загварчлалын үзүүлэлтүүд дан цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийн дундаж олонлогууд туршлагынхаас 2 – 3 дахин бага байна. Харин QGSM тооцоолол туршлагынхтай их зөрөөгүй байгаа нь ажиглагдлаа. Энэ загварчлалын эрх АНУ-ын Лос-Аламосын мэдэлд байгаа.



Зураг 6. C + C мөргөлдөөн дэх сум цөмийн дан цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийн импульсийн урвуу тархалт. Энд ногоон гистограммаар QGSM-ын үр дүн, хөхөөр – Fritiof загварчлалынх. Харин улаан муруй бол гурван Гаусс функцүүдийн нийлбэрээр гүйцэтгэсэн дөхүүлэлт. Протонд харгалзах тархалтын максимумын байрлалыг (p) -ээр, дейтроныг (d) –ээр, тритоныг-(t)-ээр тэмдэглэв.

Хүснэгт 1. C + C харилцан үйлчлэл дэх спектатор протоны, дейтроны, тритоны ба олон цэнэгтэй ($zf > 1$) хэлтэрхийнүүдийн дундаж олонлогууд

	p	d	t	f(z>1)
Туршилт	0.752 ± 3	0.347 ± 0.003	0.110 ± 0.002	0.746 ± 0.004
QGSM	0.992	0.265	0.095	0.848
Fritiof	0.381	0.092	0.045	0.809

1.1.5 Азимутал өнцгийн корреляц

Цөм-цөмийн мөргөлдөөны хувьд хөндлөн чиглэлийн хөдөлгөөнийг судлах бололцоотой байдаг. Үүний тод жишээ бол азимутал хавтгай дээрх корреляц юм. Энэ корреляцийг судлахад хос азимутал өнцгүүдийн энгийн функцийг ашигладаг. Тухайн нэг үзэгдлээс i ба j дугаар бүхий бөөмсийн хөндлөн импульсүүдийн вектор үржвэрээр скаляр үржвэрт хуваасан хэмжигдэхүүнийг дараах илэрхийллээр олдог.

$$\varepsilon_{ij} = \arccos \left(\frac{\vec{p}_{Ti} \cdot \vec{p}_{Tj}}{p_{Ti} p_{Tj}} \right) \quad (1)$$

Энд \vec{p}_T , p_T - хөндлөн импульсийн вектор, скаляр хэмжигдэхүүнүүд ба φ нь азимутал өнцөг. хэмжигдэхүүни йөөрчлөгдөх хүрээлэл $\theta \leq \varepsilon_{ij} \leq \pi$. Бид энэхүү корреляцийг судлахаас өмнө азимутал өнцгийн тархалтыг байгуулж үзье, ингээд дараах зураг 7-ийн зүүн талд азимутал өнцгийн $\pi/2$ -ээр зүүн тийш шилжүүлсэн $D(\varphi) = dN/d\varphi$ тархалтыг үзүүлэв. Энэхүү тархалт азимутал өнцгийн $\varphi \sim 0$ ба $\varphi \sim \pi$ утгуудад максимум ажиглагдаж, зууван (эллиптик) урсгалын шинж агуулагдаж байна. Энэ онцлог $p + p$ ба хальт $Au + Au$ мөргөлдөөнүүдэд ажиглагдсан [14] ба араараа нийлсэн Гауссан бөхүүдийг дараах илэрхийллээр дөхүүлэлт хийж:

$$D(\varphi) = \frac{A_N \frac{\exp\left(-\frac{\varphi^2}{2\sigma_N^2}\right)}{\sqrt{2}\sigma_N} + A \left(\exp\left(-\frac{(\varphi-\pi)^2}{2\sigma_B^2}\right) \right)}{\sqrt{2}\sigma_B + P} \quad (2)$$

зураг 7-ийн зүүн талд улаан гистограмаар дүрсэлсэн. Дөхүүлэлтийн параметруудийг хүснэгт 2-т үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Дөхүүлэлтийн параметрууд

C+C min bias	
A_N	0.5
σ_N	0.6
A_B	0.9
σ_B	0.5
P	0.03

Харин хоёр онолын үр дүнгүүдэд энэ онцлог ажиглагдсангүй. Одоо корреляцийн судалгааг үргэлжлүүлэв. Эхлээд $dN/d\varepsilon_{ij}$ тархалт (зураг 7-ийн баруун талынх) -аас азимуталь асимметр буюу тэгшхэмт бус корреляцийн коэффициентууд: (A)-ийг

$$A = \frac{N_{\varepsilon < \pi/2} - N_{\varepsilon \geq \pi/2}}{N_{0 \leq \varepsilon}} \quad (3)$$

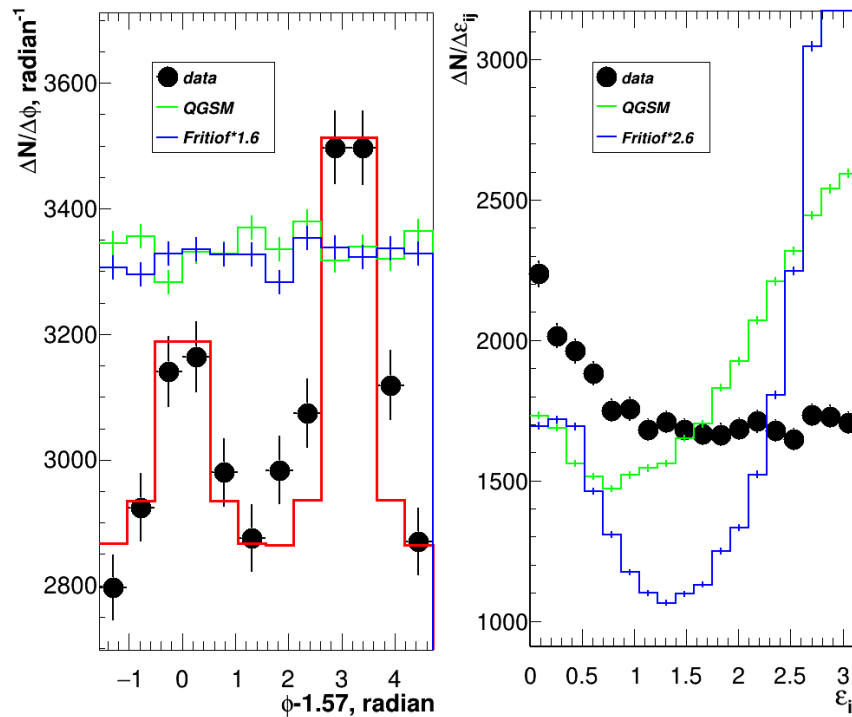
$$B = \frac{N_{\varepsilon < \pi/4} - N_{\varepsilon \geq \frac{3\pi}{4}} - N_{\pi/4 \leq \varepsilon \leq 3\pi/4}}{N_{0 \leq \varepsilon \leq \pi}} \quad (4)$$

гэж тус тус тодорхойлдог, эдгээр коэффициентуудын дундаж утгууд болох мөргөлдөөний тухайн үзэгдлийн азимуталь асимметрийн $\langle a \rangle$ ба коллинеарлагийн $\langle b \rangle$ -г дараах байдлаар илэрхийлдэг:

$$\langle a \rangle = \sum_{k=1}^N \alpha_k / N, \quad \langle \alpha_k \rangle = \sum_{i \neq j} \cos(2\epsilon_{ij}) / \sqrt{n_k(n_k - 1)} \quad (5)$$

$$\langle \beta \rangle = \sum_{k=1}^N \beta_k / N, \quad \langle \beta_k \rangle = \sum_{i \neq j} \cos(2\epsilon_{ij}) / \sqrt{n_k(n_k - 1)} \quad (6)$$

энд k дугаар дах үзэгдлийн сум цөмийн хэлтэрхийнүүдийн олонлог n_k нь $n_k \geq 2$, $k = 1, 2, \dots, N$; $i, j = 1, 2, \dots, n_k$ гэсэн нөхцөлүүдийг хангах ёстой. (2)- (5) коэффициентууд бол бүлэг доторх буюу нэгэн төрлийн бөөмсийн хоорондох корреляцийн тухай мэдээллийг өгдөг. Харин олон янзын болон нэгэн төрлийн бөөмсийн хоорондох буюу бүлэг хоорондын корреляцуудийг өөр инклюзив коэффициентуудыг хэрэглэдэг [15]. Корреляцийн коэффициентуудын тоон утгуудыг хүснэгт 3-т нийтлэв.



Зураг 7. C + C мөргөлдөөнд сум цөмөөс түүнд оролцоогүй хэлтэрхийнүүдийн азимут өнцгийн (зүүн шар талынх) болон баруун гар талд корреляцийн параметр i, j – ийн тархалтууд. Тэмдлэгээ зураг 6-тай адилхан

Хүснэгт 3. Корреляцийн коэффициентуудын тоон утгууд

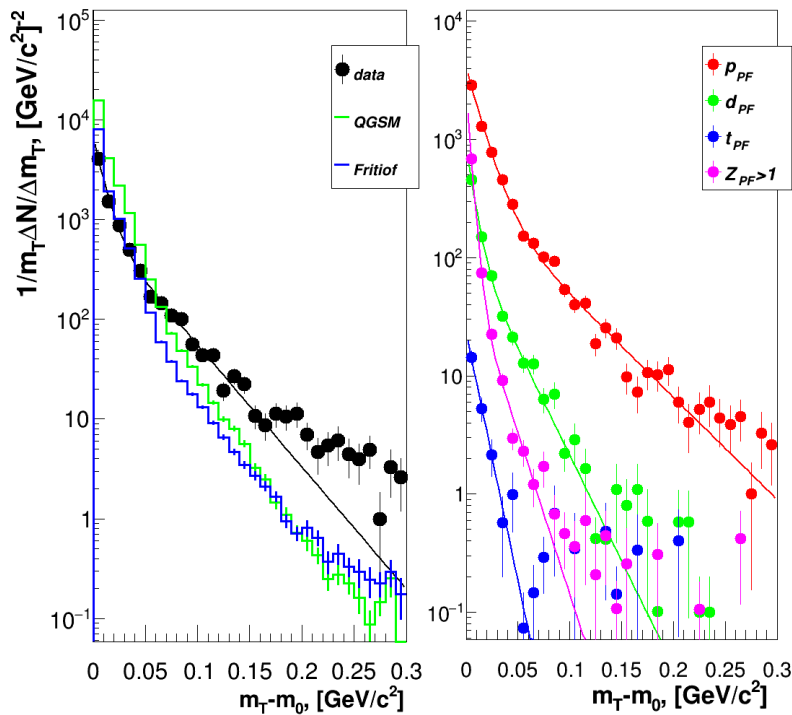
	A	B	$\langle a \rangle$	$\langle \beta \rangle$
Туршилт	0.033 ± 0.005	0.045 ± 0.004	0.515 ± 0.003	0.506 ± 0.003

QGSM	-0.160	0.077	0.453	0.513
Fritiof	-0.475	0.533	0.554	0.704

Хүснэгт 3-аас харахад урвалын хөндлөн хавтгай дээр хэлтэрхийнүүдийн гаралтын азимутал асимметр туршлагын хувьд эерэг утгатай байхад онолын тооцоонууд нь сөрөг байна (зураг 7-гийн баруун талынх). Эдгээр онцлогууд [4] ажилд ажиглагдсан. Үүнээс гадна корреляцийн коэффициентуудын тоон утгуудаас ажиглахад А ба В-гийн утгууд $\langle \alpha \rangle$ ба $\langle \beta \rangle$ -гээс нэг эрэмбээр бага байгаа нь [14] -тэй төсөөтэй болов. [14] ажилд шинээр үүсэж төрсөн бөөмсийг судалсан учир тоон утгаараа ялгаатай билээ.

1.1.6 Бүтцийн функцийг тархалт ба температурын үзүүлэлт

Одоо бид протоноос хүнд масстай хэлтэрхийнүүдийн хувьд хөндлөн масс (m_T үүнийг $m_T = \sqrt{p_T^2 + m_0^2}$ гэж тодорхойлдог) хэмээх хэмжигдэхүүн буюу $m_T - m_0$ хувьсагчаар бүтцийн функцийг тархалтыг авч үзье. Энд p_T ба m нь бөөмийн хөндлөн импульс ба масс.



Зураг 8. C + C мөргөлдөөнд сум цөмөөс түүнд оролцоогүй хэлтэрхийнүүдийн хөндлөн массаас хамаарсан бүтцийн функцийг тархалтууд. Тэмдэглэгээ зураг 6-тай адилхан. Энд шулуун шугамууд давхар ба дан экспоненциал функцийг дөхүүлэлтүүд

Зураг 8-аас үзэхэд дор хаяж хоёр экспоненциал функцийн нийлбэрээр дөхүүлэлт хийж, тэдгээрийн налууугийн параметрийн урвуу утга “температур” хэмээх ойлголтонд тохирох хэмжээг тодорхойлдог ба түүний нэгж нь МэВ. Энэ зургийн зүүн талд сум цөмийн бүх хэлтэрхийнүүдийг нэгтгэж, бидний ашиглаж буй QGSM ба Fritiof загваруудаар гарсан үр дүнтэй хамтатган харуулсан. Харин баруун талд бол зөвхөн туршлагын хувьд протон (p_{PF}), дейтрон (d_{PF}), тритон (t_{PF}) ба олон цэнэгтэй цөмүүд ($f, z_{PF} > 1$)-ийн бүтцийн функцүүдийн тархалтыг үзүүлэв. Энд шулуун шугамууд бол давхар экспоненциал функцүүдийн дөхүүлэлтүүд. Дөхүүлэлтийн утгуудыг хүснэгт 4-т нийтэлсэн.

Хүснэгт 4. Бүтцийн функцийн налууугийн урвуу параметрууд T_0^I ба T_0^{II} -ийн туршлагын утгууд

	p	d	t	f(z>1)
T_0^I	13±1	7±1	10±1	4±1
T_0^{II}	20±1	24±1		16±3

Температурийн хэмжээ нь бай цөмөөс дейтрон, тритий гэх мэт хүнд масстай хэлтэрхийнүүдийн гаралтыг хэмждэг FASA туршилтын өгөгдлүүдтэй ойролцоо хэмжигдэхүүн байна [16].

1.2 205 ГэВ/с импульстай протон-протоны харилцан үйлчлэлд үүссэн π^- мезоны хөндлөн импульсын тархалтыг ашиглан Цаллисын аргаар дөхүүлэлт хийх

Мөргөлдөгч адронуудын динамикийг үүссэн бөөмсийн импулсийн тархалтаас тодорхойлох боломжтой байдаг. Туршилтаар анх хэмжигддэг хэмжигдэхүүнүүд болох хурдац хөндлөн импульсийн түгэлт нь харилцан үйлчилж буй систем дэх цацаргалтын үүсгүүрийн дагуу болон хөндлөн түгэлтийн мэдээллийг агуулж байдаг. Мөргөлдөөний энерги нэмэгдэхийн хэрээр хурдцын тархалтын хязгаар хэдхэн хурдацын нэгжээс арав гаруй нэгж хүртэл үргэлжилдэг бол хөндлөн импульсийн тархалтын хязгаар 0-ээс хэдэн зуун ГэВ/с хүртэл өсдөг. Энэ нь релятив термодинамик ба гидродинамикийг шинэ энергийн мужид турших ба ашиглахад тусалдаг. Термодинамикийн загварууд нь өндөр энергитэй мөргөлдөөнд анализ хийх стандарт хэрэгслийн нэг хэсэг бөгөөд энэхүү өгүүлэлд бид Цаллисын тархалт дээр үндэслэсэн термодинамикийн хувьд тогтвортой загварыг судалсан [1, 3]. Энэ нь p+p мөргөлдөөнд хэмжсэн хөндлөн импульсээр инвариант түгэлтийг байгуулдаг.

1.2.1 Цаллисын дөхүүлэлтийн арга

Олон судалгааны ажлуудад Цаллисын аргыг янз бүрийн хувилбаруудыг авч үзжээ [4, 9-15]. Сүүлийн жилүүдэд Цаллис аргыг маш их сонирхож эхэлсэн бөгөөд үүнийг RHIC ба LHC энерги дэх протон-протоны мөргөлдөөнд үүссэн цэнэгт бөөмсийн хөндлөн импульсийн өгөгдлийг дүрслэхэд ашиглаж байна [8]. Цаллисын түгэлтийг

хорь гаруй жилийн өмнө Больцман-Гиббсийн ердийн экспоненциал түгэлтийн ерөнхий байдлаар таамагласан ба T (температур), μ (химийн потенциал), g (бөөмийн спин буурах коэффициент), V (эзлэхүүн) гэсэн параметруудээр тодорхойлогддог. Энэ хэлбэрийн тэгшитгэл нь Больцман-Гиббсийн экспоненциал түгэлт $\exp(-E/T)$ -ийн ерөнхий хэлбэрээр ихэвчлэн илэрхийлэгддэг.

$$\frac{d^3 N}{dp^3} = \frac{gV}{2\pi^3} \left[1 + (q-1) \frac{m_T \cosh y - \mu}{T} \right]^{-\frac{q}{q-1}} \xrightarrow{q-1} \frac{gV}{2\pi^2} \exp\left(-\frac{E-\mu}{T}\right) \quad (1)$$

Цаллисын түгэлтийг Больцман-Гиббсийн статистикаас салган үзэх шалтгаан нь бүх шинж чанаруудыг q гэсэн параметрээр товчхон тодорхойлсон. Ийм дөхүүлэлтийг дэлгэрэнгүй биш статистик гэж нэрлэдэг. Ялангуяа [1]-д $q-1 = \text{Var}(T) / \langle T \rangle^2$ температурын дотоод хэлбэлзлийг шууд тодорхойлдог болохыг харуулсан. Гэсэн хэдий ч Цаллисын түгэлт нь бусад олон динамик механизмуудаас үүсэлтэй байдаг. Энэхүү дөхүүлэлт нь өөр өөр төрлийн олон бөөмс үүсэх процессыг маш амжилттай тайлбарладаг болохыг [6,7]-д үзүүлсэн. Тэгшитгэл (1)-ийг хөндлөн импульс (p_T) болон хөндлөн масс $m_T = \sqrt{m_0^2 + p_T^2}$, хурдац (y) хувсагчдыг оруулан тооцбол судлаж буй бөөмийн бүтцийн функцийг

$$\frac{d^2 N}{p_T dp_T dy} = gV \frac{p_T m_T \cosh(y)}{(2\pi)^2} \left[1 + (q-1) \frac{m_T \cosh y - \mu}{T} \right]^{-\frac{q}{q-1}} \quad (2)$$

гэж илэрхийлж болно. Энд m_0 бол бөөмийн тайвны масс. Дундаж хурдац $y=0$ ба ЛНС-д хамааралтай химийн потенциал тэг ($\mu=0$) үед тэгшитгэл (2) дараах байдлаар хувирна.

$$\left. \frac{d^2 N}{dp_T dy} \right|_{y=0} = gV \frac{p_T m_T}{(2\pi)^2} \left[1 + (q-1) \frac{m_T}{T} \right]^{-\frac{q}{q-1}} \quad (3)$$

3-р томъёонд өгөгдсөн параметрчлэл нь RHIC ба LHC туршилтаар гаргаж авсан өгөгдлийг тохируулахад ашигласан параметрчлэлтэй ойролцоо байгаа [20,21,22,23,24] RHIC ба LHC туршилтуудын ашигласан параметрийг доор харуулав.

$$\frac{d^2 N}{dp_T dy} = p_T \frac{dN}{dy} \frac{(n-1)(n-2)}{nC(nC+m_0(n-2))} \left[1 + \frac{m_T - m_0}{nC} \right]^{-n} \quad (4)$$

Энд n , C болон m_0 нь тохируулгын параметрууд. Цаллисын түгэлт нь RHIC болон LHC энергиүд [3, 8-11]-ийн $p+p$ мөргөлдөөнүүдэд хэмжсэн хөндлөн импульсын спектрийг маш сайн тайлбарлагдгийгудаа дараа харуулсан байдаг. Бид 205 ГэВ/с импульс бүхий протонууд протонтой мөргөлдсний үр дүнд үүссэн цэнэгт бөөмсийн хөндлөн импульсийн тархалтыг Цаллисын түгэлтээр дөхүүлэлт хийх судалгааг хийж гүйцэтгэсэн.

1.2.2 Туршилтын өгөгдөл

Туршилтын нийт 5025 өгөгдлийг NAL (National accelerator laboratory)-ийн 205 ГэВ/с импульстэй болтол хурдасгасан протоны 30 инчийн устөрөгчийн хөөст камер дотор протонтой харилцан үйлчлэлийг бүртгэх замаар гаргаж авсан. Хөөст камерийн

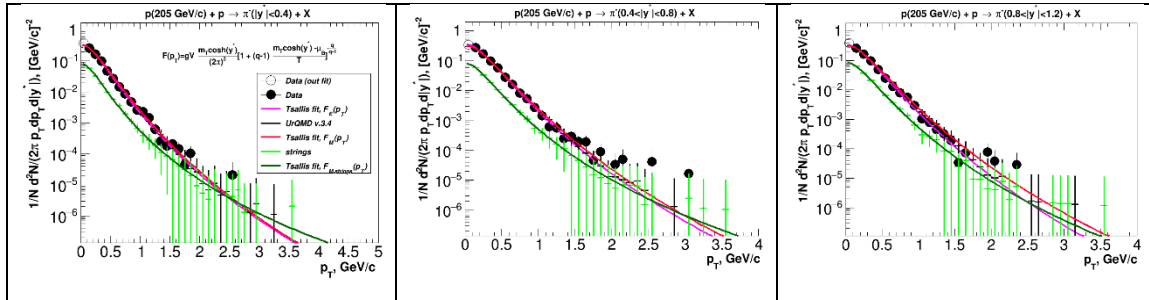
аргаар гаргаж авсан туршилтын гол давуу тал нь харилцан үйлчлэлээр үүссэн хоёрдогч бөөмсийг 4π геометр нөхцлөөр бүртгэдэг.

1.2.3 UrQMD загвар

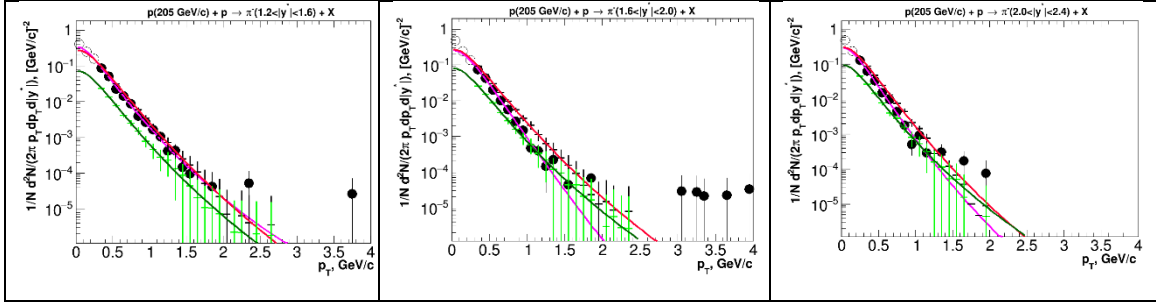
UrQMD загвар нь ультра-релятив квант молекулын динамик загвар юм. Загварын тооцооллын явцад бий болсон виртуал цөмийн орчин доторх эгэл бөөмсийн сарнилиуд болон тархалтын үзэгдлийг дүрсэлдэг. Үнэн хэрэгтээ сарнисан бөөмсүүд хоорондоо мөргөлдөж бусад хоёрдогч бөөмсийг үүсгэдэг гэж үздэг. Стрингүүд үүсэл, резонансуудын задралыг мөн загварын боловсруулалтанд оруулсан. UrQMD загварыг SIS энерги $\sqrt{s}=2$ ГэВ-ээс RHIC энерги $\sqrt{s}=200$ ГэВ хүртэлх адрон ба цөмийн мөргөлдөөнийг тооцоход ашиглах боломжтой. Өндөр энергитэй мөргөлдөөнүүдэд маш олон өөр өөр төрлийн эгэл бөөмс үүсдэг. UrQMD загвар нь 100 гаруй өөр төрлийн мезонууд болон барионуудыг авч үздэг. Бөөмүүд нь мөргөлдөөний явцад үүсдэг ба нэмэлт хоёрдогч бөөмс үүсгэхийн тулд хоорондоо мөргөлдсээр байдаг. UrQMD загварын талаарх дэлгэрэнгүй мэдээллийг [2]-ээс харах боломжтой.

1.2.4 Судалгааны үр дүн

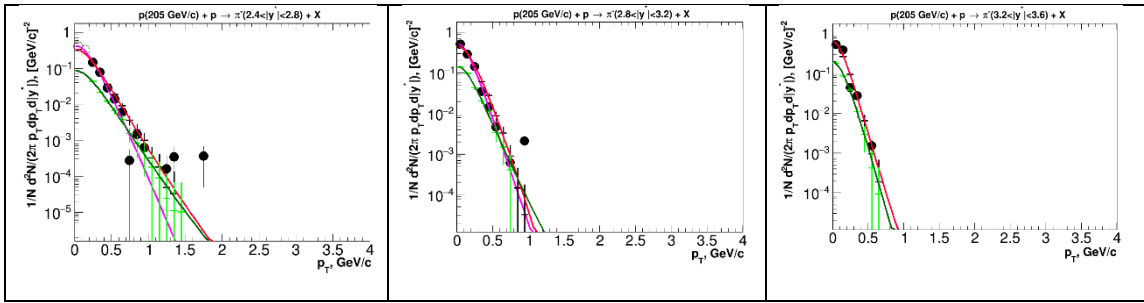
Бид туршлагын өгөгдлүүдийг онолын загварчлалаар гаргаж авсан дүнтэй харьцуулахдаа эхлээд загварчлалын ерөнхий өгөгдлүүдийг туршлагын нөхцлүүдтэй тохируулахаас гадна онолоор гаргасан магадлалын тархалтуудыг математикийн тохирох функцүүдээр өөрчлөн засварласан түгэлтүүдийг шинээр байгуулах үйлдлүүд хийдэг [6]. Дараах гурван зургуудад Ц-систем дэх хурдцын абсолют утгуудын интервал тус бүрд харгалзах хөндлөн импульсын түгэлтийг байгуулсныг харуулсан. Энд p_T -ээр бүтцийн функцийг байгуулахдаа нэгж талбай болгон нормчилсон төдийгүй ойролцоолол гүйцэтгэсэн p_T -ийн муж бол 100 МэВ/с-ээс 3.5 ГэВ/с хүртэлх интервалийг хамарч байна.



Зураг 1а. Зүүн тал дах нь $0 < |y^*| < 0.4$, дундах нь $0.4 < |y^*| < 0.8$ ба баруун тал дах $0.8 < |y^*| < 1.2$ хурдацын интервалуудад $\sqrt{s} = 19.7$ ГэВ-ийн p+p мөргөлдөөнд үүссэн сөрөг пионы хөндлөн импульсийн тархалт. Хар дугуй бол туршилтын, цагаан дугуй - дөхөөлөлтэд хамрагдаагүй цэгүүд, хар гистограм- UrQMD загварчлал, ногоон гистограм-UrQMD-гийн стринг горимоор үүссэн пионууд. Харин яагаан, улаан ба хар ногоон муруйнууд.



Зураг 1б. Зүүн тал дах нь $1.2 < |y^*| < 1.6$, дундах нь $1.6 < |y^*| < 2.0$ ба баруун тал дах $0.8 < |y^*| < 1.2$ хурдацын интервалуудад $\sqrt{s} = 19.7$ ГэВ-ийн $p+p$ мөргөлдөөнд үүссэн сөрөг пионы хөндлөн импульсийн тархалт. Тэмдэглэлүүд Зураг 1а-тай адилхан.



Зураг 1в. Зүүн тал дах нь $1.2 < |y^*| < 1.6$, дундах нь $1.6 < |y^*| < 2.0$ ба баруун тал дах $0.8 < |y^*| < 1.2$ хурдацын интервалуудад $\sqrt{s} = 19.7$ ГэВ-ийн $p+p$ мөргөлдөөнд үүссэн сөрөг пионы хөндлөн импульсийн тархалт. Тэмдэглэлүүд Зураг 1а-тай адилхан.

$\sqrt{s} = 19.7$ ГэВ энергитэй $p+p$ мөргөлдөөнөөс үүссэн хоёрдогч цэнэгт бөөмсийн хөндлөн импульсийн тархалтын дөхүүлэлтийг гурван нөхцлөөр Цаллисийн тархалтуудаар ойролцоолол хийж гүйцэтгэсэн. Илэрхийлэл (1) дэх бөөмийн спины буурах коэффициент нь π^\pm – ийн хувьд 1, протоны хувьд 2 гэж тооцдог. Хөндлөн импульсын тархалтыг Цаллисын арга нь туршилтын протон-протоны мөргөлдөөнөөс үүссэн π^- мезоны хувьд хурдцын бүх интервалд сайн тайлбарлаж байгааг Зураг 1-д харж болно. Хүснэгтэд хурдцын 9 интервалд эзэлхүүн (V), энтропийн индекс (q), температур (T) ба нэгж чөлөөний зэрэгт ноогдох χ^2 -ийн утгуудыг жагсаав. Цаашид π^- мезоны цацаргах мужийг эзэлхүүнээ бөмбөлөг гэж төсөөлөн ферми нэгжээр радиус R ($R \equiv (3V/4\pi)^{1/3}$) -ийг тодорхойлдог.

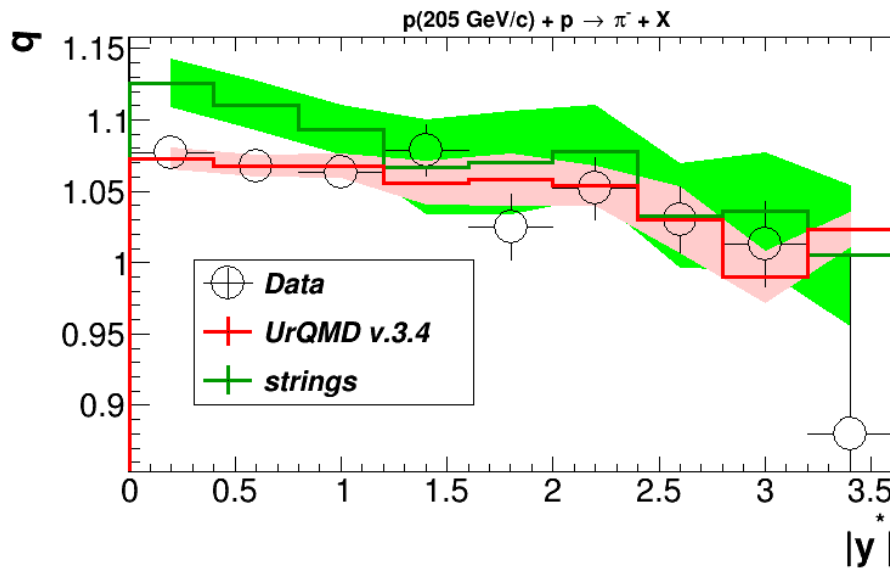
Хүснэгт 1. Хурдцын 9 интервалд эзэлхүүн (V), энтропийн индекс (q), температур (T) ба нэгж чөлөөний зэрэгт ноогдох χ^2 -ийн утгууд

$ y^* $	T ⁺ /M ⁺⁺	R(ферми)	q	T (МэВ)	$\chi^2 / \text{n.d.f}$
0.0-0.4	T	0.85±0.01	1.077±0.007	108±1	26.4/17
	M	0.84±0.01	1.073±0.007	103±1	3.1/29
	M, strings	0.52±0.01	1.126±0.057	101±3	2.0/28
0.4-0.8	T	0.90±0.02	1.068±0.008	124±2	14.1/21
	M	0.87±0.02	1.068±0.007	130±2	3.2/27
	M, strings	0.54±0.01	1.110±0.017	116±4	1.5/27
0.8-1.2	T	0.93±0.02	1.063±0.008	155±3	19.0/17
	M	0.91±0.02	1.068±0.008	163±3	4.1/28
	M, strings	0.58±0.01	1.093±0.017	149±6	3.2/28
1.2-1.6	T	0.95±0.19	1.079±0.018	204±5	13.3/17
	M	0.86±0.13	1.056±0.015	239±14	1.3/21
	M, strings	0.55±0.19	1.067±0.033	230±31	0.5/20
1.6-2.0	T	0.83±0.29	1.025±0.023	319±30	6.1/19
	M	0.84±0.16	1.058±0.018	334±26	0.5/15
	M, strings	0.56±0.01	1.070±0.033	320±52	0.2/14
2.0-2.4	T	0.88±0.20	1.052±0.022	362±34	12.8/11
	M	0.86±0.14	1.054±0.014	444±28	2.4/13
	M, strings	0.58±0.18	1.078±0.032	424±54	0.9/12
2.4-2.8	T	0.93±0.03	1.007±0.007	552±34	35.3/10
	M	0.83±0.05	1.030±0.023	605±60	1.1/10
	M, strings	0.51±0.22	1.033±0.036	659±110	1.3/10
2.8-3.2	T	1.05±0.20	1.013±0.030	637±55	10.3/5
	M	0.86±0.09	0.990±0.018	808±41	4.9/8
	M, strings	0.62±0.15	1.036±0.041	736±87	1.9/8
3.2-3.6	T	0.95±0.61	0.880±0.125	1014±290	6.4/8
	M				2.8/6

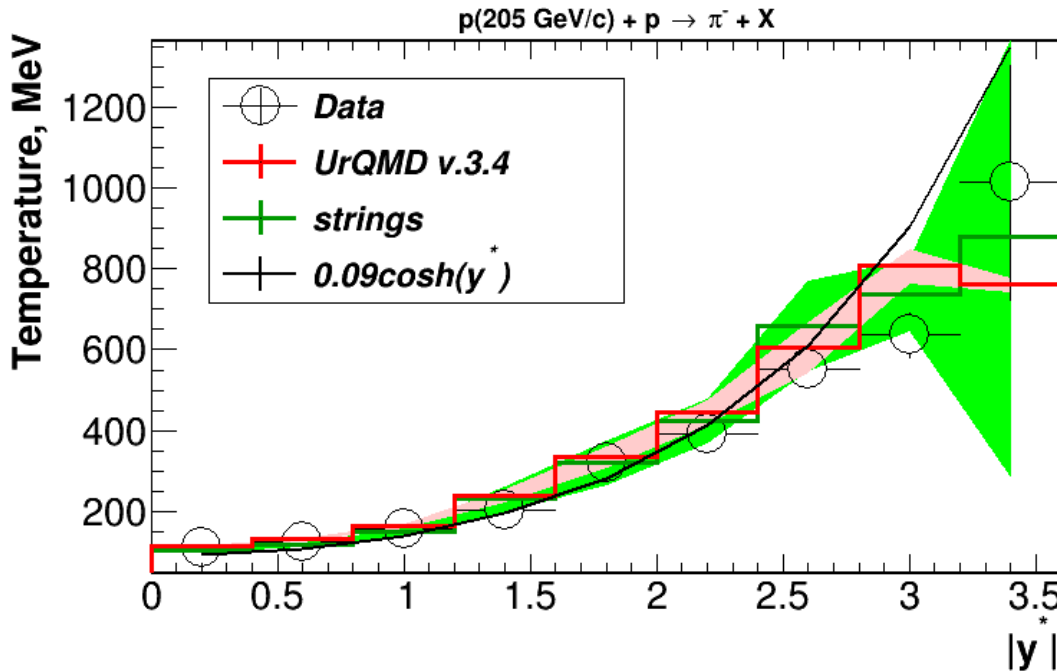
	M, strings	1.18±0.78	1.023±0.012	762±16	1.3/5
		0.71±0.29	1.005±0.049	880±592	

⁺Туршлагын өгөгдөл, ⁺⁺UrQMD загварчлал, UrQMD загварын стринг горим

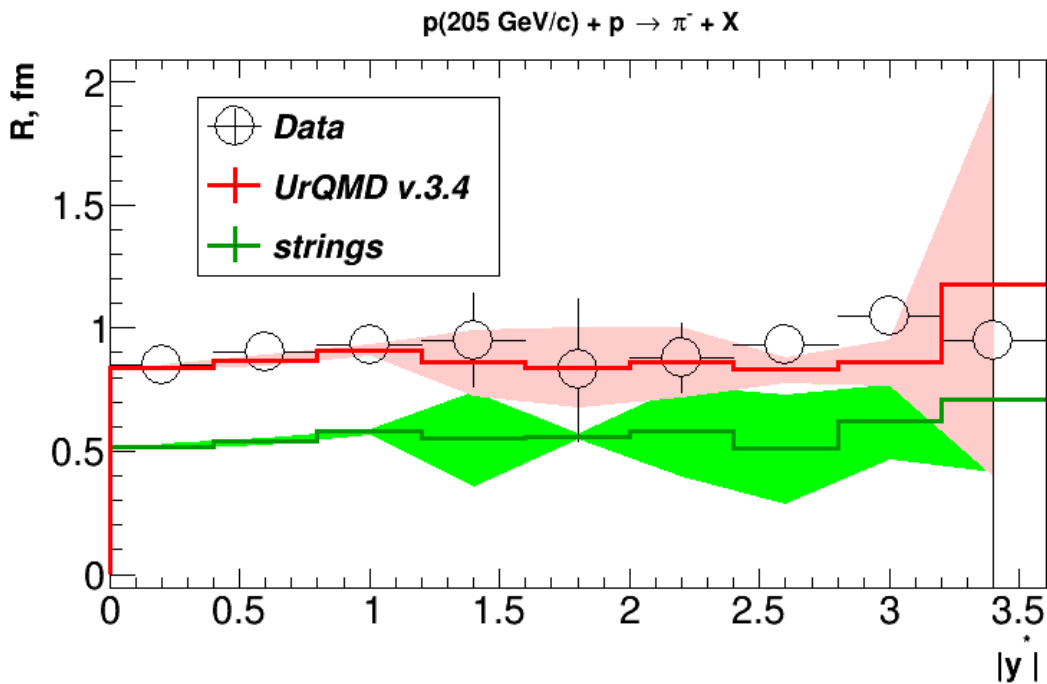
Энэ хүснэгтээс хурдцаас энтропийн индекс q хэрхэн хамаарахыг зураг 2-д үзүүлсэн. Энэ хамаарал эхлээд тогтмол байснаа аажмаар буурч байна. Үүнээс гадна хурдцаас температур яаж хамаарахыг зураг 3-д харууллаа. $\sqrt{s} = 17.27$ ГэВ-ийн $p+p$ мөргөлдөөнд үүссэн сөрөг пионы T нь хурдцаас $T=0.09 \cosh(y^*)$ хуулиар хамаардгийг батлаж байна[5]. Туршлагаар болон UrQMD загварчлалаар үүсэн π^- мезонууд нь 1 ферми орчим радиустай бөмбөрцөгөн мужаас цацрагдаж байгаа бол UrQMD дэх стринг горимоор үүссэн π^- мезонууд ~ 0.5 ферми бөмбөрцөгөөс л цацарч байна. Бидний гаргаж авсан дүн интерференцийн Hanbury Brown and Twiss HBT[17-19] аргаар тодорхойлсон үзүүлэлтэй ойролцоо, харин [17] ажилд 3 дахин их утгуудыг олсон байна. Зураг 4-ийн радиус, хурдцын хамаарлыг харахад стринг горимоор цацарсан π^- -мезоны хувьд цацаргалтын хэмжээ харьцангуйгаар бага байна.



Зураг 2. q параметрийн хурдцаас хамаарах хамаарал. Цагаан дугуй туршлагын үр дүн. Улаан гистограм нь UrQMD загварчлалын хамаарал, харин ягаан талбай нь түүний алдааны муж. Ногоон гистограм-UrQMD загварын стринг горимоор үүссэн сөрөг пионы хамаарал ба цайвар ногоон талбай энэ хамаарлын алдааны хил хязгаар.



Зураг 3. Хурдац болон температурын хоорондын хамаарал. Энд тэмдэглэлүүд Зураг 2-тай адилхан. Харин хар муруй нь NA61/Shine коллаборацийн үр дүн[5]



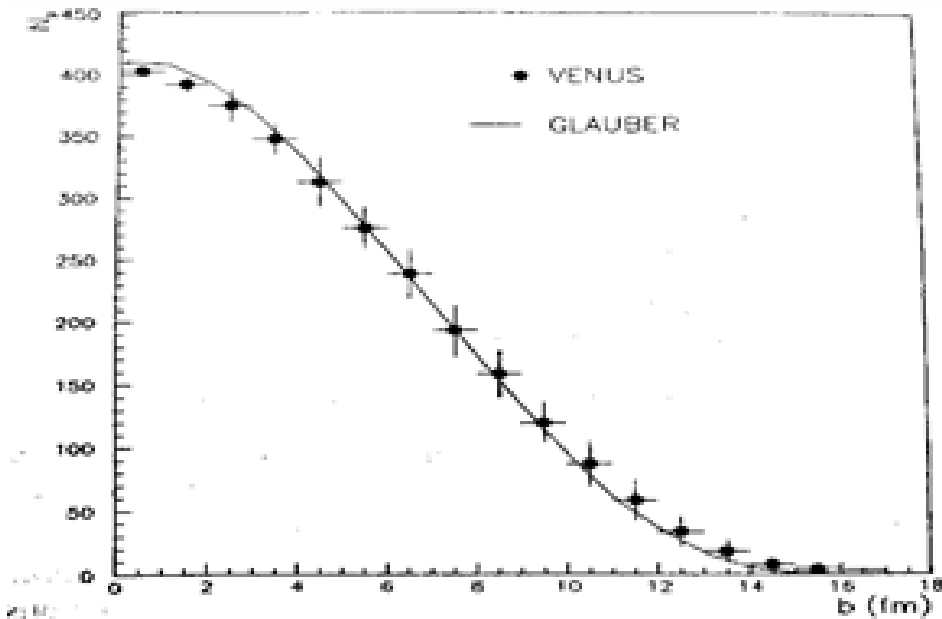
Зураг 4. pT спектрт илэрхийлэл (2)-оор фит хийж олдсон радиус R хурдцаас хамаарах хамаарал. Энд тэмдэглэлүүд Зураг 2-тай адилхан. Харин хар муруй нь NA61/Shine коллаборацийн үр дүн [5].

1.3 Цөмийн фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй хүчилтөрөгчийн цөмийн мөргөлдөөнийг ялгасан нь

Нэг нуклондоо 60 ба 4.5 ГэВ энерги бүхий хүчилтөрөгчийн цөмүүдийн фотоэмульсийн хүнд цөмүүдийн бүлэг Ag/Br ба хөнгөн цөмүүдийн бүлэг C/N/O-тэй харимхай бус харилцан үйлчлэлийн туршлагын ерөнхий үзүүлэлтүүд нь онолын фритиоф (fritiof 1.6) загвар нилээд сайн тайлбарлаж байгааг үндэслэл болгож эдгээр судалгааны бүтээлүүдийг хийж байна. Онолын загваруудаар ямарч энергийн мужид цөм-цөмийн мөргөлдөөний мөргөлдөх хөндлөн чиглэлд халз эсвэл халт шүргэлзэх механизмуудыг дэлгэрэнгүй тайлбарлаж чадаж байгаа нь “шагайлтын параметр” гэдэг ойлголт их үүрэг гүйцэтгэдэг ба энэ параметрийн ерөнхий тархалт онолын загваруудын төрлөөс үл хамаардаг. Жишээлбэл, ALICE хамтын ажиллагааны хүрээнд харилцан үйлчлэлд оролцоогүй спектатор нуклонууд E_s энергийг шингээсэн гэж үзээд, мөргөлдөөний мөргөлдөх төлөв чанарыг шууд хэмжсэн болохыг баталсан. Нөгөө талаас харилцан үйлчлэлд оролцсон “оролцогч” нуклонуудыг N_p гэж тэмдэглээд, түүнийг

$$N_p = A - E_s / E_A \quad (1)$$

гэсэн илэрхийлэлээр хэмжин тодорхойлдог. Энд A -ионы массын хэмжээ, E_A нь нэг нуклонд оногдох анхдагч энерги. Адилхан масстай цөмүүдийн мөргөлдөөний хувьд N_p ба шагайлтын параметр b хэмжигдэхүүнүүдийн хоорондох хамаарал онолын төрлөөс үл хамаарч байгааг харж болно [2].

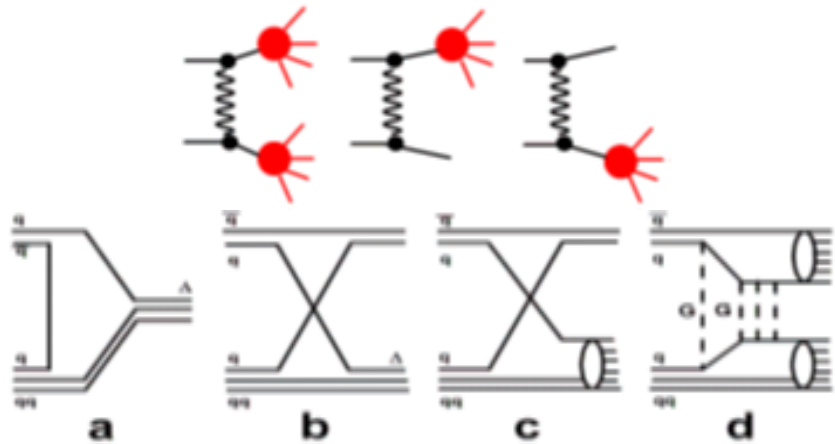


Зураг 1. N_p ба шагайлтын параметр b хэмжигдэхүүнүүдийн хоорондох хамаарал.

Бидний энэхүү судалгаандаа хэрэглэж буй Фритиоф модель буюу товчоор FTF бол одоо Geant4-ийн суурин дээр адрон-цөмийн хувьд лабораторийн системийн импульс $3 \div 4$ ГэВ/с-ээс их, цөм-цөмийн харимхай бус мөргөлдөөнийг $2 \div 3$ ГэВ/с-ээс дээш

мужуудад, харин антибарион-цөмийнхийг болон антицөм-цөмийнхийг босго энергийн хязгаарлалтгүйгээр загварчлаж чадаж байна. Гэхдээ адрон-нуклоны үйлчлэлд олон олгойдох процессыг оруулж тооцоолж чадаагүй ч импульсийн дээд хязгаар нь 1000 ГэВ/с. Энэ модель туршлагын үр дүнгүүдийг дажгүй тайлбарладаг.

Фритиоф модель [3, 4] адрон-адроны бүх харилцан үйлчлэлийг $h_1 + h_2 \rightarrow h_1' + h_2'$ төрлийн винар урвал гэж үздэг, энд h_1' , h_2' нь дискрет буюу үргэлжилсэн массын спектр бүхий адронуудын цочрогдсон (дараах өнгөтэй зургийн зүүн талд үзүүлсэн). Хэрвээ хоёр адронууд хоёул цочрогдсон бол “хос диффракциан” харилцан үйлчлэл, аль нэг адрон нь цочрогдсон ($h_1 + h_2 \rightarrow h_1' + h_2$ эсвэл $h_1 + h_2 \rightarrow h_1 + h_2'$) бол “дан ганц диффракцийн диссаци” гэж нэрлэдэг. Цочрогдсон адронууд нь КХД-ын саваанууд гэж үздэг ба LUND-савааны фрагментацийн модель ёсоор тэдгээрийн задралуудыг загварчлахдаа дээд эрэмбэд харгалздаг билээ.



Зураг 2: Фритиоф моделийн тооцоолсон процессууд.

Адроны кварк модельд, жишээлбэл p -харилцан үйлчлэлийн хувьд, s -сувгийн Δ -изобарууд кварк-антикваркийн аннигиляц буюу усталт (баруун талын буюу хоёр дах зургийн а-г үз). Хоёр мезоны үүсэлт кваркийн солилцооны бүтээгдэхүүн (хоёр дах зургийн б-г үз). Кварк-дикварк ($q\bar{q}q$) систем резонансын төлөв дэх процесст, эсвэл үргэлжилсэн массын спектр бүхий төлөвт илрэнэ (хоёр дах зургийн с-г үз). Сүүлчийнх олон мезонуудын үүсэлт байх боломжтой. Эдгээр хоёр сувгуудын хэмжээнүүд t -сувгийн устгалтад шилжих кроссинг тэгшхэмтэй холбооой ба реджион феноменологт харгалзах харимхай сарнил дах вакуумгүй солилцоо ч байж боно. Феноменологи зарчмаар помероны солилцоо их энергийн харимхай сарнилд маш их давамгайлдаг. Энгийн хэлээр мөргөлдөгч адронуудын хоорондох хоёр глюоны солилцоо юм. Харимхай бус урвал дах пертурватавын нэг буюу олон глюоны солилцоонууд гэж төсөөлж болох билээ. Эдгээр солилцоонуудыг ачаар олон өнгөтэй төлвүүдийг нээж өгдөг (хоёр дах зургийн d-г үз). Төлөв бүр өнгөгүй объект руу задарна.

FTF модель, анхдагч адроны кваркуудын хольц, Quark-Gluon-String модель (QGSM) ёсоор объектын кварк бүтэц анхдагч адроны кварк бүтэцтэй тохирдог. Geant4-ын

FTF модельд b , c процессуудыг одоо тооцоонд оруулж байна [4]. Кваркийн усталт бүхий a процессыг зөвхөн антибарион-барионы харилцан үйлчлэлийн нөхцөлд авч үздэг юм.

1.3.1 Туршлагын материал

EMU01 хамтын ажиллагаа ультра-релятив энергийн мужид анхдагч энергийн хэд хэдэн утгуудад төрөл бүрийн сум ба бай цөмүүдийн хувьд их хэмжээний туршлагын өгөгдлүүд хуримтлуулж чадсан юм [5]. Эдгээрийг ердийн фотоэмульсийн ялтаснуудыг хэвтээ чиглэлээр, эмульсийн камерыг бол ялтаснуудыг босоо перепендикуляр чиглэлээр тус тус шарсан. Хоёр дах технологи бол азимут өнцгийн өндөр нарийвчлалыг хангадаг учраас псевдохурдцын нарийвчлал харилцан үйлчлэлийн төвийн мужид $\Delta\eta \approx 0.013$ болж сайжирсан [6]. Псевдохурдцыг

$$\eta = -\ln(\tan(\theta/2)) \quad (2)$$

гэж тодорхойлдог, энд θ нь сумын чиглэлтэй үүсгэсэн сарнилын өнцөг билээ. Энэ хамтын ажиллагаа нь Хүчилтөрөгч ба Хүхрийн сум нь CERN/SPS-ын 200 А ГэВ, бас Хүчилтөрөгчийн 60 А ГэВ, Алтыг BNL/AGS-ийн 11А ГэВ хурдасгаж, ердийн эмульс ба эмульсийн камер байг шарсан юм.

1.3.2 Цөм фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй мөргөлдөх нөхцөлийг ялгах уламжлалт арга

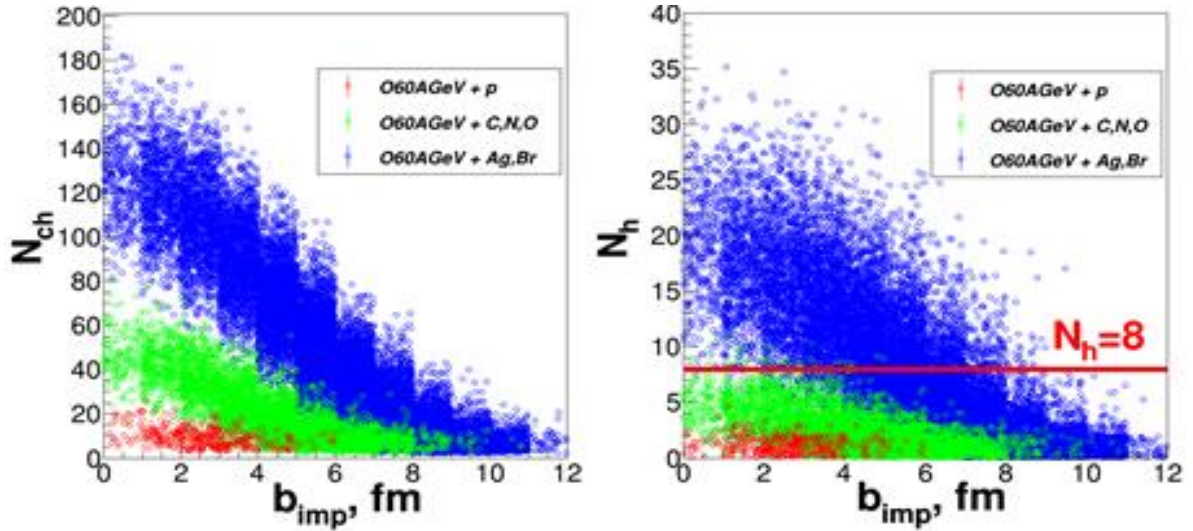
Цөмийн фотоэмульс нь найман атомын цөмүүдээс бүрэлдэн тогтдог. “Хүнд” цөмүүдэд Ag, Br, ба I-ийн цөмүүдийг, харин “хөнгөн” цөмүүдэд протоныг оролцуулан, C, N ба O-ийн цөмүүдийг оруулан бүлэглэдэг. Өнөөг хүртэл эмульсийн хүнд цөмтэй мөргөлдөх нөхцөл бол хар ба саарал бөөмсийн нийлбэр буюу $N_{h=b+g}$ нь 7-оос их харилцан үйлчлэлийн тохиолдлыг хамруулж байлаа, үлдсэн бүх тохиолдлуудыг хөнгөн цөмтэй мөргөлдсөн гэж үздэг ($N_h \leq 7$).

Фотоэмульсийн туршилтын уламжлалт технологиор тухайн харилцан үйлчлэлд үүссэн хоёрдогч цэнэгт бөөмсийг дараах бүлэгт хуваадаг:

- Хар бөөмс (*black*) нь бай цөмөөс үүссэн нэг ба олон цэнэгт ууршилтын процессын хэлтэрхийнүүд;
- Саарал бөөмс (*grey*) бол түүний эмульс дотор явсан замын урт нь 3 мм-ээс ихтэй цэнэгт бөөмс. b ба g бөөмс нь харьцангуй хурд $\beta < 0.7$ бүхий бай цөмийн хэлтэрхийнүүд;
- Их энергитэй хурдан (релятив) s бөөмс (*shower*) нь $\beta \geq 0.7$ бүхий релятив бөөмс бөгөөд бай цөмийн хэлтэрхийнүүдийн биет өнцгөөс гадуур нисэн гарсан бөөмс;
- f бөөмс (*fragments*) нь $\beta \sim 0.99$ бүхий сум цөмийн хэлтэрхийнүүд.

Бидний судалгаандаа хэрэглэж буй энэ арга нь фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмтэй мөргөлдсөн мөргөлдөөнийг ялгадаг уламжлалт нөхцөл хөнгөн цөмийн бүлэгт байх ёстой үзэгдлийн тооноос бараг дөрөв (20216/4714) дахин их тоогоор илүү. Одоо

ихэнх судлаачид хүчтэй иончлогдсон бөөмсийн тоо $N_h > 8$ гэсэн нөхцлөөр Ag/Br цөмтэй үйлчилсэн харилцан үйлчлэлийг сонгодог ч байх ёстой статистик тоон өгөгдлүүдээс бараг гурав (23148/7646) дахин багаар сонгож байна. Үүнийг зураг 3-ын баруун талын тархалтаас тодорхой харагдана. Иймээс бид шагайлтын параметр хэмжигдэхүүний тусламжтайгаар цөм фотоэмульсийн хүнд хөнгөн цөмтэй мөргөлдөх мөргөлдөөнийг илүү нарийвчлалтайгаар ялгасан.

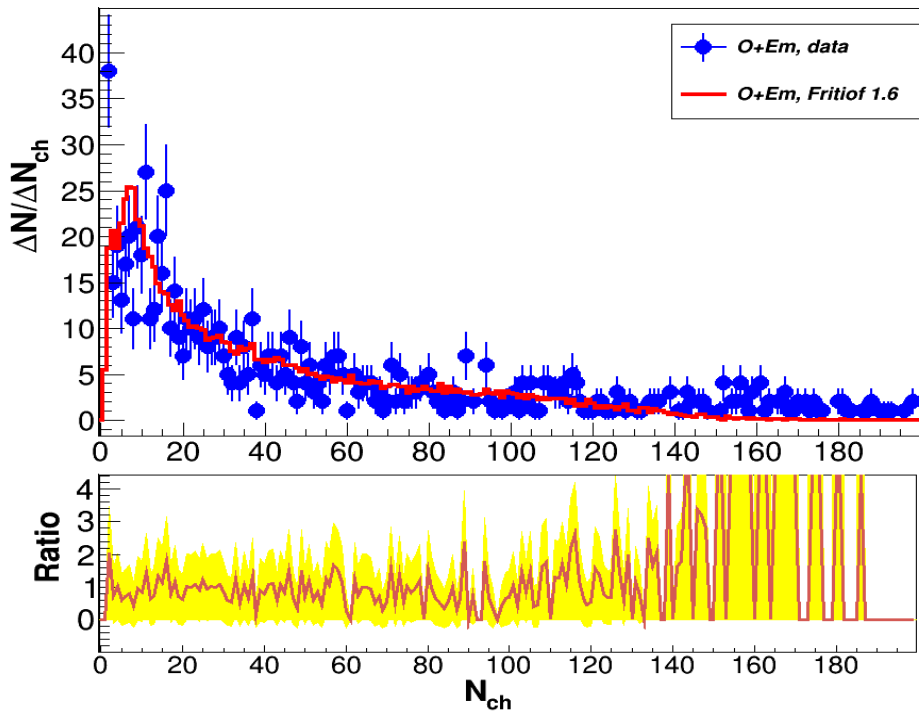


Зураг 3. Шагайлтын параметр (b_{imp})-аас нийт олонлог N_{ch} ба хүчтэй иончлогдсон бөөмсийн тоо N_h –ны хоёр хэмжээст тархалууд. Энд хэвтээ улаан шугамаар хүнд, хөнгөн цөмтэй мөргөлдсөн мөргөлдөөнийг ялгадаг уламжлалт нөхцлийн хязгаарыг үзүүлсэн.

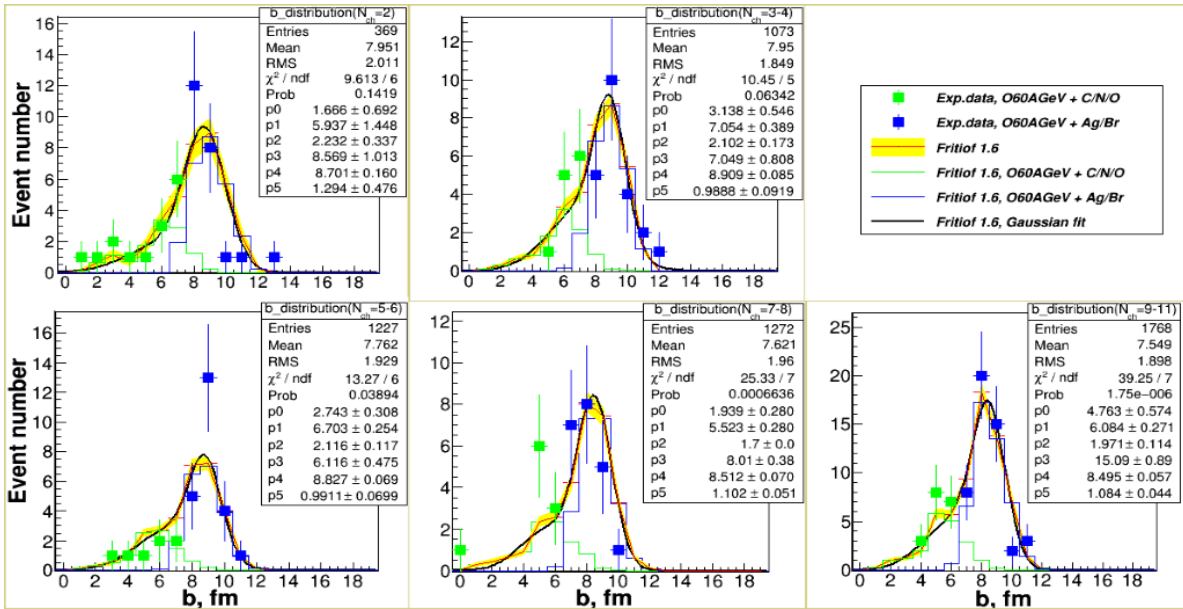
1.3.3 Хүчилтөрөгчийн цөм фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй мөргөлдөхийг ялгах процесс

Энэхүү судалгаанд шагайлтын параметр хэмжигдэхүүн нь онолын хувьд нийт цэнэгт бөөмсийн олонлогоос урвуу хамааралтай байдгийг үндэс болгож, онол болон туршлагын үр дүнг харьцуулсан судалгааг хийж байна. Зураг 4-ээс үзэхэд Fritiof загвар туршилтын үр дүнгүүдийг сайн тайлбарлаж байна. Энд цэнэгт бөөмсийн олонлогийн түгэлт $N_{ch}=235$ хүртэл үргэлжилж байгаа бөгөөд онол болон туршилтын өгөгдлүүдийг харьцуулахад нэгийн орчим тодорхойлогдож байгааг үзүүлэв. Олонлогийн $200 \square 235$ мужид цөөхөн тооны үзэгдлүүд байгаа учраас энд үзүүлээгүй. Туршлагын нийт тохиолдлын тоо 834 болно. Fritiof загвараар N_{ch} -ийн утга болгонд шагайлтын параметрийн түгэлтийг хоёр болон нэг гауссын функцүүдээр $\chi^2/NDF \sim 1$ гэсэн үнэлгээтэй ба өндөр магадлал бүхий дөхүүлэлт хийгээд, түүнийгээ ашиглан, туршилтын хувьд b (b_{imp}) тархалтыг байгууллаа. Жишээлбэл: Зураг 5-д үзүүлсэн бүлэг зургуудад бүтэн олонлог нь $N_{ch}=2$ үед 1 зураг, дараа нь $N_{ch}=3$ -аас $N_{ch}=8$ хүртэл олонлогийн 2 утгыг нэгтгэн 3 зураг, $N_{ch}=9$ -аас $N_{ch}=17$ хүртэл олонлогийн хувьд гурваар нэгтгэн 3 зураг, дараа нь $N_{ch}=18$ -аас $N_{ch}=29$ хүртэл олонлогийг дөрвөөр нэгтгэн 3 зураг, дараа нь $N_{ch}=30$ -аас $N_{ch}=44$ хүртэл олонлогийн хувьд таваар нэгтгэн

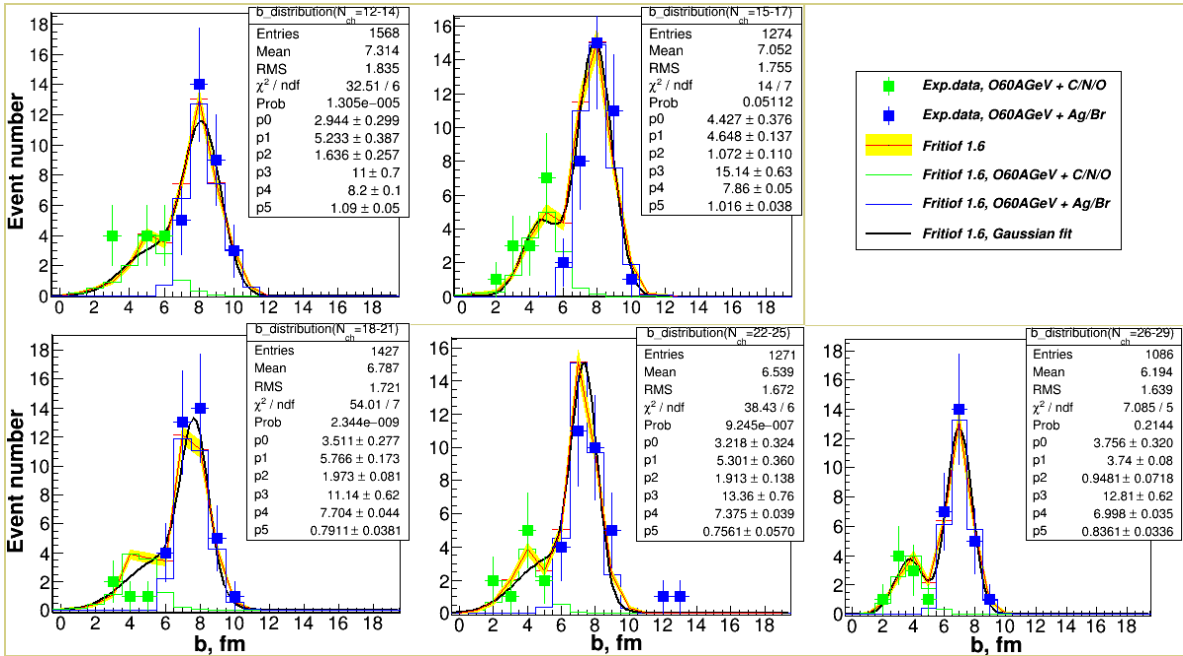
3 зураг, дараа нь $N_{ch}=45$ -аас $N_{ch}=56$ хүртэл олонлогийг зургаагаар нэгтгэн 2 зураг, дараа нь $N_{ch}=57\div 66$, $67\div 80$, $81\div 98$, $99\div 127$ хамгийн сүүлчийнх $N_{ch}=128\div 235$ гэсэн олонлогт харгалзсан 5 зураг нийт 20 зургуудыг байгуулсан. Мөн Зураг 5-д Fritiof 1.6 загвараар тооцоолсон $^{16}\text{O}+\text{C}/\text{N}/\text{O}$ үйлчлэлд харгалзсан b -ийн түгэлт (ногоон гистограммаар), харин $^{16}\text{O}+\text{Ag}/\text{Br}$ үйлчлэлд харгалзсан b -ийн түгэлт (хөх гистограммаар), Fritiof 1.6 загвараас гадна хар муруйгаар түүнийг 2 гауссын нийлбэр функцээр дөхүүлэлт (хар муруйгаар) хийснийг ашиглан туршилтын өгөлтүүдийг шинээр гарган авсан b -ийн түгэлт. Энд ногоон дөрвөлжингөөр хөнгөн, хөх дөрвөлжингөөр хүнд цөмийн харилцан үйлчлэлд харгалзсан туршилтын дүнгүүдийг тэмдэглэсэн. $N_{ch}=1$ олонлогтой тохиолдол байхгүй болно. Зураг 6-д олонлог бүрт байгуулсан шагайлтын параметр b -ийн түгэлтийг Fritiof 1.6 загвараар тооцоолсон $^{16}\text{O}+\text{C}/\text{N}/\text{O}$ үйлчлэлд харгалзсан b -ийн түгэлт, харин $^{16}\text{O}+\text{Ag}/\text{Br}$ үйлчлэлд харгалзсан b -ийн түгэлтийг нэгтгэн нэг хэмжээст түгэлтүүдийг байгуулахад b параметрийн түгэлтийн онол ба туршилтын дүнгүүд хоорондоо зохицож байгааг үзүүлсэн.



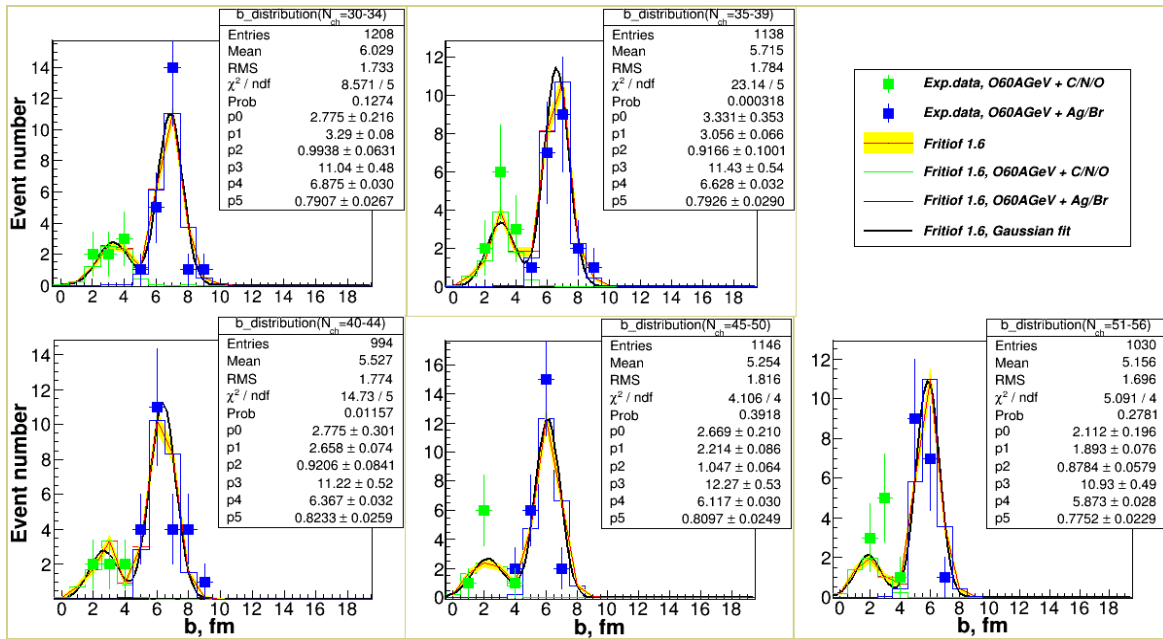
Зураг 4. $\text{O} + \text{Em}$ харимхай бус харилцан үйлчлэлийн цэнэгт бөөмсийн олонлогийн түгэлт (туршилтын дүнг улаан дугуйгаар тэмдэглэсэн). Гистограммаар Fritiof 1.6 загвараар тооцоолсон цэнэгт бөөмсийн олонлогийн түгэлтийг үзүүлэв.



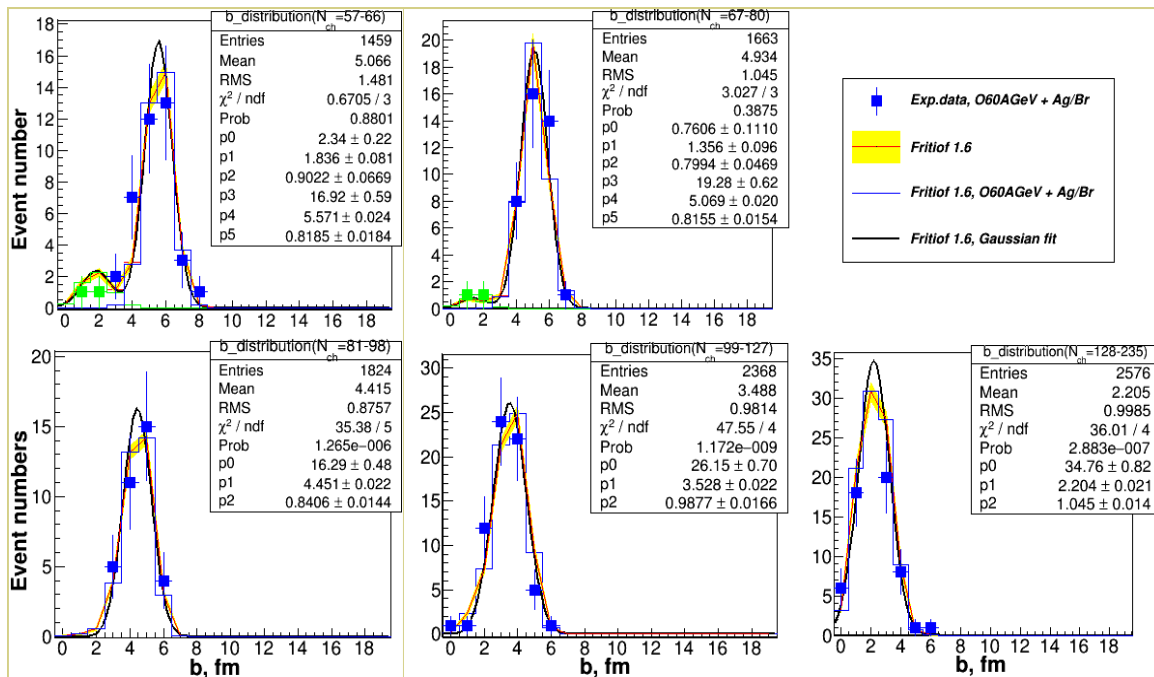
Зураг 5а. Шагайлтын параметр b -ийн тархалтууд. Бүх цэнэгт бөөмсийн олонлог нь ($N_{ch}=2$), ($N_{ch}=3\div 4$), ($N_{ch}=5\div 6$), ($N_{ch}=7\div 8$), ($N_{ch}=9\div 11$) үеийн тохиолдлуудад тус тус харгалзсан шагайлтын параметрийн түгэлтүүд.



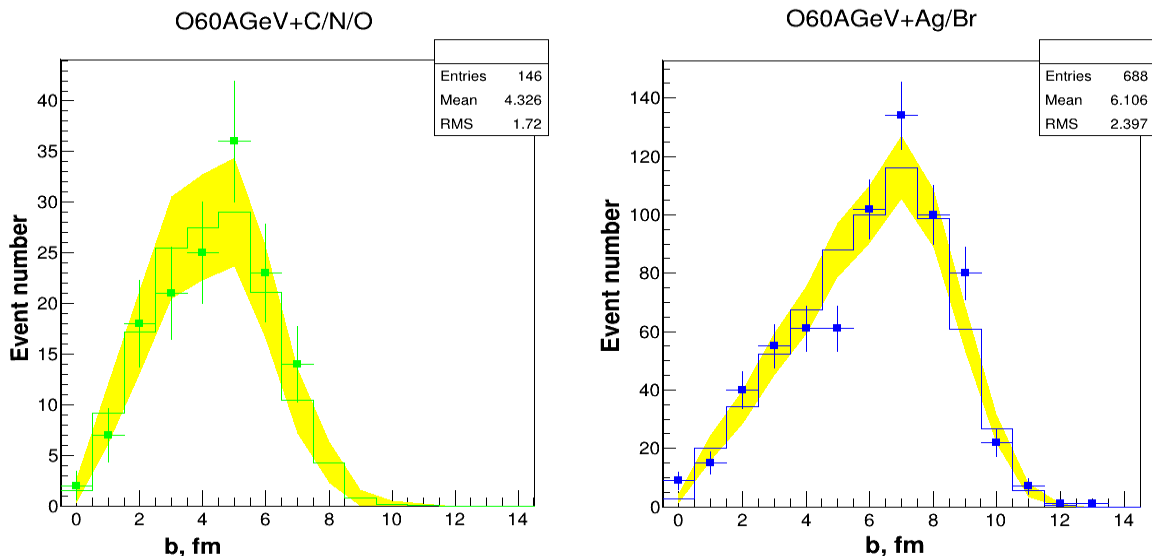
Зураг 5б. Бүх цэнэгт бөөмс $N_{ch}=12\div 14$, $N_{ch}=15\div 17$, $N_{ch}=18\div 21$, $N_{ch}=22\div 25$, $N_{ch}=26\div 29$ олонлогтой тохиолдлуудад тус тус харгалзсан шагайлтын параметрийн түгэлтүүд.



Зураг 5в. Бүх цэнэгт бөөмсийн олонлог нь $N_{ch}=30 \div 34$, $N_{ch}=35 \div 39$, $N_{ch}=40 \div 44$, $N_{ch}=45 \div 50$, $N_{ch}=51 \div 56$ үеийн тохиолдлуудад харгалзсан шагайлтын параметрийн түгэлтүүд.



Зураг 5г. Бүх цэнэгт бөөмс $N_{ch}=57 \div 66$, $N_{ch}=67 \div 80$, $N_{ch}=81 \div 98$, $N_{ch}=99 \div 127$, $N_{ch}=128 \div 235$ олонлогтой тохиолдлуудад тус тус харгалзсан шагайлтын параметрийн түгэлтүүд.



Зураг 6. Олонлог тус бүрт байгуулсан шагайлтын параметрийн түгэлтийг Fritiof 1.6 загвараар тооцоолсон шагайлтын параметрын нэг хэмжээст түгэлт.

II. ЭГЭЛ БӨӨМСИЙН ФИЗИКИЙН ОНОЛЫН ЗАГВАРУУДЫН ӨГӨГДЛҮҮД ДЭХ РЕЗОНАНСЫГ ҮҮСГЭСЭН МЭДЭЭЛЛЭЭР ТҮҮНЭЭС ҮҮССЭН БӨӨМС НЬ КЛАСТЕРЧЛАГДАХ ОГТОРГУЙН ХЭМЖЭЭГ КВАНТ ТООНУУДААС ХАМААРСАН ЗҮЙ ТОГТЛЫГ ТОДОРХОЙЛОХ

Бөөмсийн кластерчлалын судлаж байхад түүнийг бодитоор тухайн огторгуйг хэрхэн тайрах параметрийг олохын тулд онолын загвар анхдагч энергиэс хэрхэн хамаарч буйг тэндээс судалгаа хийж тогтоосон. Үүнээс гадна туршлага болгон өөрийн шийдвэрлэж чаддаггүй асуудлууд үргэлж байдаг. Жишээлбэл, хөөст камерт бүртгэгдсэн их энергитэй эерэг цэнэгтэй бөөмсийг дотор нь эерэг пи мезон уу эсбэл протон уу гэж ялган танидаггүй байлаа. Харин Лобачевскийн буюу гипероблог геометр энэ асуудлыг шийдвэрлэх боломжтойг ашиглаж дараах ажлуудыг хэвлүүлсэн.

2.1 Лобачевскийн огторгуйг ашиглан туршилтын өгөгдлүүдэд их энергитэй эерэг цэнэгтэй бөөмсийг дахин ангилсан засварууд

Лобачевскийн огторгуй буюу хүнхэр огторгуйд бөөмсийн хөндлөн болон дагуу хурдцын үржвэрээр тодорхойлогддог бүтэн хурдац хэмээх хэмжигдэхүүнийг ашиглан их энергитэй эерэг цэнэгтэй бөөмсийг ангилан ялгасан. Их энергийн секторт хуримтлуулсан хөөст камерт бүртгэсэн найман өөр төрлийн харилцан үйлчлэлүүдийн туршлагын өгөгдлүүдийг тооцоонд хэрэглэсэн.

Харилцан үйлчлэлээс үүссэн хоёрдогч бөөмс болгонд протон ба эерэг пионы тархалтуудыг байгуулахад хэрэглэдэг жингүүдийг хэрэглэхгүй болж, бөөмсийг жинхэнэ тоогоор тоолж, кластер байгуулах гэх мэт судалгаануудыг гүйцэтгэх бололцоотой болгосон. Энэ жингүүдэд азимут өнцгийн, одны төвд ойролцоох болон

импульс хэмжигдээгүй тооцсон жингүүд хамаарагдахгүй. Одоо бид эерэг пионууд болон протонуудын хувьд судалгаа хийх нөхцлийг бүрдүүллээ. Андуурагдсан бөөмсийн хувь хэмжээ анхдагч энергиэс хамааран өсдөг.

Засварын дараа бид 205 ГэВ-ийн $p + p$ харилцан үйлчлэлээр үүссэн цэнэгт бөөмсийн температурын судалгаа хийхэд, Цаллисын температурыуд Хагедорны T_1 температурыудтай ойролцоо байна. Нөгөө талаас Хагедорны T_2 ба T_0 температурыуд Цаллисын температураас их байгаа нь тогтворгүй төлөвүүд тэнцвэрт төлөвт шилжихдээ дулааны солилцоо явуулдаг байна. Харилцан үйлчлэлийн мөргөлдөөний урвалыг дараах хоёр хэлбэрээр томъёолж болно:

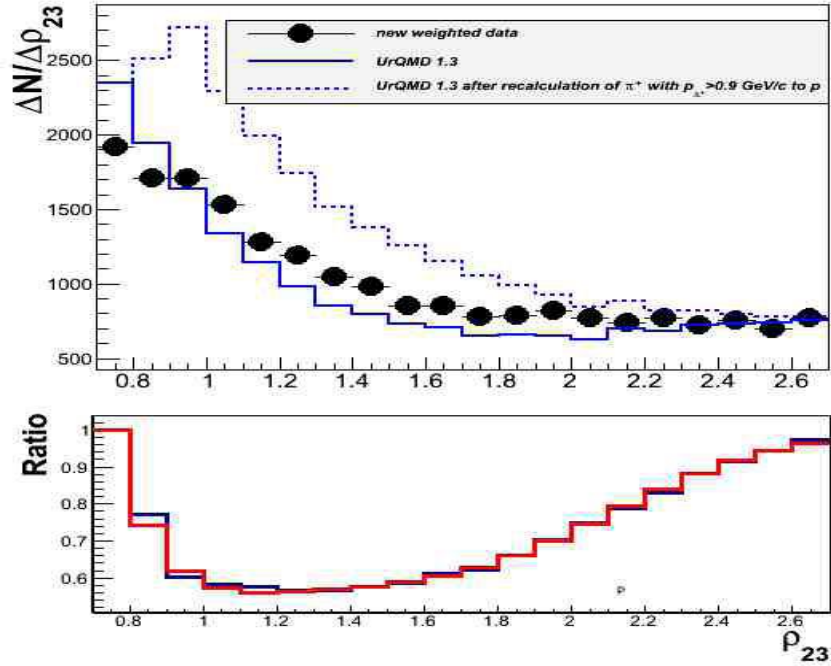
Ихэнх судалгааны ажилд тэмдэглэдэг хэлбэр $I(\text{сум}) + II(\text{бай}) \rightarrow c + X$, энд c бол шинээр үүссэн бөөмс болон бай болон сум цөмөөс харилцан үйлчлэлд ороогүй хэлтэрхийнүүд. X нь тухайн бүртгэх төхөөрөмж дотор бүртгэгдээгүй бөөмс. Эсбэл, $1(\text{сум}) + 2(\text{бай}) \rightarrow 3 + X$, энд 3 бол өмнөх урвалын c -тэй адилхан.

Эгэл бөөмсийн харилцан үйлчлэлийн процессыг судлах үед аливаа асуудлыг шийдвэрлэхэд тухайн хөдөлгөөний дагуу ба хөндлөн чиглэлийг зэрэг тооцсон хэмжигдэхүүнээр судлаж үзэх нь олон давуу талтай. Жишээлбэл, Лобачевскийн геометр [1, 2] буюу хурдцын огторгуйд хэрэглэгдэх “бүтэн хурдац” гэж нэрлэдэг хэмжигдэхүүн нь дээр дурдсан хоёр чиглэлийг нэгэн зэрэг тооцдог. Энэ геометрыг дараах үржвэрээр илэрхийлдэг:

$$\text{ch}(\rho) = \text{ch}(\tau)\text{ch}(y),$$

Энд y бол дагуу хурдац, түүнийг $y = 0.5 \cdot \log[(E+p_{||})/(E-p_{||})]$ томъёогоор, харин хөндлөн чиглэлийг $\tau = m_T/m$ гэж тодорхойлдог. E , $p_{||}$, m_T ба m нь бүтэн энерги, импульсийн дагуу байгуулагч, m_T хөндлөн масс ба m бөөмийн тайваны масс.

[2] ажилд ρ хэмжигдэхүүнийг нягтын тэмдэглэлээс ялгах зорилгоор мөргөлдөөний урвалын хоёр дах дүрмээр ρ_{23} гэж илэрхийлснийг бид хэвээр нь үлдээсэн. Бид өмнө 10 ГэВ-ийн протон-нүүрстөрөгчийн болон нэг нуклондоо 4.2 ГэВ энерги бүхий нүүрстөрөгч-нүүрстөрөгчийн харилцан үйлчлэлүүдэд үүссэн ГэВ-ээс их энергитэй эерэг пионы алдагдлыг протон дотроос ялгасан бөгөөд дээрх огторгуйг хэрэглэн туршлагын өгөгдлүүдийг сайн тайлбарласан онолын загварууд дээр тулгуурлан Монте Карлогийн аргаар түүвэрлэж авсан[3,4].



Зураг 1. Харимхай бус p_T -үйлчлэлээр үүссэн протоны бүтэн хурдцын түгэлт (Дээд талынх). Энд хар цэгээр туршилтын ба гистограммууд нь UrQMD 1.3 загварын дүн, харин тасархай гистограммууд UrQMD 1.3 загварт туршлагын нөхцөлийг тооцсон үр дүнгүүд. Доод талын зурагт UrQMD загвараар үүссэн “жинхэн” протонуудын түгэлт буюу гистограммыг 0.9 ГэВ/с-ээс их импульстэй π^+ -мезоныг протон болгосон тасархай гистограммаар үзүүлсэн түгэлттэй харьцуулсан харьцааны бүтэн хурдцын хамаарал. Энд улаан гистограммаар 7-р эрэмбийн Лежандрын полиномоор дөхүүлэлт хийсэн хамаарал.

Зураг 1-д үзүүлсэн улаан гистограммаар протон дотроос эерэг пионыг ялгах магадлал бөгөөд хэрвээ p_{23} - ийн тухайн утга бүрд MC магадлалыг үзбэл энэ муруйнаас дээгүүр үзүүлэлттэй байвал уг протон π^+ -мезон болон хувирч байна гэж тооцоод, түүний тайваны массыг өөрчилөхөд бусад физик хэмжигдэхүүнүүд мөн өөрчлөн тооцогддог. Эсрэг тохиолдолд протон протоноор л үлдэнэ.

Энэ зарчмаар бусад харилцан үйлчлэлүүдийн хувьд протон дотроос эерэг пионыг, сүүлчийн гурван үйлчлэлийн хувьд эерэг пион дотроос протоныг ангилан ялгасан. Дараах хүснэгтэд Лобачевскийн геометрийг ашиглаад найман төрлийн мэдээлэлд их энергитэй эерэг бөөмсийн ангилан ялгах боломжгүй байсныг дээд зэргийн магадлалтайгаар арилгаж болохыг харууллаа. Туршлагын өгөлдүүдийг олон физик хэмжигдэхүүнүүдээр сайн тайлбарласан онолын загваруудыг ашигласан. Өнөөдрийн байдлаар туршлагын үр дүнг сайн тайлбарладаг олон загварууд байна.

Хүснэгт 1. 1 ГэВ/с -ээс их импульстэй эерэг бөөмсийг ангилан ялгасан засвар ба андуурагдсан хувь хэмжээ.

Харилцан үйлчлэл	Анхдагч энерги, ГэВ	Өөрчлөлтийн ρ_{23} -ийн завсар	Андуурагдсан бөөмсийн хувь
p + C	4.2	протоны $0.8 < \rho_{23}^p < 2.1$	π^+ мезоны хувд 19.7%
d + C	4.2A	протоны $0.8 < \rho_{23}^p < 1.9$	π^+ мезоны хувд 22.7%
He + C	4.2A	протоны $0.8 < \rho_{23}^p < 1.9$	π^+ мезоны хувд 17%
		π^+ мезоны $1.65 < \rho_{23}^{\pi^+} < 2.55$	Протоны хувьд 2.9%
C + C	4.2A	протоны $0.8 < \rho_{23}^p < 1.7$	π^+ мезоны хувд 20%
		π^+ мезоны $0.5 < \rho_{23}^{\pi^+} < 0.8$	Протоны хувьд 10%
p + C	10	протоны $0.8 < \rho_{23}^p < 2.8$	π^+ мезоны хувд 25.3%
$\pi^- + p$	40	π^+ мезоны $1.9 < \rho_{23}^{\pi^+} < 6.3$	Протоны хувьд 75%
$\pi^- + C$	40	π^+ мезоны $1.8 < \rho_{23}^{\pi^+} < 6.4$	Протоны хувьд 40%
p + p	205	π^+ мезоны $2.6 < \rho_{23}^{\pi^+} < 9.8$	Протоны хувьд 67%

Энэ засварыг хийснээр бид хоёрдогч бөөмс болгонд жингүүдийг хэрэглэхгүй болсон бөгөөд бөөмсийг жинхэнэ тоогоор тоолж, кластер байгуулах г.м. судалгаануудыг гүйцэтгэх боломжтой болсон. Бусад судалгааны хүрээлэнгүүд манай камераар бүртгэгдсэн сөрөг пионы судалгааг өргөн дэлгэр явуулсан билээ[5]. Одоо бид эерэг пионууд болон протонуудын хувьд судалгаа хийх нөхцөл бүрдээд байна.

Үүнийг батлахын тулд бид 205 ГэВ-ийн p+p харилцан үйлчлэлээр үүссэн π^- ба π^+ -мезонуудын болон протоны хөндлөн импульсийн тархалтуудыг байгуулан, Хагедорн болон Цаллисын аргаар харгалзах температурыудын хэв хэмжээг тодорхойлье.

2.1.1 Хагедорны тархалт

Хагедорн функцийг ашиглан дээрх бөөмсийн p_T спектрийг дөхүүлэлт хийж үзлээ. Хагедорн Термодинамикийн загвар [3]-ыг таамаглаж, $m_T \geq T$ нөхцлийг хангасан үед дараах хэлбэрийн функцээр дөхүүлэлт хийж болно:

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dp_T} = F(p_T) = A p_T \sqrt{m_T T} \exp(-m_T/T) \quad (1)$$

Энд N тухайн тархалтын нийт тоо ба A бол дөхүүлэлтийн тогтмол. Бид өмнөх илэрхийлэл нь Хагедорны нэгэн температуртэй функц юм. Гэвч энэ функцийг бүтцийн хоёр болон олон функцийг нийлбэр болгож болох юм. Хэрвээ хоёр функцүүдийн нийлбэр гэвэл T_1 ба T_2 гэсэн хоёр температурыудын утгууд олдож, бидний бүтцийн p_T функцүүд дараах хэлбэртэй болно:

$$\frac{dN}{N dp_T} = F_1(p_T) + F_2(p_T) = A_1 p_T \sqrt{m_T T_1} \exp(-m_T/T_1) + A_2 p_T \sqrt{m_T T_2} \exp(-m_T/T_2) \quad (2)$$

Энэ илэрхийллийн эхний нийлбэрийг p_T -ийн бага утганд тохирно гэж үзээд харилцан үйлчлэлийн зөөлөн (Soft) процесс буюу $f_s(p_T)$ функц, харин хоёр дох

нийлбэрийг p_T -ийн их утганд харгалзах хатуу (Hard) процессийг төлөөлж байна гээд $f_H(p_T)$ функцээр тэмдэглэе. Эдгээр хоёр функцүүдээр ерөнхий $f_0(p_T)$ функцийг хэрхэн тодорхойлдогийг авч үзье. Нөгөө талаас [7] туршлагын p_T спектр өргөн муж хүрээг хамардаг төдийгүй сарнилын хялбархан (зөөлөн буюу түүний ихэнх хувь нь мэдэгдсэн), хүнд тайлахад ярвигтай (хатуу эсвэл учрыг олоход бэрхшээлтэй) процессуудын нийлбэр гэж үзэж болно. Үүнийг дараах хоёр бүрэлдэхүүнтэй функц юм.

$$f_0(p_T) = k_1 f_S(p_T) + k_2 f_H(p_T), \quad (3)$$

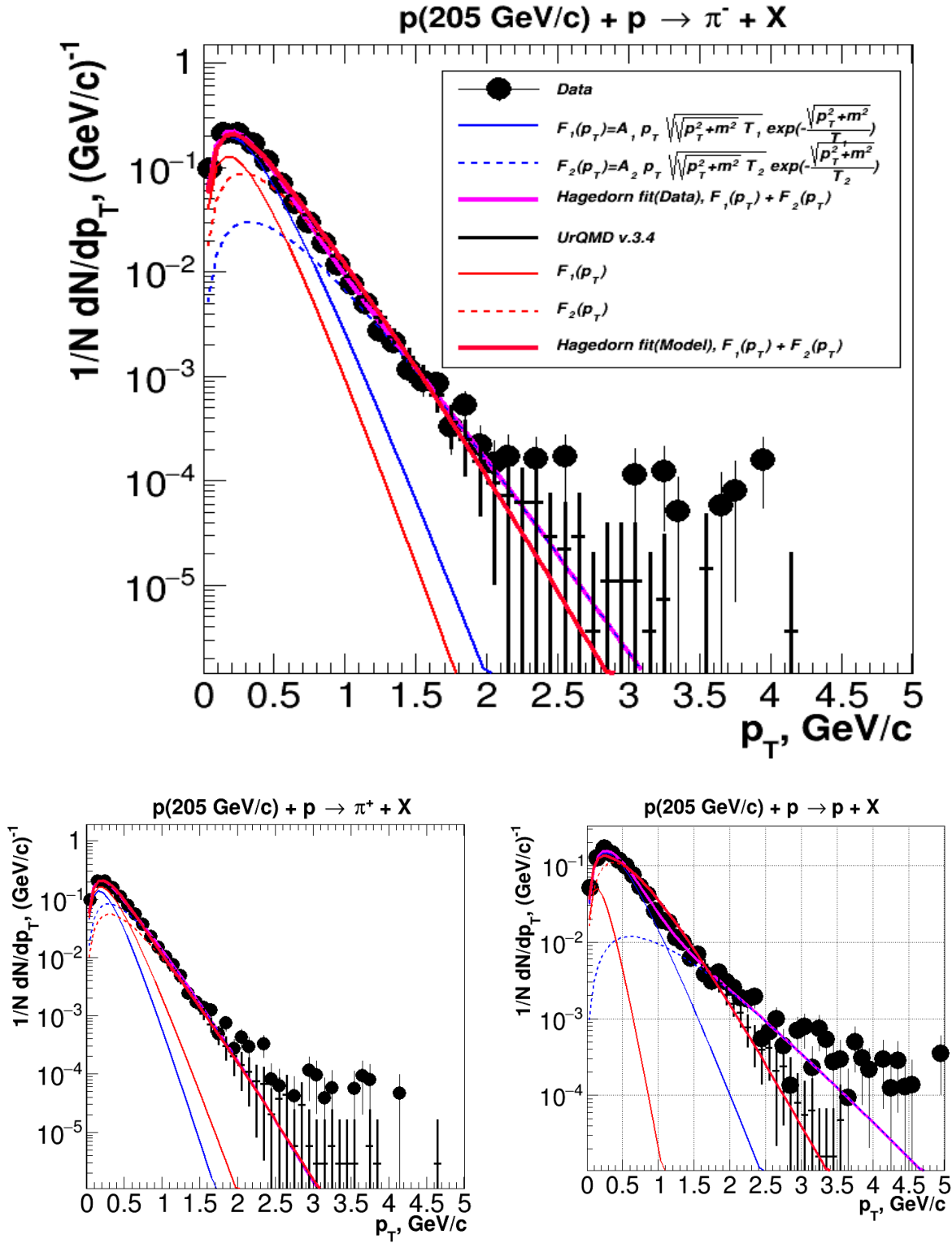
энд $k_1(k_2)$ - зөөлөн болон хатуу процессуудын хувь хэмжээг тэмдэглэсэн бол $f_S(p_T)$ ба $f_H(p_T)$ функцүүдийн хил хязгаарыг тогтоохоор олон судалгаанууд явуулж байна, бид ч өөрсдийн хувь нэмрээ оруулах хэрэгтэй. Дээрх хоёр болон олон функцүүдийн нийлбэрийн гол биелүүлэх нөхцөл нь $\int_0^{p_T^{\max}} f_0(p_T) dp_T = 1$, бөгөөд энд p_T^{\max} нь p_T -гийн хамгийн их утга. Илэрхийлэл (3)-д зөөлөн хэсэг нь бага p_T -гийн мужид харин хатуу хувь нь p_T -гийн бүхэл мужийг хамарна. Бага p_T -гийн мужид зөөлөн ба хатуу процессууд давхцана.

Хагедорны загвар ёсоор [8], бидний ердийн алхам бол хоёр функцүүдийн нийлбэрийг сонгодог ба их энергийн мөргөлдөөнд термо-динамикийн тэнцвэрт байлгахаар янз бүрийн цочрогдсон адроны файерболуудын хязгааргүй ба үл тодорхойлогдох тоог л ашигладаг. Механизмын энэ үүсэлтийн зайлшгүй ба маш чухал дүгнэлт ба гаргалгаа бол анхдагч энергиэс л температур үл хамаардана[9].

Энгийн нотолгоог хэдэн жилийн дараа Фиэлд ба Фейнман нар эрт хийсэн[10]. Одоо таамаглаж болох асуудал нь олгойдолтын тэнхлэгийн дагуу ойж гарсан бөөмсийн хөндлөн импульсийн (p_T) түгэлт энэ температурыг удирдан жолоодоно. Зураг 2-оос харахад Хагедорны функцүүдээр туршлагын өгөгдлийн хөндлөн импульсын түгэлтэнд дөхүүлэлт хийж хүснэгтэнд үзүүлсэн параметруудийг тооцож гарган авсан. Зарим тохиолдолд маш бага p_T -гийн мужид пионуудын резонансын үүсгэх хувь хэмжээг авч үздэг, p_T -гийн 0.2~0.3 ГэВ/с мужид резонансууд үүсдэг. Тэнцвэртэй төлөвт систем бүрэн шилжсэн үед түүний температурыг дараах хэлбэрээр тодорхойлдог:

$$T_0 = k_1 T_1 + k_2 T_2 \quad (4)$$

Энэ T_0 бол тэнцвэрт төлөвийн Хагедорны температур.



Зураг 2. Цэнэгт пионуудын болон протоны хөндлөн импульсийн тархалтууд. Хагедорны функцүүдийн дөхүүлэлтүүд.

Дараах хүснэгтэд Хагедроны функцүүдээр дөхүүлэлтүүдийн үр дүнг нийтлэв.

Хүснэгт 2. Хагедроны функцүүдийн дөхүүлэлтүүдийн параметрууд

	π^- -мезон	π^- -мезон	π^+ -мезон	π^+ -мезон	протон	протон
	Data	UrQMD	Data	UrQMD	Data	UrQMD
A_1 (ГэВ) ⁻³	49±2	40±2	52±3	41±2	15±1	39±15
T_1 (МэВ)	115±3	106±8	98±5	114±4	166±4	76±12
A_2 (ГэВ) ⁻³	1.9±0.9	8.0±2.6	6.6±1.4	4.0±1.4	0.18±0.07	5.1±0.5
T_2 (МэВ)	208±14	176±15	186±6	193±9	403±27	237±5
$\chi^2 / \text{n.d.f}$	24.1/28	4.2/30	41.8/29	3.2/34	48.1/42	13.9/31
k_1	0.79	0.48	0.48	0.64	0.82	0.14
k_2	0.21	0.52	0.52	0.36	0.15	0.86
T_0 (МэВ)	135±4	144±8	143±4	141±4	198±5	214±9

2.1.2 Цаллисын тархалт

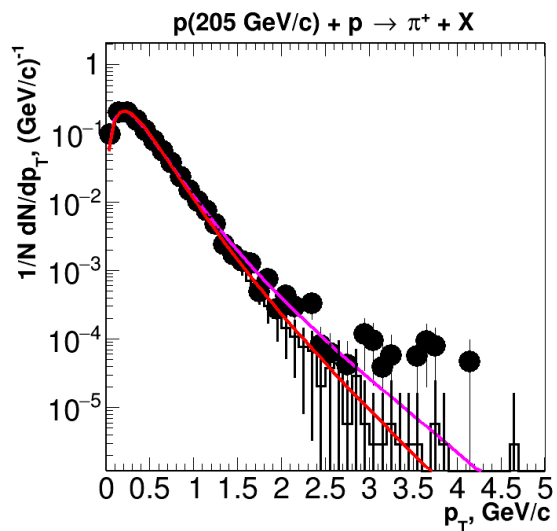
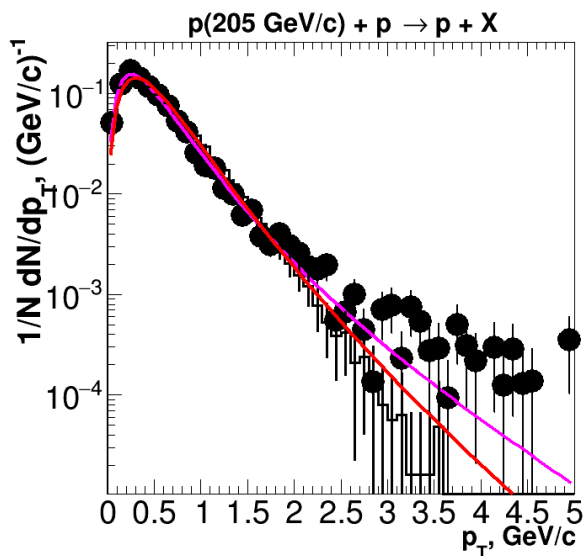
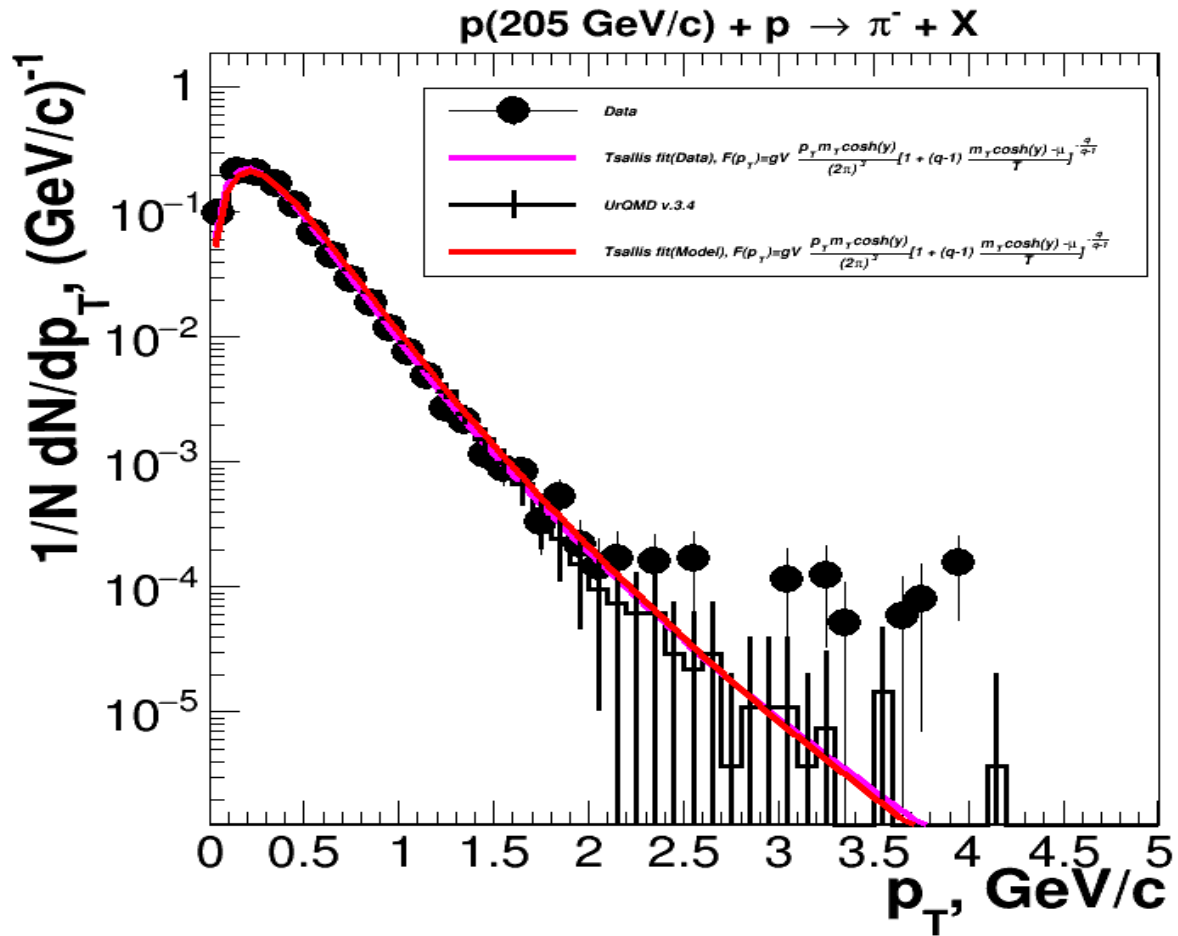
Цаллисын түгэлтийг хорь гаруй жилийн өмнө Больцман-Гиббсийн ердийн экспоненциал түгэлтийн ерөнхий байдлаар таамагласан ба T (температур), μ (химийн потенциал), g (бөөмийн спин буурах коэффициент), V (эзлэхүүн) гэсэн параметруудээр тодорхойлогддог. Энэ хэлбэрийн тэгшитгэл нь Больцман-Гиббсийн экспоненциал түгэлт $\exp(-E/T)$ -ийн ерөнхий хэлбэрээр ихэвчлэн дараах хэлбэрээр илэрхийлэгддэг.

$$\frac{d^3N}{dp^3} = \frac{gV}{(2\pi)^3} \left[1 + (q-1) \frac{E-\mu}{T} \right]^{-\frac{q}{q-1}} \xrightarrow{q \rightarrow 1} \frac{gV}{2\pi^3} \exp\left(-\frac{E-\mu}{T}\right) \quad (5)$$

Цаллисын түгэлтийг Больцман-Гиббсийн статистикаас салган үзэх шалтгаан нь бүх шинж чанаруудыг q гэсэн параметрээр товчхон тодорхойлсон. Ийм дөхүүлэлтийг дэлгэрэнгүй биш статистик гэж нэрлэдэг. Ялангуяа [11]-д $q-1 = \text{Var}(T)/\langle T \rangle^2$ нь температурын дотоод хэлбэлзлийг шууд тодорхойлдог болохыг харуулсан. Гэсэн хэдий ч Цаллисын түгэлт нь бусад олон динамик механизмуудаас үүсэлтэй байдаг. Илүү дэлгэрэнгүйг [12]-аас харж болно. Энэхүү дөхүүлэлт нь өөр өөр төрлийн олон бөөмс үүсэх процессыг маш амжилттай тайлбарладаг болохыг [11,12]-д үзүүлсэн. Тэгшитгэл (5)-ийг хөндлөн импульс (p_T) болон хөндлөн масс $m_T = \sqrt{m_0^2 + p_T^2}$, хурдац (y)-аар илэрхийлбэл тэгшитгэл дараах хэлбэртэй болно Энд m_0 бол бөөмийн тайвны масс. Илэрхийлэл (5)-д m_T ба y хувсагчдыг оруулан тооцвол судалж буй бөөмийн бүтцийн функцийг

$$\frac{d^2N}{dp_T dy} = gV \frac{p_T m_T \cosh(y)}{2\pi^2} \times \left[1 + (q-1) \frac{m_T \cosh(y) - \mu}{T} \right]^{-\frac{q}{q-1}} \quad (6)$$

гэж илэрхийлж болно.



Зураг 3. Цэнэгт пионуудын болон протоны хөндлөн импульсийн тархалтууд. Цаллисын функцүүдийн дөхүүлэлтүүд.

$\sqrt{s} = 19.7$ ГэВ энергитэй р+р мөргөлдөөнөөс үүссэн хоёрдогч цэнэгт бөөмсийн хөндлөн импульсийн тархалтын дөхүүлэлтийг гурван нөхцлөөр Цаллисийн тархалтуудаар ойролцоолол хийж гүйцэтгэсэн. Илэрхийлэл (5) дэх бөөмийн спины буурах коэффициент g нь π^\pm – ийн хувьд 1, протоны хувьд 2 гэж тооцдог. Хөндлөн импульсын тархалтыг Цаллисын арга нь туршилтын протон-протоны мөргөлдөөнөөс үүссэн π^\pm -мезоны, протоны хувьд хурдцын бүх интервалд сайн тайлбарлаж байгааг Зураг 1-д харж болно. Хүснэгт 3-д хурдцын бүх интервалд эзэлхүүн (V), энтропийн индекс (q), температур (T) ба нэгж чөлөөний зэрэгт ноогдох χ^2 -ийн утгуудыг жагсаав.

Хүснэгт 3. Цаллисын функцүүдийн дөхүүлэлтүүдийн параметрууд

	π^- -мезон	π^+ -мезон	π^+ -мезон	π^+ -мезон	протон	протон
	Data	UrQMD	Data	UrQMD	Data	UrQMD
gV (ГэВ) ⁻³	289±3	264±3	275±2	271±2	176±3	143±3
q	1.081±0.00 4	1.073±0.00 3	1.097±0.00 3	1.076±0.00 3	1.124±0.00 6	1.085±0.00 4
T (МэВ)	101±1	108±1	104±1	107±1	130±2	152±2
$\chi^2 / \text{n.d.f}$	22.6/29	22.1/29	54.8/35	10.3/34	52.1/42	88.0/34

Хүснэгт 2 ба 3- ээс харахад Цаллисын температур (T)-ууд Хагедорны температур (T_1)-уудтай ойролцоо байна. Нөгөө талаас Хагедорны T_2 ба T_0 температурыуд Цаллисын температур (T)-аас их байгаа нь тогтворгүй төлөвүүд тэнцвэрт төлөвт шилжихдээ дулааны солилцоо явуулж байгааг илэрхийлж байна.

2.2 40 ГэВ-ийн энергитэй сөрөг пионы протонтой болон нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчилсэн мөргөлдөөнд илэрсэн резонансууд

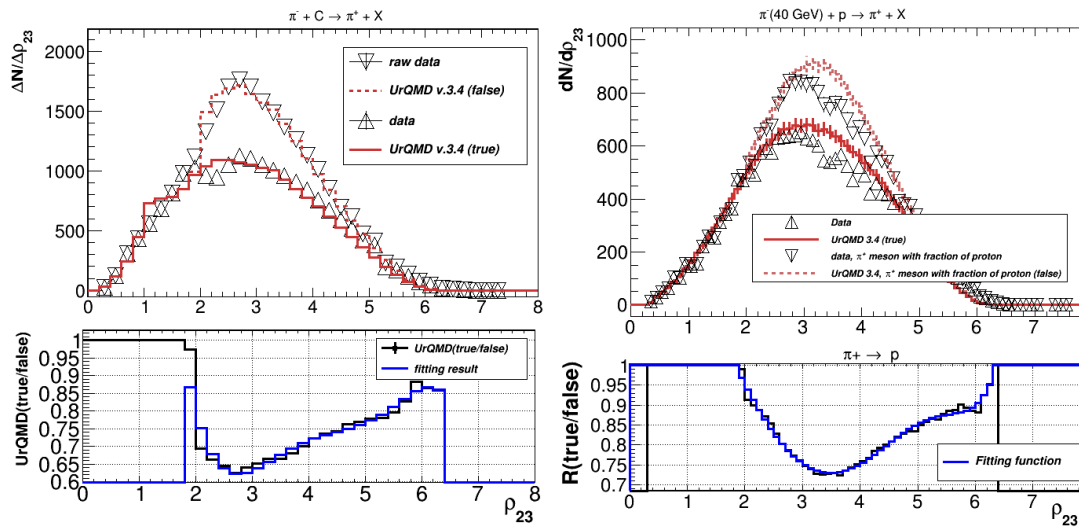
Зурган мэдээллийн хувьд их энергитэй эерэг пион π^+ -мезон дотор холилдсон протонуудыг Лобачевскийн буюу гиперболог геометрийг ашиглан бүрэн ялгасны дараа 40 ГэВ-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд үүссэн Δ^{++} , Δ^0 , одны оройд үүсдэг K_S^0 , η^0 , ба ρ^0 резонансуудыг 4 π -геометрийн нөхцөлд судлав. Мөн $p\pi^\pm$ ба $\pi^+\pi^-$ хосоор туршилтын болон дэвсгэр инвариант массын тархалтын анализ хийн, резонансуудын тархалтын өргөн, массуудыг тодорхойллоо. Туршилтын үр дүнг UrQMD 3.4 хэмээх онолын загвартай харьцуулсан.

$\pi^- + p$ харилцан үйлчлэлийн өгөгдлүүдийн хувьд бай массыг ашиглан, түүний утга нэгээс хэтэрбэл уг харилцан үйлчлэлийг харимхай бус π^-+C үйлчлэлд оруулаад, жинхэнэ $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн ансамблийн бүрдүүлсэн.

2.2.1 Судлагдсан байдал

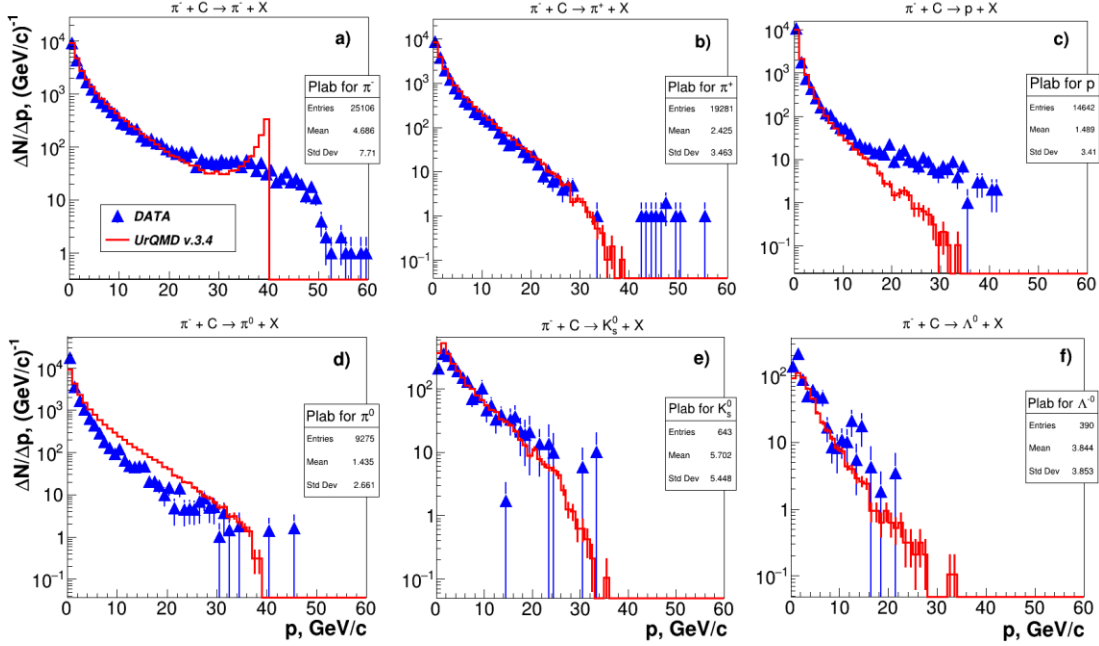
Маш олон ажлуудад ямар нэгэн шалгууруудыг хэрэглэн, $\pi^- + p$ and $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдийн хувьд $p\pi^\pm$ ба $\pi^+\pi^-$ хосоор ажиглагддаг резонансуудыг хайж олсон байдаг[1-3].

Бид энэ удаа ямарч шалгуурыг хэрэглээгүй бөгөөд Лобачевскийн геометрийг ашиглаад, π^+ мезон дотор их энергитэй (1 ГэВ-ээс) протонуудыг ялгасны дараа (Δ^{++} , Δ^0 , K_S^0 , η^0 , ρ^0) резонансуудыг судлав. Энд бид хэрхэн ялгасныг товчхон тайлбарлая [4].



Зураг. 1. Лобачевскийн геометрийн бүрэн хурдац p_{23} -ийн тархалтууд. Дээд талын 2 зурагт засварын өмнө (доошоо харсан гурвалжин), дээшээ харсан гурвалжин бол засварын дараа, бор гистограмуудын тасархай цэгүүд (засварын өмнө, онолын UrQMD 3.4 загвар), нягт бор гистограмууд бол засварын дараах UrQMD 3.4 загварын үр дүн. Доод талын зургууд нь туршлага ба онолын засварын дараах үр дүнг засварын өмнө үеийг засварын дараах үеийн дүнд харьцуулсан харьцаанууд.

Энэ зургаас бид Монте Карло аргаар хэрвээ $R(\text{true/false})$ харьцаа нэгээс бага интервалд хөх муруйгаас их утга авбал π^+ мезоны массыг протоны массаар солин тооцоог шинээр хийнэ. Ингэж бид өөрчлөлт буюу засварыг хийж, онол туршлагын тохиролцоог шалгаж, засвар хэрхэн үнэн болсныг шалгадаг. Жишээ болгон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд үүссэн 6 төрлийн бөөмсийн импульсийн тархалтуудыг үзүүлэе.



Зураг. 2. $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд үүссэн 6 төрлийн бөөмсийн импульсийн тархалтууд. Дээд талын 3 бөөмс (π^- мезон (a), π^+ мезон (b), протон(c)) бол доод талд (π^0 мезон (d), K_S^0 -мезон (e) ба Λ^0 -гиперон(f))

Энэ зургаас онол туршлагын зөрөө хэмжээнд ялгаа π^+ мезоны хувьд ажиглагдахгүй байна. Резонансууд нь их энергийн физикийн судалгааны эхний судалгаануудад илэрсэн анхны бөөмсийн нэг байсан бөгөөд тэдгээрийг бүртгэх аргаар тодорхойлогддог. Резонанс гэдэг нь маш богино ($\sim 10-25$ сек) амьдрах хугацаатай бөөмсийн ангиллыг хэлдэг тул эдгээр бөөмсийг судлахын тулд резонансын задралын бүтээгдэхүүний импульс ба энергийн хэмжилтийг дараах томъёог ашиглан инвариант массын тархалтыг босгохдоо тэгшитгэл (1)-ийг ашигладаг.

$$M_{1,2}^2 = (E_1 + E_2)^2 - (p_1 + p_2)^2 \quad (1)$$

Энд $M_{1,2}$ нь инвариант масс, $E_{1,2}$ нь энерги, $p_{1,2}$ нь 1 болон 2 задралын бүтээгдэхүүний импульсийн вектор юм. Энэ аргаар резонансуудыг өргөн (ихэвчлэн 10-МэВ-ээс 200 МэВ хүртэл) -тэй массын төвийн ойролцоо төвлөрсөн тархалтын дээд цэг гэж үзэж болох бөгөөд энэ нь доор тайлбарласан энергийн түгэлтийн Фурье хувиргалтаас үүссэн экспоненциалаар задрах тархалттай холбоотой юм.

Дараа нь туршилтын болон дэвсгэр массын тархалт хоорондын ялгааны буюу ялгаврын тархалт $D(M)$ -аар анализ хийдэг (2).

$$D(M) = \frac{dn^{exp}}{dM} - a \frac{dn^{bg}}{dM} \quad (2)$$

Энд коэффициент a нь 0-ээс 1 хүртэлх утгыг авдаг. Жишээлбэл: $a=0.89$ ($p\pi^+$), 0.9 ($p\pi^-$) ба 0.99 ($\pi^+\pi^-$). Жишээбэл, $D(M)$ гэсэн тархалтыг цэвэр ямар нэгэн сигнал гэж

тайлбарлан, түүнд харгалзах массын мужид дараах релятив Брейт Вигнерын функцээр дөхүүлэлт хийдэг билээ [6].

$$BW(M) = \frac{\Gamma M \Delta}{(M^2 - M_R^2)^2 + \Gamma^2 M_R^2}, \quad (3)$$

Энд M_R болон Γ нь тухайн резонансын масс болон өргөн. $D(M)$ а өгөгдлийн багцыг Брейт Вигнерын функцээр $BW(M)$ төхөөлөлт хийсэн бөгөөд тэр төхөөлөлт тус бүрд χ^2 утгыг олдог.

А. Онолын загвар UrQMD (Ultrarelativistic Quantum Molecular Dynamics)

UrQMD бол дараах зүйлсийг агуулсан хүнд ионы генератор юм.

- Микроскоп түвшний дамжууллын онол (Вольцмын-Үлин-Үленбекийн тэгшитгэл):

$$\frac{df_i(x,p)}{dt} \equiv \frac{\partial f_i(x,p)}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial f_i(x,p)}{\partial x} + \frac{dp}{dt} \frac{\partial f_i(x,p)}{\partial p} = St f_i(x,p) \quad (4)$$

цөм-цөмийн мөргөлдөөнөөр үүссэн өөр өөр бөөмсэд зориулсан фазын огторгуйн нягт $f(x, p)$, энд St бол ялгаатай бөөмсийн дахин сарнилыг харгалзан үзэх мөргөлдөлтийн гишүүн.

- Цөмүүдийн хоорондох зөөлөн харилцан үйлчлэлийг Skyrme-мэт потенциалаар (бодит Квант Механикийн динамик) тодорхойлдог, энд олон биеийн системийн төлөвийн тэгшитгэлийг тооцоолохыг зөвшөөрдөг. Эдгээр зөөлөн харилцан үйлчлэл pp мөргөлдөөнд хамаарахгүй.
- Төрөл бүрийн адрон-адроны процессын хэсэгчилсэн хөндлөн огтлолыг яг таг кодолдог. Энэ хөндлөн огтлолын зарим хэсгийг хэмждэг бөгөөд туршилтын өгөгдлийн дөхүүлэлтийг ашигладаг. Хэрэв өгөгдөл байхгүй бол нэмэлт кварк загвар ба дэлгэрэнгүй балансын аргументуудыг ашиглана.
- Илүү их энергитэй сарнилд энгийн Лунд мэт стринг загварыг хэрэглэдэг.
- 2-2 процесс бүрд зориулсан дифференциал хөндлөн огтлол (өнцгийн түгэлт гэх мэт)-ыг σ , ω ба π мезонуудаар харилцан үйлчлэлдэг нуклоны системийн хувьд эффектив орны онолын хүрээнд тооцоолон гаргаж авсан ерөнхий томъёонуудаар тодорхойлдог.

2.2.2 Туршилтын төлөв байдал

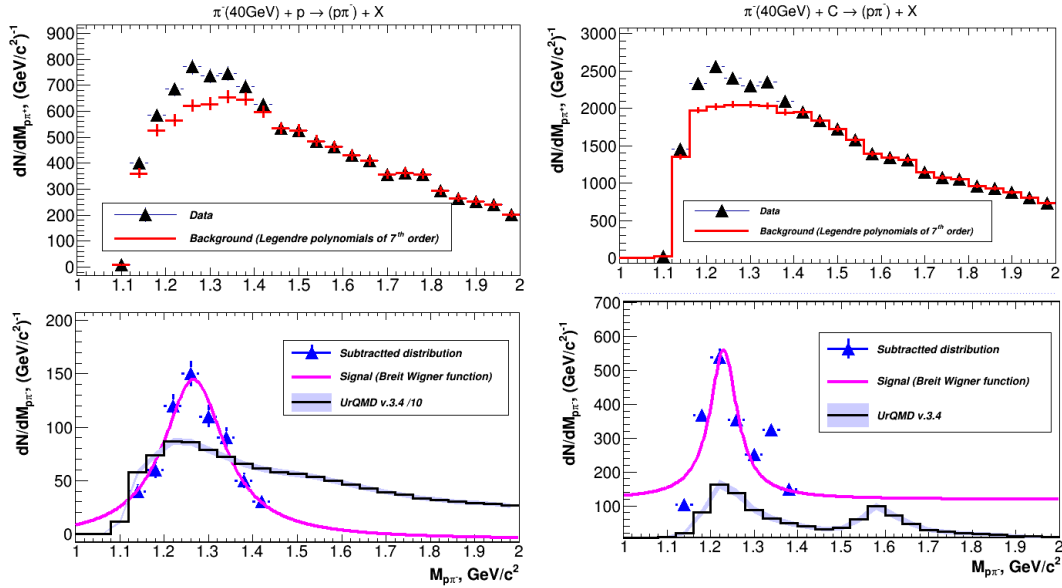
Туршилтын өгөгдлийг ЦШНИ-ийн (Дубна, Орос) Их энергийн лабораторийн 2 м-ийн пропант хөөст камерыг, Серпуховын хурдасгуур дээр 40 ГэВ/с-ийн релятив π^- мезоны цацрагаар шарсан юм. Анализ хийсэн өгөгдлийн статистик нь 28 ± 1 мбарн ба 179 ± 2 мбарн хөндлөн огтлолд харгалздаг [7] ба хэмжигдсэн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харимхай бус харилцан үйлчлэлүүдээс хэмжсэн 8683 ба 7415 тохиолдлуудаас

бүрдлээ. Стерео фото зургийг боловсруулах, пропан (C_3H_8) дах харилцан үйлчлэлийн төрлийг сонгох, хоёрдогч бөөмсийн кинематик шинж чанарын сэргээн босгон байгуулах, тэдгээрийг тодорхойлох, мөн анхдагч цацарсан бөөмсийн алдагдлаас үүдэлтэй засвартай холбоотой арга зүйн асуудлууд байдаг [9-11]. Камерын объектын хавтгайд их өнцгөөр цацрах бөөмсийн алдагдалтай холбоотой засварыг оруулах талаар дэлгэрэнгүй тайлбарласан. Протон ба π^+ -мезоныг салгахийг тэдний $p < 0.8 \text{ GeV}/c$ мужид иончлогдсон байдал дээр үндэслэн харагдсаар нь протоны дундаж олонлог ашиглан, π^+ - мезоныг $12 \pm 5\%$ тодорхойлсон [8] бол одоо бид тэдгээрийг бөөмийн массыг буруу хийснийг мэдэрдэг.

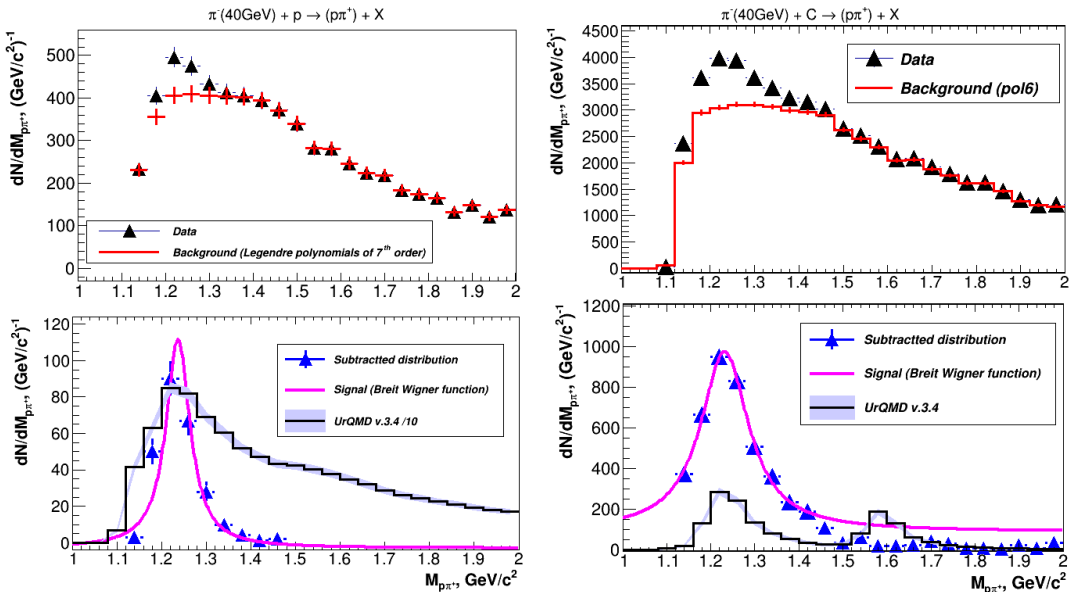
2.2.3 Үр дүн

40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэл дэх $p\pi^+$ ба $p\pi^-$ хосуудын туршилтын инвариант массын тархалтыг Зураг.1-2-г үзүүлжээ. Туршилтын тархалтыг хос бүрт протон ба пионуудыг нэгтгэн гаргаж авсан. 1 ба 2-р зурагнаас харахад $p\pi^+$ ба $p\pi^-$ хосын хувьд инвариант массын тархалт $D(M)$ нь $M = 1232 \text{ MeV}/c^2$ ойролцоо резонансын бүтэцтэй харагдаж байна. Харин 4.2А ГэВ/с-ийн энергитэй $C+C$, $He+C$ ба $p+C$ мөргөлдөөнүүдийн хувьд энэ аргачиллаар дараа бид дахин судалгаа гүйцэтгэх болно. Энэ мөрөөдөл [12, 13] ажилд гаргасан дүнг батална. Бид $p\pi^\pm$ хосуудаас гадна $\pi^+\pi^-$ хосоор илэрдэг зөвхөн пионы резонансуудыг хайж олсон. Зураг.3 дээр эдгээр резонансуудын хэрхэн ажиглагдаж буйг харуулсан. Энэхүү ажилд 40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн үед резонансын масс болон өргөнтэй хамт үүсэх хөндлөн огтлолыг тодорхойлов.

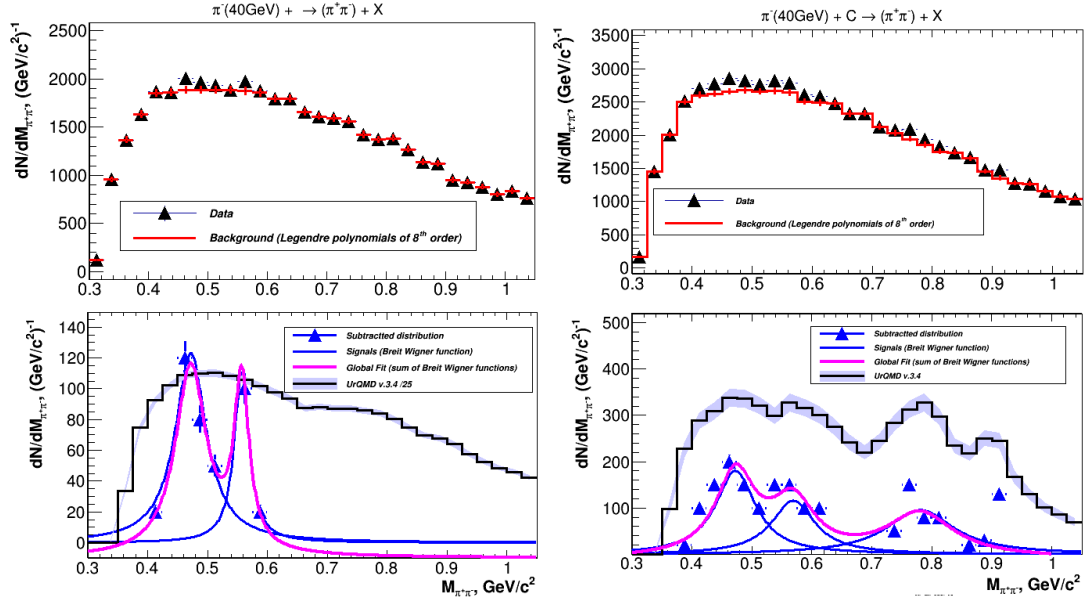
Хүснэгт 1-ээс үзбэл: $\pi^- + {}^{12}C$ харилцан үйлчлэлийн үед резонансын хөндлөн огтлол $\sim 100 \text{ мб}$ байхад $\pi^- + p$ үйлчлэлийн хувьд $\sim 10 \text{ мб}$ орчим байна. Энэ нь бусад судалгааны ажлуудтай ойролцоо байгааг дурьдах хэрэгтэй.



Зураг 3. Дээд талд нь 40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлд үүссэн $p\pi^-$ хосуудын инвариант массын тархалт (\blacktriangle) – туршилт, ($+$) – дэвсгэр тархалт. Энэ тархалтыг 7-р эрэмбийн Брейт Вигнерын функцээр дөхүүлэлтээр хайж олсон. Доод талын зургуудад бол (\blacktriangle)- ялгаврын тархалт. Мөн энд ягаан муруйгаар Брейт Вигнерын функцээр дөхүүлэлт, хар гистограммаар UrQMD 3.4 загвар дах $p\pi^-$ хосын ойролцооллол.



Зураг 4. $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд $p\pi^+$ хосуудын инвариант массын тархалтууд. Тэмдэглэгээ зураг 1-тэй адилхан.



Зураг 5. $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд $\pi^+ \pi^-$ хосуудын инвариант массын тархалтууд. Тэмдэглэгээ зураг 1-тэй адилхан.

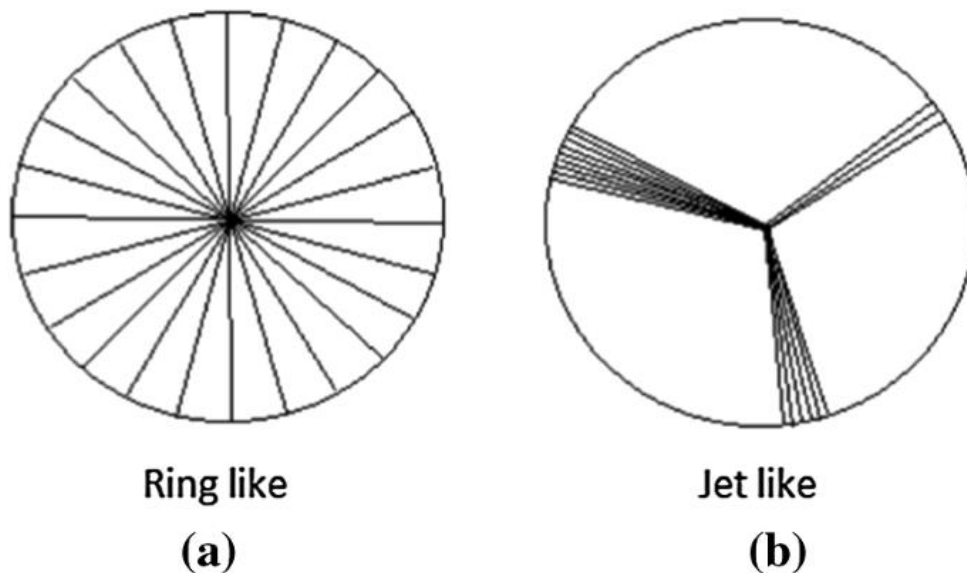
Дээрх 3 зургуудаас ажиглахад, резонансуудын байрлалууд нь UrQMD 3.4 загвараар байгуулагдсан байрлалуудтай ойролцоо тооцлогдсон.

Хүснэгт I. 40 ГэВ/с -ийн $\pi^- + p$ болон $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлүүдэд резонансуудын үүсэлтийн масс, өргөн, хөндлөн огтлолын туршилтын утгууд.

Резонанс	Мөргөдөөний төрөл	M (МэВ/ c^2)	Γ (МэВ/ c^2)	σ (Резонансууд) (мб)
Δ^{++}	$\pi^- + p$	1236 ± 2	65 ± 9	4.6 ± 0.1
	$\pi^- + C$	1230 ± 2	129 ± 10	79.9 ± 3.1
Δ^0	$\pi^- + p$	1264 ± 4	170 ± 37	6.1 ± 0.1
	$\pi^- + C$	1229 ± 2	76 ± 8	90.6 ± 2.9
K_S^0	$\pi^- + p$	471 ± 27	65 ± 9	10.4 ± 0.1
	$\pi^- + C$	473 ± 22	81 ± 7	87.2 ± 3.0
η^0	$\pi^- + p$	557 ± 10	63 ± 10	13.5 ± 0.1
	$\pi^- + C$	567 ± 4	88 ± 7	102.9 ± 2.7
ρ^0	$\pi^- + p$	-	-	-
	$\pi^- + C$	778 ± 5	139 ± 19	88.5 ± 3.0

2.3 Сөрөг пионы протон ба нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчлэлээр үүссэн цэнэгт бөөмсийн азимутал өнцгийн бүтцийг судалгаа

Цөм-цөмийн (АВ) огторгуй-хугацааны хувьсал нь гурван дэд төлөвүүдэд хуваагдаж байна гэж үздэг. Эхнийх маш бага хугацаатай тэнцвэрт төлөв, дараагийн анхны нөхцөлөөс хамаарсан харьцангуй удаан амьдардаг анхныхаа нөхцөлөөс хамаарах дулааны тэнцвэрт төлөв, гэхдээ де-конфайментаас хамаарна эсвэл хамаарахгүй байж болно, харин сүүлчийн шат нь удаан амьдардаг анхны нөхцөлөөс огт хамаарахгүй тэнцвэрийн өмнөх (freeze-out) төлөв, мөргөлдөөний хэлтэрхийнээс үүсэх эцсийн ийн бөөмс [1,2]. Анализ хийх бүрт ажиглагдсан эффектүүд нь статистикийн хэлбэлзлээр давамгайлдаг. Тэдний бодит хазайлт нь хэлбэлзлийн статистик хэсгийг арилгасны дараа зөвхөн ажиглагддаг. Үүссэн бөөмсийн азимутын тархалтын шинжилгээнд олгойдолт ба цагариг хэлбэртэй бүтэц гэж нэрлэж болох хоёр өөр ангиллын дэд бүтцийг илрүүлсэн. Эдгээр бүтцүүд босоо багана эсвэл хана хэлбэртэй бүтцүүд юм [3]. Бөөмийн тархалтад цагариг хэлбэртэй бүтэц нь хурдацын (y) нарийхан бүсэд бөөгнөрөх боловч Зураг 1а-д үзүүлсэн шиг тэрэгний дугуйны хигээсийн адил бүхэл азимут ϕ дээр жигд тархсан бол цагариг хэлбэртэй бүтэц ажиглагдана. Хэрэв олгойдолт нь ялгаруулагч глюонууд бага бол y ба ϕ чиглэлд нарийхан интервалтай хэд хэдэн олгойдолтууд үүсэх магадлал өндөр бөгөөд ингэснээр эцсийн төлөвийн адронуудын тархалтад олгойдолтын бүтэц бий болно [4]. Цагариган төст бүтцийг анх сансрын туяаны туршилтаас ажигласан байдаг. Үүнээс хойш их энергийн хурдасгуурын туршилтуудаас цагариг/олгойдолт төст бүтцүүдийг судалсан [5,6–9].



Зураг 1. (а) бөөмсийн цагариг хэлбэрийн ба (б) олгойдох хэлбэрийн тархалтын бай цөмийн диаграммаар босгосон тархалтын бүдүүвч дүрслэл [10].

Фазын орон зайн нарийхан интервалд бөөмсийн ийм их нягтыг ажиглаж, их энергитэй олон бөөмс үүсэх шинэ механизм бол конус хэлбэрийн глюоник цацаргалт, энэ нь партоник олгойдолтын дундаж цөмийн орчинд дамжин өнгөрсөн үр дүн юм. Энэ механизмыг санал болгосон [11,12]. Энэ феномен бол Черенковын

цахилгаан соронзон цацраг. Адроникийн аналог шиг, анхдагч цөм бай цөмийг дайран өнгөрөхдөө тус бүр нь глюон цацаргаж болох де-конфайнмент кваркуудын нэгдэл гэж үзэж болно [13,14]. Боломжит Черенков глюонуудын тухай санаа нь [9] их энергитэй бүх адроны процессын харимхай тархалтын далайцын эерэг бодит хэсгийн туршилтын ажиглалт дээр тулгуурладаг. Гэсэн хэдий ч өөр арга зам бол цөмийн орчноор дамжин өнгөрөх Махын цохилтын долгион үүсэхийг авч үзэх бөгөөд энэ нь эцсийн төлөвийн адроныг давуу эрхтэйгээр цацаргахад хүргэж болзошгүй юм [15,16].

2.3.1 Туршилтын дэлгэрэнгүй

Туршилтын мэдээллийг Цөмийн судалгааны нэгдсэн институтийн (JINR, Дубна, ОХУ) Их энергийн лабораторийн (LHE) 2 метрийн пропан (C₃H₈) хөөст камерыг ашиглан, NEPI (Их энергийн физикийн хүрээлэн, Серпухов, ОХУ) дах хурдасгуураар 40 ГэВ/с импульс хүртэл хурдассан π^- мезоны мөргөлдөөнөөр цуглуулсан. Туршилтын өгөгдөл нь хэмжсэн 8158 $\pi^- + p$ ба 7437 $\pi^- + ^{12}\text{C}$ мөргөлдөөнөөс бүрддэг бөгөөд бараг бүх хоёрдогч цэнэгтэй хэсгүүдийн бүрэн (4 π) сарнилын өнцгөөр хэмжсэн урвалаас бүрдэнэ. Бүх дан сөрөг цэнэгтэй бөөмсийг сөрөг пион болгон авсан. π^+ мезонуудын импульс $p < 750$ МэВ/с бол протон дах хольц нь эерэг пионы нийт олонлогийн $\sim 12\%$ орчим байна гэж тооцоолсон [17]. Цэнэгт пионуудын импульсийн хэмжилтийн харьцангуй тодорхойгүй байдал ($\Delta p/p$) ихэнх хэмжилтийн хувьд $\sim 14 \div 15\%$ -иас хэтрээгүй, 40 см-ээс дээш урт бүхий бөөмийн дундаж импульс $< \Delta p/p > \sim 5\%$ байна. Цэнэгт пионы моментыг бүртгэх, хэмжих дундаж босго нь пропан (C₂H₈) камер дах 2 см орчим урттай тэнцэх 40 МэВ/с орчим байдаг. Тэргүүлэх бөөмийг шинжилгээнээс хассан. Өмнө олон ажлуудад 40ГэВ-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + ^{12}\text{C}$ мөргөлдөөнүүд дэх тэргүүлэх бөөмийг судлаж байлаа. Гэвч бид тэргүүлэх асуудлыг өөр аргаар тодорхойлсон. Туршилтын явцад бид шууд үүссэн бүх цэнэгтэй пионууд болон өдөөгдөж цочирсон барионы резонансын хүчтэй задрал, вектор мезонууд (ρ^0 , ω^0 , f^0 гэх мэт) үүсэх замаар үүссэн бүх пионуудыг бүртгэж, хэмжсэн гэдгийг тэмдэглэх нь зүйтэй. $K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ба $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$ сул задралаас үүссэн зэрэг хоёрдогч үүссэн пионуудыг бүртгэсэн. Бараг бүх бай цөмийн болон сум цөмөөс харилцан үйлчлэлд оролцоогүй нуклонууд $p_n < p_{\text{max}}^F$ моменттэй байдаг ба p_{max}^F нь цөмийн тайван систем дэх Ферми импульсийн хамгийн их хэмжээ утга. Нүүрстөрөгчийн цөмийн Ферми импульс ойролцоогоор 0.22ГэВ/с. Ялангуяа мөргөлдөөнд оролцогч нь заримдаа спектатор протонууд шиг хасагдах тохиолдол ч байдаг. Туршилтын өөр бусад арга зүйн асуудлууд [17-19] ажлуудад хэвлэгдсэн. Туршлагын өгөгдлүүдтэй сайжруулсан UrQMD 3.4 загварын 403240 $\pi^- + p$ болон 68287 $\pi^- + ^{12}\text{C}$ үзэгдлүүдийг ашиглан, харьцуулалт хийлээ.

2.3.1 S параметруудийн аргазүй

Үзэгдэл болгоны бөөмсийн бөөгнөрлүүдийн нягтралыг тодорхойлох хэд хэдэн арга байдаг. Тохиромжтой фазын хувьсагч(ууд) эсвэл (багц) дээр тархах үед ийм кластерууд нь нягтын хурдацтай хэлбэлзэл хэлбэрээр гарч ирдэг. Үр дүнг судлахад ихэвчлэн өчүүхэн статистик шуугианыг нэг буюу хэд хэдэн динамик эффект(үүд)-

тэй хослуулдаг бөгөөд нэгийг нь нөгөөгөөс салгах нь тийм ч амар ажил биш юм. Үүнийг хийх нэг арга бол цагариг, олгойдолт төстэй үзэгдлүүдийг хайхад статистикийн суурь дэвсгэр болгон ашиглаж болох Монте-Карлогийн загварын симуляци юм. Тооцоонд бүх Монте-Карло үзэгдлийн тоог туршилтын үзэгдлийн тоотой адилтган нормчилсан. Бид цагариг төстэй ба олгойдолттой төстэй дэд бүтцүүдийг болон түүний параметруудийг тодорхойлохдоо дараах [20,22] ажлуудад хэрэглэсэн арга барилыг ашиглав. Бөөмсийн бэхлэгдсэн N_d буюу N_{ch} тооноос (буюу үзэгдэл дэх цэнэгт бөөмийн мөрний тооноос) судалгаа эхлэдэг, гэхдээ үзэгдэл болгонд бөөмсийн N_d -tuple бүрд у-тэнхлэгийн дагуу эрэмбэлэн оруулаад, дэд хэсгийг авч үздэг:

- $\Delta y_d = |y_i - y_j|$, бол хэмжээс бөгөөд y_i, y_j дэд бүлэг дэх эхний болон сүүлчийн массын төвийн систем дэх хурдцууд.
- Хурдцын нягт (ρ_c) -ыг гэж тодорхойлно $\rho_c = N_d / \Delta y_d$. Энэ аргын давуу тал нь бүлэг нь нягт эсвэл шингэрүүлсэн эсэхээс үл хамааран, уг арга бүх бүлгүүдэд ижил олонлог (N_d) -д бие биенээс хялбархан харьцуулж болно. Энэ аргын тусламжтайгаар олж авсан дээжийг цэвэр процессоор олсон дээж UrQMD 3.4 загварт суурилсан тооцооллын дээжтэй харьцуулах нь маш энгийн.
- Дундаж хурдац (дэд хэсгийн байршил): $y_m = \sum_{i=1}^{N_d} y_i / N_d$

Тодорхой дэд бүлгийн азимутын бүтцийг одоо параметрийн хувьд параметрчилж болно, гэхдээ дараах хэмжигдэхүүнээр [10]:

$$S_1 = - \sum_{i=1}^{N_d} \ln(|\Delta\phi_i|), \quad S_2 = \sum_{i=1}^{N_d} (\Delta\phi_i)^2 \quad (1a)$$

ба бид энд шинээр сигнал S_3 параметрийг орууллаа:

$$S_3 = \sum_{i=1}^{N_d} (\Delta\phi_i)^3 \quad (1b)$$

энд $\Delta\phi_i$ бол бүлэг дэх бөөмсийг хурдцаар эрэмбэлэн дараалуулж, хоёр бөөмийн (эхний ба хоёр дах хэсгээс эхэлж, сүүлчийн ба эхний хэсгээр дуусдаг) азимутын зөрүү юм. Энд гурав дах параметр S_3 -ийг өсгөсөн. Жишээлбэл, $\Delta\phi_i$ -гийн 2π зөвшөөрөгдсөн хэмжээнд нормчилбол дараах нөхцөл $\sum_{i=1}^{N_d} \ln(\Delta\phi_i) = 0$ биелэгдэнэ. Эдгээр параметрууд нь цагариг төст бүтцийн хувьд S_1, S_2 нь бага утгатай $S_1 \rightarrow N_d \ln(N_d)$, ба $S_2 \rightarrow 1/N_d$ олгойдолт төст бүтцийн хувьд их утгатай ($S_1 \rightarrow \infty$, болон $S_2 \rightarrow 1$). S_1 нь завсар бага мэдрэмтгий, S_2 бол завсар өндөр мэдрэмтгий [22-24]. Бидний нэмсэн S_3 нь бүх завсарыг хамруулсан. Цэвэр стохастик төлөв S_1 ба S_2 хувьд $\Delta\phi$ тархалтыг дараах томъёог ашигладаг:

$$f(\Delta\phi)d(\Delta\phi) = (N_d - 1)(1 - \Delta\phi)^{(N_d-2)}d(\Delta\phi) \quad (2)$$

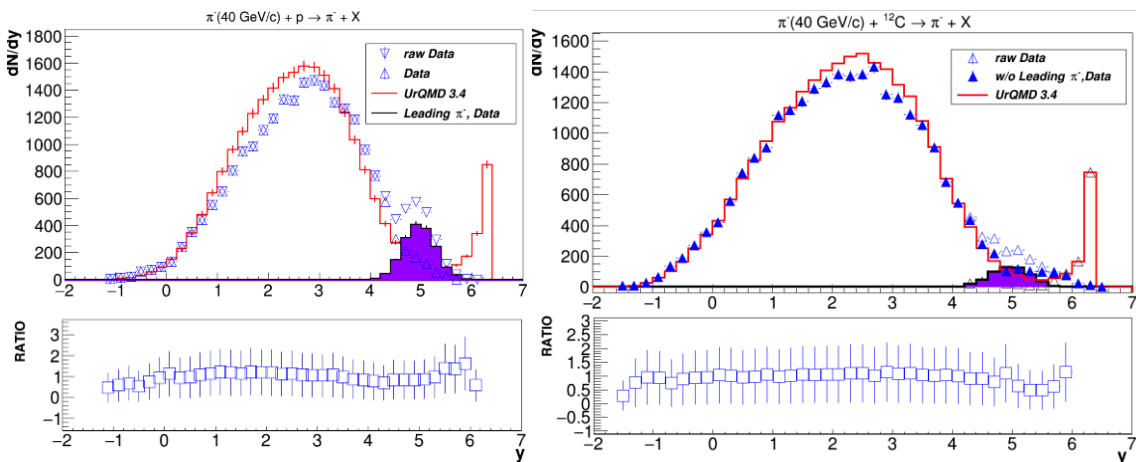
ба S-параметруудийн хүлээсэн хэмжээний дунджийг туршилтын тархалтуудаас

тодорхойлсон. Хэрвээ бөөмс ямар ч хамааралгүйгээр бие даан үүсэх үед ингэж томъёолдог. S_1 ба S_2 хоёр параметрийн утгыг цэвэр стохастик төлөвийг тооцохдоо бөөмс нь ямар ч хамааралгүйгээр бие даан цацаргадаг.

2.3.3 Үр дүн ба боловсруулалтын хэсэг

Тэргүүлэх π^- мезонуудыг тодорхойлсон нь

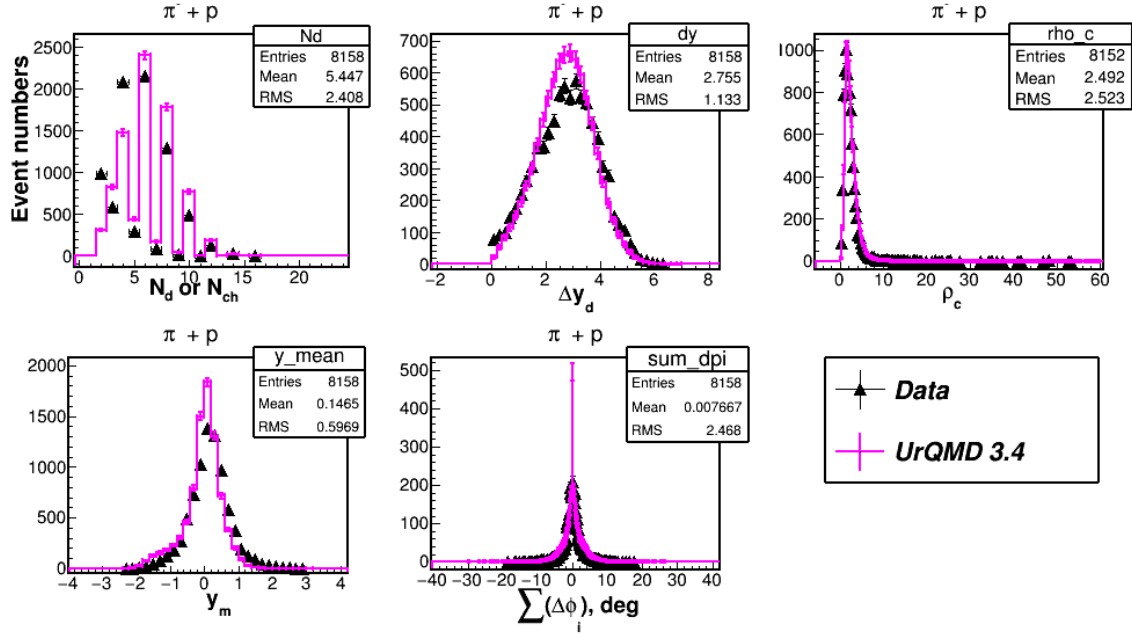
Бид судалгаандаа тэргүүлэх сөрөг пионыг хассан. Үүнийг онолын загвараас шийдвэрлэж болно. Зураг 2-ын у ~ 5 үед байгаа пик бол тэргүүлэх π^- -мезон, гэтэл туршлагын хувьд тэргүүлэх π^- -мезонуудыг хайж олоод, хүрэн бор гистограммаар тэмдэглэв.



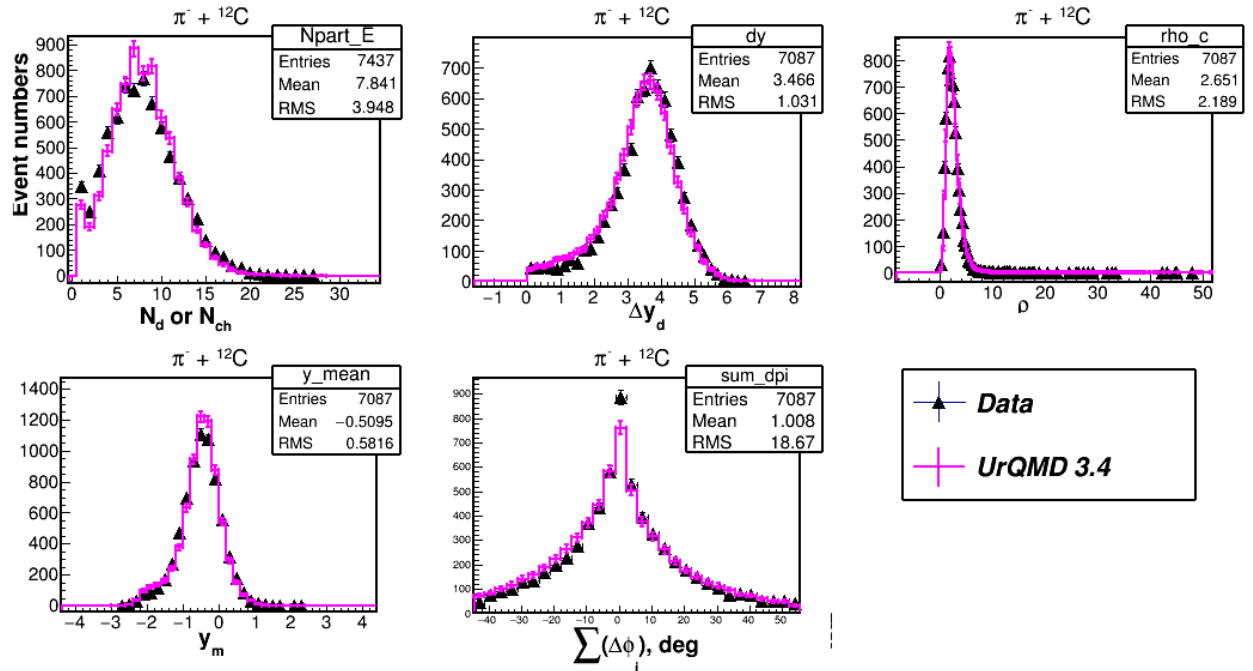
Зураг 2. $\pi^- + p$ ба $\pi^- + 12C$ харилцан үйлчлүүдэд үүссэн π^- -мезоны тархалтууд. Дээшээ харсан гурвалжингууд тэргүүлэх π^- -мезоныг хассан тархалтууд бол доошоо харсан гурвалжингууд тэргүүлэх π^- -мезоныг хасаагүй тархалтууд. Улаан гистограмм бол UrQMD 3.4 загварын тэргүүлэх π^- -мезоныг хасаагүй тархалтууд.

Энэ хоёр зургуудын доод талын гистораммууд онол-туршлагын харьцаанууд. Энэ ажлын дээр дурьдсан таван гол параметруудийг судлаж үзэхэд, онол ба туршлагын хооронд ялгаа бага буюу тохирч байна.

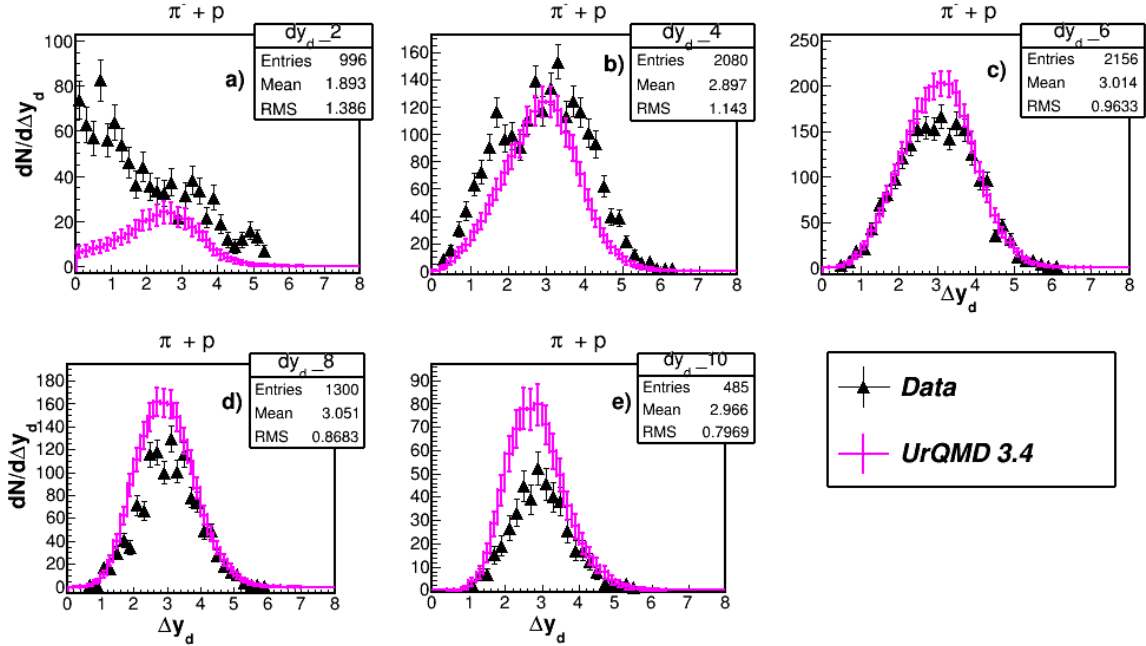
Бидний үзүүлж буй зураг 3а,б тархалтуудын заримыг жишээлбэл Δy_d ба u_m хэмжигдэхүүнүүд олонлог N_d -ээс хэрхэн хамаарахыг дараах зургуудад харж болно.



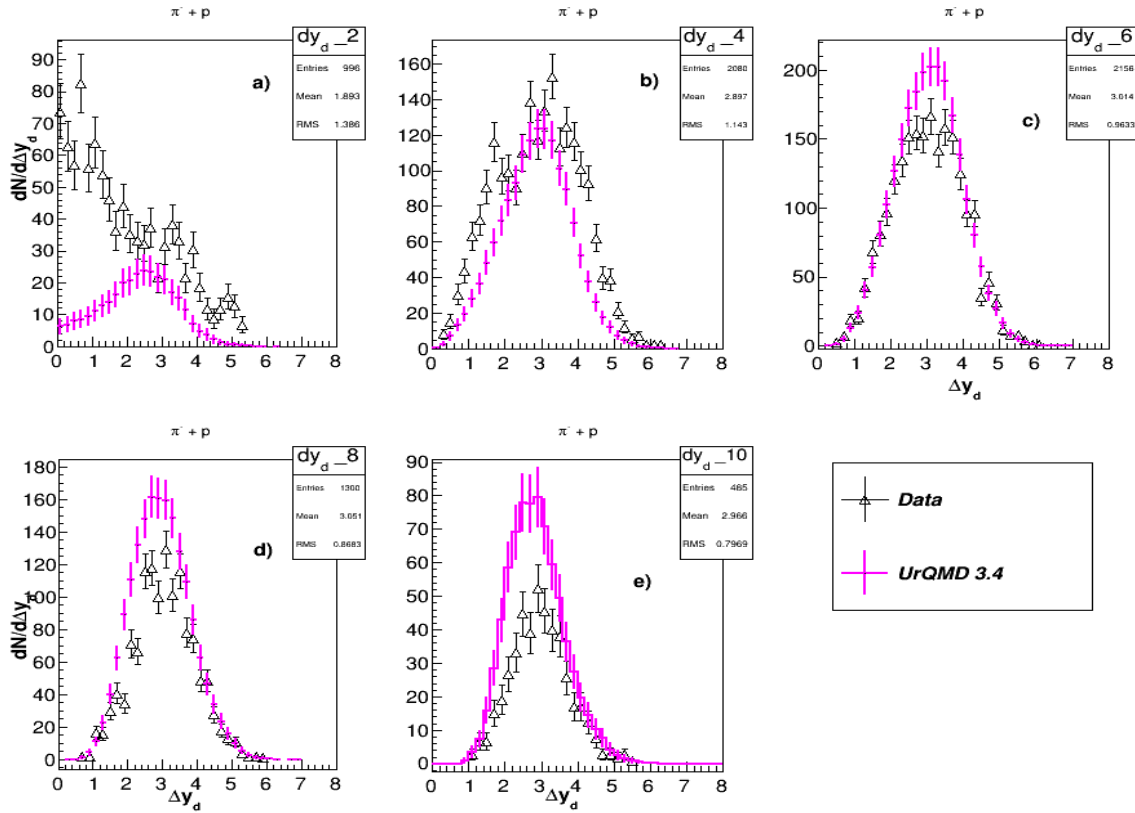
Зураг 3а. $\pi^- + p$ харилцан үйлчлэлийн хувьд олонлог (N_d ба N_{ch}), хурдцын хэмжээ (Δy_d), мөн хурдцын нягт (ρ_c), хурдцын дундаж утга (y_m) ба азимутал өнцгүүдийн хосын нийлбэр тархалтууд.



Зураг 3б. $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ харилцан үйлчлэлийн хувьд олонлог (N_d ба N_{ch}), хурдцын хэмжээ (Δy_d), мөн хурдцын нягт (ρ_c), хурдцын дундаж утга (y_m) ба азимутал өнцгүүдийн хосын нийлбэр тархалтууд.

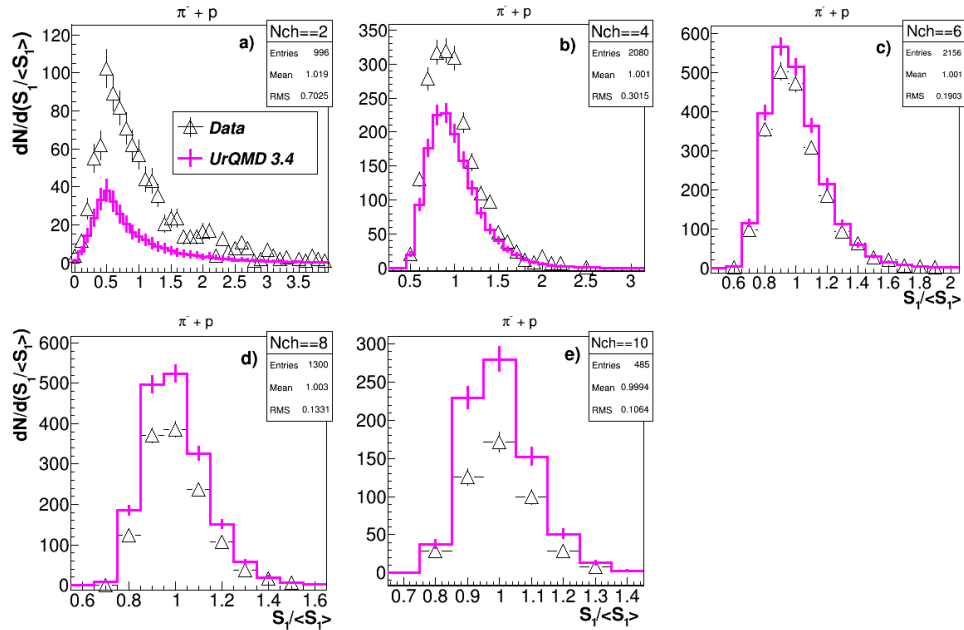


Зураг 4. $\pi^- + p$ харилцан үйлчлэл дэх онол-туршилтын тархалтууд. Энд дараах олонлогуудтой (a) $N_d = 2$, (b) $N_d = 4$, (c) $N_d = 6$, (d) $N_d = 8$ ба (e) $N_d = 10$

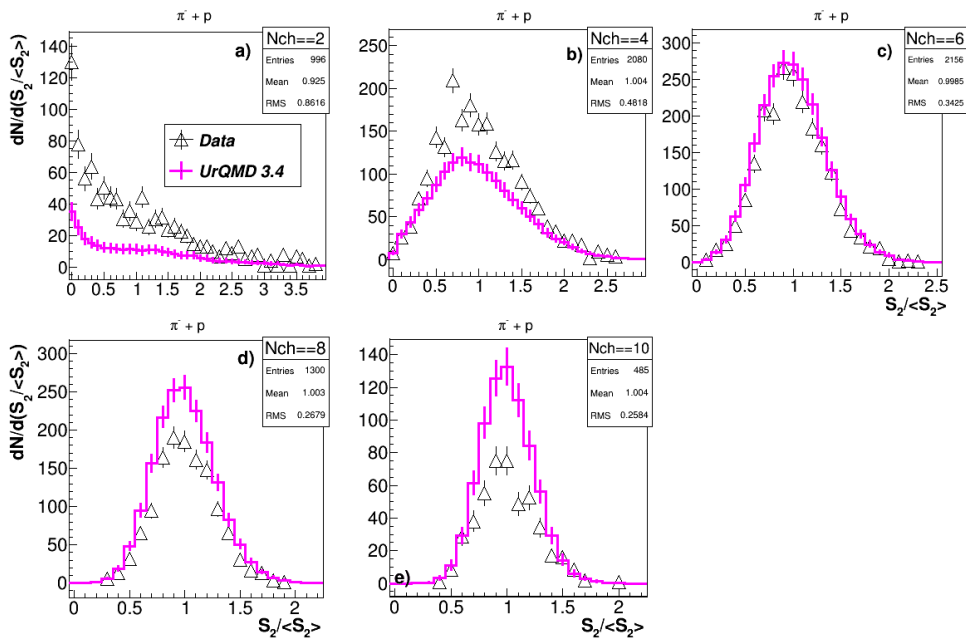


Зураг 5. u_m -ЫН онол-туршлагын тархалтууд, гэхдээ дараах олонлогийн нөхцлүүдэд (a) $N_d = 2$, (b) $N_d = 4$, (c) $N_d = 6$, (d) $N_d = 8$ ба (e) $N_d = 10$.

Ялангуяа бага олонлогийн үед онол туршлагын их зэрөө ажиглагдаж байгааг бид ажигласан. Бид энэ ажилд эхлээд $S_1 / \langle S_1 \rangle$ болон $S_2 / \langle S_2 \rangle$ тархалтуудыг олонлог N_d -ээс хэрхэн хамаарч буйг ажиглахад, $N_d = 2$ ба 3 үед цацаргалтын шинж давамгайлж, харин их олонлогуудын үед [5, 6-9] ажлуудын дүгнэлттэй тохирч байна.



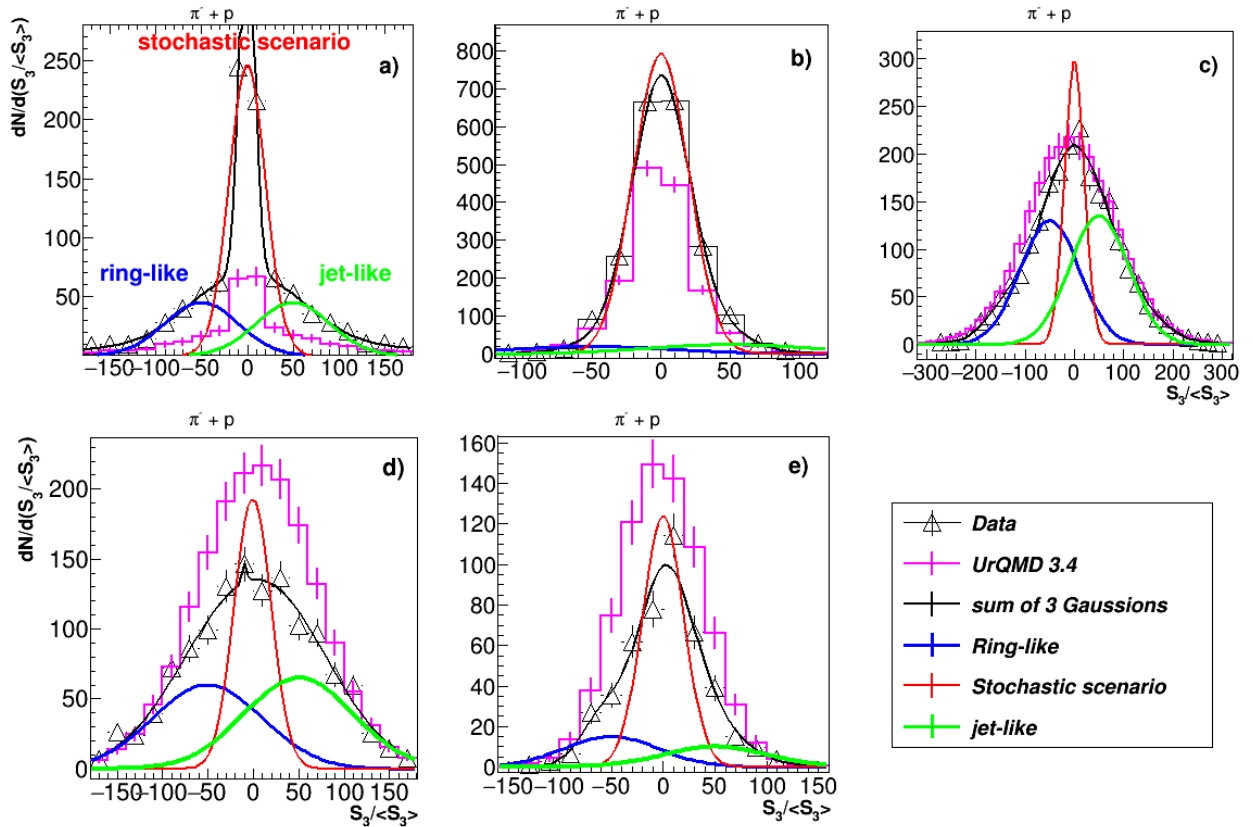
Зураг ба. $\pi^- + p$ харилцан үйлчлэлийн тодорхой олонлогууд (a) $N_d = 2$, (b) $N_d = 4$, (c) $N_d = 6$, (d) $N_d = 8$ ба (e) $N_d = 10$ -д харгалзсан $S_1 / \langle S_1 \rangle$ -ийн онол-туршлагын тархалтууд.



Зураг бб. $\pi^- + p$ харилцан үйлчлэлийн тодорхой олонлогууд (a) $N_d = 2$, (b) $N_d = 4$,

(c) $N_d = 6$, (d) $N_d = 8$ ба (e) $N_d = 10$ -д харгалзсан $S_2 / \langle S_2 \rangle$ -ийн онол-туршлагын тархалтууд.

Одоо $S_3 / \langle S_3 \rangle$ тархалтыг тусгайлан цацаргалт, стохастик төлөв ба олгойдох шинжүүд хаана байгааг 3 Гауссын функцүүдээр дөхүүлэлтийг хийсэн үед хэрхэн ажиглагдахыг харъя. Дараах зурагуудад N_d -ийн янз бүрийн утганд $S_3 / \langle S_3 \rangle$ -ийн тархалт, мөн UrQMD 3.4 симуляцийн тархалтыг хавсарган үзүүлээ.

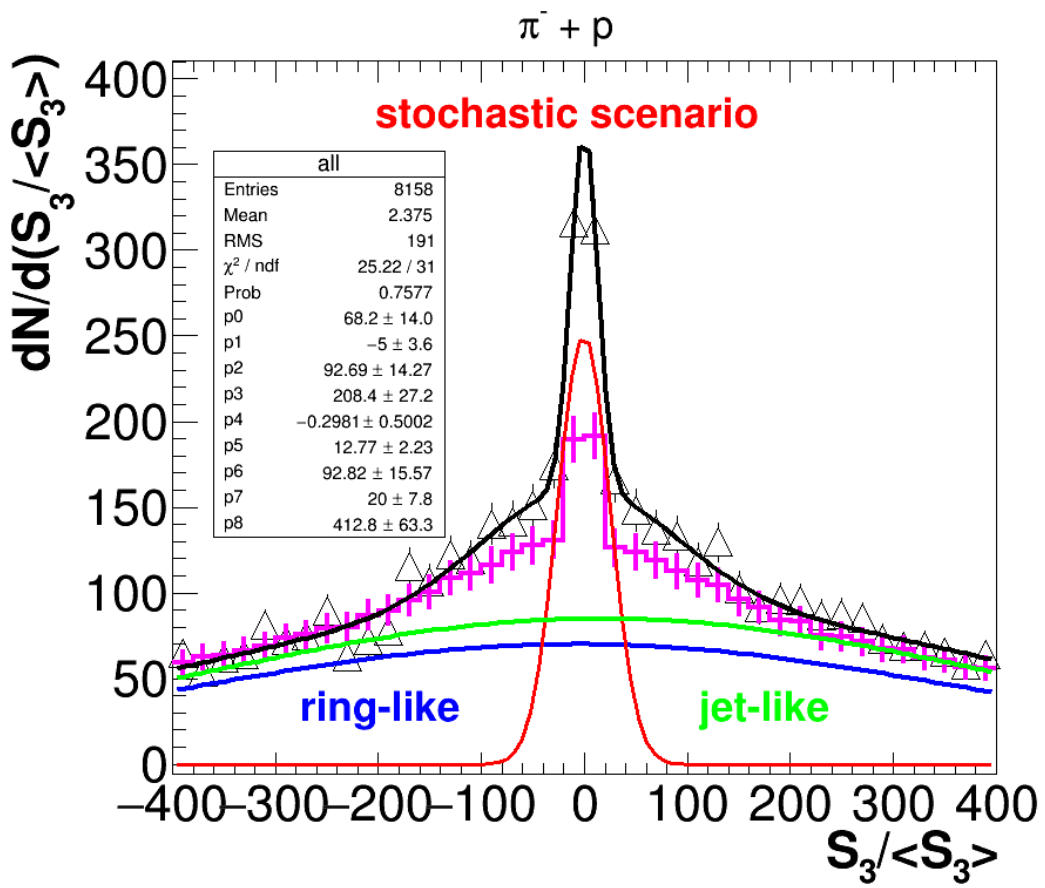


Зураг 7. $\pi^+ p$ мөргөлдөөний хувьд $S_3 / \langle S_3 \rangle$ параметрийн онол-туршилтын тархалтууд. Энд (a) $N_d = 2$, (b) $N_d = 4$, (c) $N_d = 6$, (d) $N_d = 8$ ба (e) $N_d = 10$ -д харгалзсан тархалтууд.

Хүснэгт 1. $\pi^+ p$ харилцан үйлчлэлийн цагариг төстэй, холимог ба олгойдолттой төстэй 3 бүтцүүдийн хувь хэмжээ %.

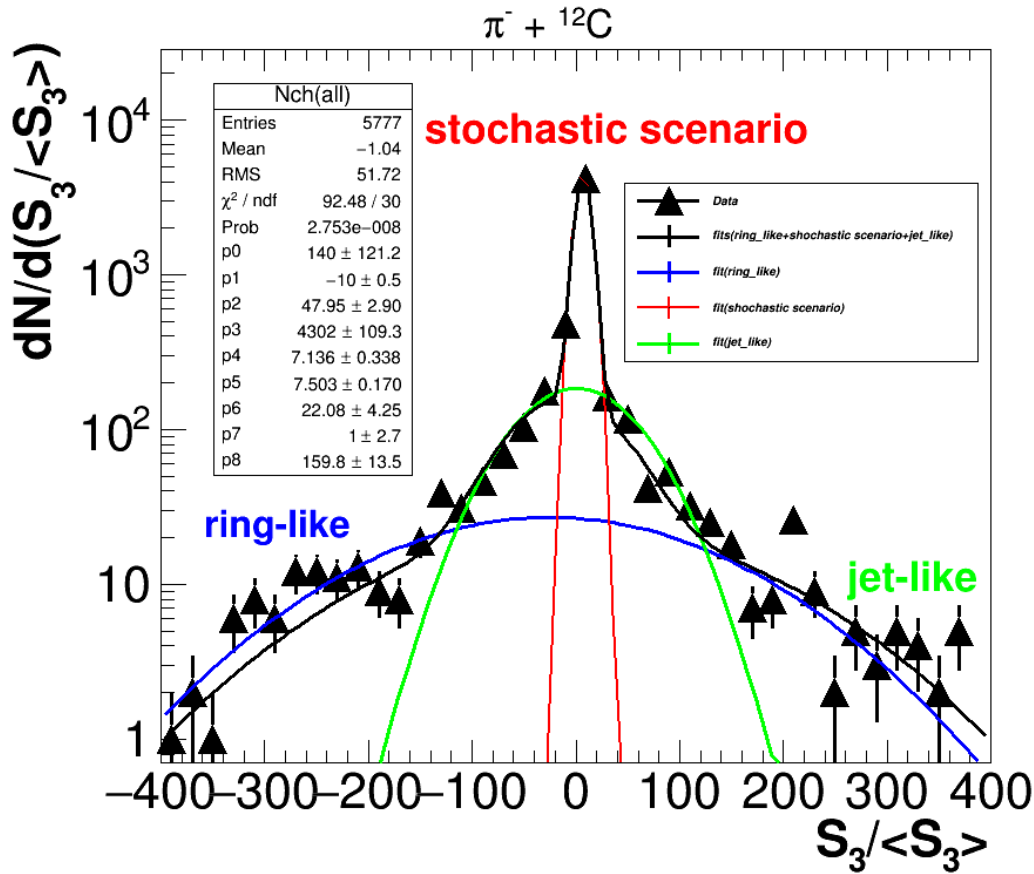
N_d	Цагариг төст бүтэц	Стохастис төлөв	Олгойдолт төст бүтэц
2	23.5	53.6	22.6
4	3.8	93.8	3.9

6	29.8	48.3	21.8
8	10.3	82.9	6.8
10	25.7	46.8	27.4
All	38.9	20.4	40.9



Зураг 8. $\pi^- + p$ харилцан үйлчлэлийн туршилтын $S_3 / \langle S_3 \rangle$ -ийг бүх Nd олонлогийн нөхцөл дэх тархалт (дээшээ харсан гурвалжин), мөн UrQMD 3.4 симуляц (ягаан гистограмм) -ийг хавсаргав. Хөх гистограмм – цагариг, ногоон бол олгойдолт, улаан-холимог ба 3 төрлийн үзэгдлийг хар гистограммаар нэгтгэсэн дөхүүлэлт.

Зураг 8 ба 9-аас харахад цагариг, замбараагүй буюу олон процесс холилдсон үе ба олгойдох үзэгдлүүдийг амархан ялгаж болох нь. Харин эдгээр 3 ялгагдсан үед цаашид нарийвчилсан анализ хийх хэрэгтэй.



Зураг 9. $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ харилцан үйлчлэлийн туршилтын $S_3 / \langle S_3 \rangle$ -ийг бүх Nd олонлогийн нөхцөл дэх тархалт

2.4 Загварчлалын GEANT4 программаар пропант (C3H8) хөөст камерт үүссэн бөөмсийн тоог өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох

ОХУ-ын Дубна хот дах Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институтийн Их энергийн лабораторийн Синхрофазотрон хурдасгуурт өндөр энергитэй цөмөөр 2 метрийн пропант (C3H8) хөөст камер болон цөмийн фотоэмульсийг шарсан байдаг. Туршилтын харалт, хэмжилт ба боловсруулалтын арга зүйг [1, 2] ажлуудад тодорхойлсон. Онолын тооцооны аргаар энэхүү хөөст камер дах физик үзэгдлийг бид өмнөх ажилдаа судалсан [3, 4]. Энэ ажилд нэгж урвалын дүнд үүссэн бөөмсийн тоо болон энергийн түгэлтийг загварчлалын Geant4 программаар өндөр нарийвчлалтай тодорхойлохыг зорьсон болно.

2.4.1 Материал ба судалгааны арга зүй

10 ГэВ энергитэй протоны үйлчлэлээр 2 метрийн пропант (C3H8) хөөст камерын дотор бүртгэгдэх физик үзэгдлүүд (тохиолдлууд)-ийг Geant4 [5, 6] программаар загварчилсан. Энэхүү загварчилалд ашигласан физик загвар харимхай болон харимхай бус үзэгдлийн энергийн муж зэргийг Хүснэгт 1-д оруулав.

Хүснэгт 1. Энэ ажилд 10 ГэВ энергитэй протоны үйлчлэлээр 2 метрийн пропант (C3H8) хөөс камер дотор үүсэх физик тохиолдлуудыг загварчилахад ашигласан Geant4 [5, 6] програмын физик загварууд.

Физик процессын нэр	Загварын нэр	Энергийн муж	Хөндлөн огтлол
Харимхай сарнил	hElasticCHIPS	0-10 ГэВ	BarashenkovGlauberGribov
Харимхай бус сарнил	FTFP	3 -10 ГэВ	G4ParticleInelasticXS
	BertiniCascade	1 - 6 ГэВ	
	Binary Cascade	0 - 1.5 ГэВ	

2.4.2 Судалгааны үр дүн

Хүснэгт 2 -д C3H8 хөөст камер дотор 10 ГэВ-ийн харимхай болон харимхай бус p(10 ГэВ)+C болон p(10 ГэВ)+H үйлчлэлээр үүссэн цэнэгт хоёрдогч бөөмсийн тоон үр дүнг нийтлэв. Энэхүү тооцоонд алдааг 1% болгохын тулд 4 сая (4×10^6) тохиолдлыг загварчилж, дундаж тоон утгыг өмнөх ажлын [5] туршилтын болон тооцооны дүнгүүдтэй харьцуулсан. Тооцооны үр дүнгээс харахад хоёрдогч протон харьцангуй олон бүртгэгдэж, харин π мезонуудын дундаж утга туршилтын болон өмнөх тооцооны дүнтэй ойролцоо байна.

Загварчлалын үр дүнд p(10ГэВ)+C нэгж урвалаас протонууд хамгийн олон тоотой үүсэж байгааг тогтоов. Харин p(10ГэВ)+H урвалын дүнд π^\pm мезонууд хамгийн олон үүсэж байгааг харууллаа. Эдгээр урвалын явцад үүссэн π^\pm (π^0) мезонууд болон протоны энергийн түгэлтүүдийг Зураг 1 болон Зураг 2-д нэмж үзүүлсэн ба онолын загварчлал, өмнө ажлын туршлагын үр дүнгүүдийг чанарын хувьд тайлбарлаж байна.

Хүснэгт 2. Өндөр хурдтай цэнэгт бөөмсийн 2 метрийн пропант (C3H8) хөөст камер дотор бүртгэгдсэн физик харилцан үйлчлэлээс үүссэн хоёрдогч бөөмсийн дундаж тоо хэмжээ.

Хоёрдогч бөөмс	p(10 ГэВ)+C		p(10 ГэВ)+H
	Энэ ажилд	Өмнөх ажилд [5]	
протон	3.497	$2.63 \pm 0.01^*$	0.0005263
π^\pm мезонууд	2.661	$2.51 \pm 0.01^*$	0.0005825
π^0 мезон	1.359	1.23 **	0.000311
K^\pm мезонууд	0.06803	-	2.35e-05
нейтрон	2.987	1.99 **	0.0003867
Дейтронүүд + тритонууд	0.9644	-	2.5e-07

He3+альфа	0.6693	-	0
Бусад ионууд	0.3877	-	0

* туршилтын дүн ** UrQMD 1.3 загварын тооцооны дүн

III. ДЭЭД БОЛОН ЕРӨНХИЙ БОЛОВСРОЛЫН СТАТИСТИК МЭДЭЭЛЭЛД КЛАСТЕРЫН АНАЛИЗИЙГ ХЭРЭГЛЭН МЭДЛЭГ ЧАДВАР-ХАНДЛАГЫН ХАМААРЛЫН ДҮР ЗУРГИЙГ ГАРГАХ

Суралцагчдын мэдлэг, чадварыг үнэлэхэд ихэвчлэн тестийг ашигладаг. Уг өгүүлэлд Сүхбаатар аймгийн II сургуулийн 12-р ангийн суралцагчдын улсын шалгалтын үр дүнгийн өгөгдөлд классик тестийн онол, кластер анализ зэрэг аргыг хэрэглэн анализ хийсэн үр дүнг толилуулж байна. Ангийн суралцагчдын сурах хандлагын хэв маягийг зөвхөн нэг хичээлийн эцсийн дүнгээр хэмжих нь ач холбогдол багатай. Ихэнх судлаачид суралцагчдыг сурах хандлагаар ангилахдаа лайкертын хэмжээс бүхий өгүүлбэрүүд болон асуултуудыг агуулсан судалгааны асуулгаар цуглуулсан өгөгдөлд анализ хийдэг. Харин, бид бүхэн зөвхөн суралцагчдын мэдлэг, чадварыг үнэлэх академик гүйцэтгэлийн үр дүнгээр суралцагчдыг сурах хандлагаар ангилсан нь онцлогтой. Шинжлэх ухааны буюу академик боловсролтой холбоотой сурах хандлагыг олон хичээлийн мэдлэг, чадварын цогц байдлаар авч үзэх нь зүйтэй гэдгийг баталж, кластерчлалын хоёр алхамт аргад тулгуурлан суралцагчдыг сурах хандлагаар 5 бүлэгт ангиллаа.

3.1 Кластер анализ ашиглан суралцагчдыг сурах хандлагаар ангилсан нь

Ерөнхий боловсролын сургуулийн сурагч, Их дээд сургуулийн оюутнуудын мэдлэг, чадварыг үнэлэхдээ тестийг ашигладаг. Олон сонголтод, харгалзуулах, нөхөх, бичиж хариулах, тоогоор хариулах зэрэг тестийн төрлүүдийг түлхүү хэрэглэж байна. Эдгээрээс дийлэнх хувийг олон сонголтод тест эзэлнэ. Тестийн өгөгдөлд анализ хийх нь багш, боловсрол судлаачдын хувьд чухал судалгааны сэдэв болсоор байна (Himelfarb, 2019, p.151). Боловсрол судлаачид боловсролын болон сэтгэл судлалын судалгааны хэд хэдэн тестийн арга техникүүдийг шалгалтын тестийн өгөгдөлд анализ хийхэд хослуулан ашигладаг. Үүнтэй холбоотой боловсрол судлал, сэтгэл судлал болон бусад шинжлэх ухааны олон судалгааны ажлууд, бүтээлүүд сэтгүүлүүдэд хэвлэгдсээр байна. Тестийн өгөгдөлд анализ хийхэд классик тестийн онол, фактор анализ, кластер анализ, даалгаврын хариултын онол, модель анализ гэсэн нэлээд хэдэн аргыг ашигладаг (Ding & Beichner, 2009, p.17). Тэдгээрийг хүснэгт 1-д нэгтгэн үзүүлээ.

Table 1

Five Approaches to Analyzing Multiple-Choice Test Data

	Objectives	Implement
Classical test theory	Evaluate item or test reliability and discriminatory power	Perform item analysis and test analysis

Factor analysis	Principal component analysis	Reduce the number of variables	Solve eigenvalue equations for correlation matrix
	Common factor analysis	Explore underlying factors	Solve eigenvalue equations for adjusted correlation matrix
Cluster analysis		Classify subjects into groups	Calculate Euclidian distances and merge/divide subjects
Item response theory		Estimate item characteristics and subjects' latent abilities	Use logistic functions to formulate data
Model analysis		Represent probabilities of using different models	Calculate density matrix and solve eigenvalue equations

Энэхүү өгүүллийн гол зорилго бол суралцагчдын сурах хандлагыг тестээр үнэлсэн мэдлэг, чадварт суурилан баримжаалан, ангилах билээ. Тийм учраас хүснэгт 1-д дэлгэн харуулсан олон онол, аргуудаас классик тестийн онол, кластер анализ хоёрыг сонгон авсан. Хандлагын үнэлгээний бүрдүүлбэрт мэдлэг-ойлголт, сэтгэл хөдлөл, зан үйл гэсэн 3 зүйл багтдаг (Мягмар, Тамир, Бурмаа, 2019, х.6). Тус өгүүлэлд мэдлэг-ойлголттой хамааралтай суралцагчдын сурах хандлагын тухай авч үзлээ.

3.1.1 Судалгааны арга зүй

Бид 2019 онд Сүхбаатар аймгийн II сургуулийн 9 болон 12-р ангийн суралцагчдын Англи хэл, Математик, Монгол хэлний улсын шалгалтын үр дүнгийн өгөгдлийг ашигласан. 9-р ангийн 44, 12-р ангийн 24 нийт 68 суралцагчийн өгөгдөлд даалгаврын анализ ба тестийн анализыг хийлээ (Хүснэгт 2). 9-р ангийн Монгол хэлний шалгалтын уншаад бөглөх 7 тестийг мэдлэг, бичиж хариулах 9 даалгаврыг чадвар, Англи хэлний сонгох 24 тестийг мэдлэг, хийж гүйцэтгэх 9 даалгаврыг чадвар, Математикийн сонгох 26 тестийг мэдлэг, бодолт хийх 4 даалгаврыг чадвар гэж авч үзсэн. Мөн 12-р ангийн Монгол хэлний шалгалтын уншаад бөглөх 7 тестийг мэдлэг, бичиж хариулах 9 даалгаврыг чадвар, Англи хэлний сонгох 34 тестийг мэдлэг, хийж гүйцэтгэх 11 даалгаврыг чадвар, Математикийн сонгох 28 тестийг мэдлэг, бодолт хийх 4 даалгаврыг чадвар гэж авч үзсэн.

3.1.2 Классик тестийн онол

Классик тестийн онол нь орчин үеийн хэмжилтийн онолын үндэслэлийн чухал хэсэг юм (Kline, 2005, p.91). Шалгалтын нийт оноо нь шалгалтын дундаж оноо ба санамсаргүй алдаа гэсэн хоёр бүрэлдэхүүн хэсгийн нийлбэр байдаг. Классик тестийн онол бол тестийн үнэлгээний хувьд хэд хэдэн статистик анализ хийх боломжийг олгодог. Үүнд, даалгаврын анализ (item analysis) ба тестийн анализ хоёр багтана (Doran, 1980, p.93). Эдгээр анализын зорилго нь ямар нэгэн шалгалтын тестийн

найдвартай байдал ба дискриминантыг шалгах юм. Тестийн найдвартай байдлын хувьд, тестийг хоёр удаа (өөр өөр цагт) өгөхөд ижил үр дүн өгөх буюу шалгуулагчийн гүйцэтгэл тогтвортой байх, шалгалтын нөхцөл байдал адил байгааг авч үздэг.

Даалгаврын анализ нь дараах 3-н зүйлийг хэмждэг:

- Даалгаврын хүндрэлийн түвшин (P)
- Дискриминант (D),
- Хос түүврийн онооны коэффициент (r_{pbi}).

Даалгаврын хүндрэлийн түвшинг зөв хариулсан хариултуудын пропорцоор тодорхойлдог:

$$P = \frac{N_1}{N}.$$

Энд, N_1 зөв хариултуудын тоо, N бол шалгалт өгсөн нийт суралцагчдын тоо. Онолын хувьд, хүндрэлийн түвшин нь 0.5 орчим байна. Мэдээж тухайн даалгавар хэт хүнд эсвэл хэт хялбар байх нь тохиромжгүй. Практикт хүндрэлийн түвшний утга 0.3-аас 0.9 байвал хүлээн зөвшөөрөхүйц байна гэж үздэг (Dogan, 1980, p.93). Хэрэв энэхүү хязгаараас дээш эсвэл доош утга гарч ирсэн тохиолдолд тухайн даалгавар хэт хүнд эсвэл хялбар болсон гэсэн үг юм. Тиймээс уг даалгаврыг хялбарчлах эсвэл хүндрүүлэх шаардлагатай. Дискриминант нь өндөр оноо авсан суралцагчид ба бага оноо авсан суралцагчдын ялгааны хүчийг хэмждэг. Өөрөөр хэлбэл, ямар нэгэн даалгаврын дээд квантил ба дээд квантилд байрлах суралцагчдын зөв хариултуудын эзлэх хувийн зөрүү (Oosterhof, 2001, p.176).

$$D = \frac{(N_H - N_L)}{N/4}.$$

Энд, N_H ба N_L нь дээд ба доод квантил дах зөв хариултуудын тоонууд, N нь нийт суралцагчдын тоо. Квантилыг дотоод шалгуур “Суралцагчдын авсан оноонууд” эсвэл гадаад шалгуур (суралцагчдын дундаж оноо) аль, алианаар нь тодорхойлж болно. Хэрэв дээд квантил дах зөв хариултуудын тоо (N_H) нь доод квантил дах буруу хариултуудын тоо (N_L)-оос их байвал дискриминант өндөр гарна. Ерөнхийдөө дискриминантын $D \geq 3$ байвал стандартад нийцтэй гэж үзнэ (Dogan, 1980, p. 98). Энэ утгаас өндөр байх тусмаа сайн. Хэрэв уг утгаас бага байвал тухайн даалгаврыг сайн судалж, асуултынхаа өгүүлбэрийг тодорхой, ойлгомжтой болгох хэрэгтэй. Дискриминант нь бага байх тусам суралцагчдын гүйцэтгэлд сөргөөр нөлөөлнө. Өөр нэг боломжит нөхцөл байдал бол дискриминант бага байгаа даалгаврын хүндрэлийн түвшин (маш бага) эсвэл (маш өндөр)-ийн аль нэг нь байх болно. Дээд квантил (сайн оноо авсан) ба доод квантил (муу оноо авсан) дах суралцагчдын гүйцэтгэлийн ялгаа бага бол дискриминант бага байна.

Хос түүврийн онооны коэффициент (point biserial coefficient) нь дан ганц даалгаврын найдвартай байдлын хэмжээ бөгөөд үүнийг тухайн даалгаврын оноо ба тестийн нийт

онооны хоорондох корреляциар тодорхойлдог (Ghiselli, Campbell, & Zedeck, 1981, p.24):

$$r_{pbi} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_0}{\sigma_x} \sqrt{P(1-P)}.$$

Энд, \bar{X}_1 нь ямар нэгэн даалгаварт зөв хариулсан суралцагчдын шалгалтын нийт онооны дундаж, \bar{X}_0 нь тухайн даалгаварт буруу хариулсан суралцагчдын шалгалтын нийт онооны дундаж, σ_x нь нийт онооны стандарт хазайлт, ба P нь уг даалгаврын хүндрэлийн түвшин. Ямар нэгэн даалгаврын найдвартай байдал нь тухайн тестийн бусад даалгавруудад нийцсэн байх хэрэгтэй. Үүнийг тус даалгаврын оноо ба нийт онооны хоорондох өндөр корреляциар ажигладаг. Хос түүврийн онооны коэффициент нь $r_{pbi} \geq 0.2$ байвал нийцтэй гэж үздэг (Kline, 1986, p.143). Мөн адил, өндөр утгатай байвал илүү сайн. Хэрэв тухайн даалгаврын коэффициент бага байгаа нь ажиглагдвал, уг даалгавар бусад даалгавруудтай төстэй агуулгатай биш байгааг илтгэнэ. Тиймээс тухайн даалгаврыг бусад даалгавруудтай харьцуулан сайжруулалт хийх нь чухал.

Тестийн анализ: Тестийн анализыг гурван хэмжигдэхүүнээр тодорхойлж болно. Кудер-Ричардсоны найдвартай байдлын индекс (r_{test}), Фергусоны дельта (δ) ба Кронба альфа (α). Эдгээр хэмжигдэхүүнүүд даалгаврууд тус тусад нь үнэлэхээс илүүтэй тестийг бүхэлд нь үнэлдэг. Кудер-Ричардсоны найдвартай байдлын индекс нь ямар нэгэн тестийн дотоод зохицлыг хэмждэг. Өөрөөр хэлбэл, ямар нэгэн тестийн даалгавруудыг ижил агуулгын хүрээнд боловсруулсан эсэхийг үнэлнэ. Даалгавруудын хоорондох корреляци нь өндөр байвал Кудер-Ричардсоны найдвартай байдлын индекс их байна. Энэ нь тухайн тест бүхэлдээ өндөр найдвартай байгааг илтгэнэ. Олон сонголтод тестийн хувьд даалгаврын буруу эсвэл зөв хариултын тоогоор найдвартай байдлын индексийг тооцоолдог:

$$r_{test} = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum P_i(1-P_i)}{\sigma_x^2} \right).$$

Энэ томъёог Кудер-Ричардсоны алдарт өгүүлэл дэх тэгшитгэлийн дугаар KR-20-оор нэрлэж, тэмдэглэдэг (Kuder & Richardson, 1937, p.151). Энд, K нь тухайн тестийн даалгавруудын тоо, P_i нь i -р даалгаврын хүндрэлийн түвшин, ба σ_x нь нийт онооны стандарт хазайлт. r_{test} -ийн утга 0.8-аас их байвал уг тестийн даалгаврууд найдвартай гэж үзнэ. Хэрвээ тестийн найдвартай байдал нь бага байвал, нэгдүгээрт бага дискриминант ба бага хос түүврийн онооны коэффициенттой даалгавруудыг авч үзэх хэрэгтэй. Учир нь, эдгээр даалгаврууд нь шалгалтын тестийн найдвартай байдалд сөрөг нөлөө үзүүлнэ. Фергусоны дельта (δ) тестийг бүхлээр нь авч үзэж, дискриминантын зэргийг хэмждэг. Тодруулбал, уг хэмжигдэхүүн суралцагчдын нийт оноо нь боломжит мужид хэрхэн өргөн тархсаныг судалдаг. Ерөнхийдөө, онооны түгэлт илүү өргөн тархсан бол тухайн тест сайн буюу ялгаатай түвшнүүдтэй суралцагчдыг сайн ялгаж чадна. Фергусоны дельтаг дараах томъёогоор тооцоолно (Kline, 1986, p. 143):

$$\delta = \frac{N^2 - \sum f_i^2}{N^2 - N^2 / (K+1)}$$

Энд, N тухайн тестийг өгсөн суралцагчдын нийт тоо, K тестийн даалгаврын тоо, ба f_i нийт i -оноо авсан суралцагчдын тоо. Ерөнхийдөө, хэрэв Фергусоны делта 0.90-ээс их байвал суралцагчдын ялгааг сайн тодорхойлж байна гэж үздэг (Kline, 1986, p. 143). Тест болон судалгаа асуулгын найдвартай байдлыг шалгадаг дэлгэрсэн аргуудын нэг нь Кронба альфа юм.

$$\alpha = \frac{N^2 \bar{cov}}{\sum s_i^2 + \sum cov_i}$$

Энд, N даалгавруудын тоо, s_i^2 тухайн даалгаврын дисперси, cov_i авч үзэж буй даалгавар ба бусад даалгавруудын хоорондох коварианс. Ковариансын нийлбэрийг олохдоо матриц байгуулаад диагоналиас доор байрлах элементүүдийг нэмнэ. Альфа утга 0.5-аас их байвал тохиромжтой гэж авч үздэг (Field, 2009, p.58).

Кластер анализ: 1971 онд Кормак, 1999 онд Гордон нар “кластер гэдэг нь дотоод уялдаа холбоо (нэгэн төрөл), гадаад онцгойрол (хуваагдал)” гэж нэр томъёоных нь хувьд тодорхойлжээ (Cormack, 1971, p.321), (Gordon, 1999, p.249). Английн тоон арга бол кластер анализ юм. Кластер анализыг аливаа зүйлийг өвөрмөц шинж чанаруудаар нь ялгаатай бүлгүүд рүү ангилан ялгахад ашигладаг (Everitt, Leese, & Stahl, 2011, p.8). Кластер анализ нь Физик, Биологи, Ургамал судлал, Анагаах ухаан, Сэтгэл судлал, Газар зүй, Маркетинг, Дүрс боловсруулалт, Археологи гэх мэт шинжлэх ухааны салбаруудын ерөнхий асуудал руу чиглэх хандлагатай. Кластерчлалын олон арга, алгоритмууд байх бөгөөд тэдгээрээс SPSS программын хоёр алхамт кластерчлалын аргыг ашигласан. Уг арга нь үргэлжилсэн болон категорилсан хувьсагчуудыг агуулсан нөхцөлд, хөршүүдийн хоорондох зайг хэмжих загварт суурилдаг. Ихэнх кластерчлалын аргууд маш их хэмжээний түүвэр өгөгдөлд тохиромжтой байдаг бол энэхүү арга бага хэмжээний түүвэр өгөгдөлд хэрэглэж болдгоороо давуу талтай.

3.1.2 Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Даалгавар болон тестийн анализын үр дүн

Судалгааны үр дүнд Англи хэл, Математикийн 9, 12-р ангийн улсын шалгалтын тестүүд бүхэлдээ найдвартай байдлын индексээрээ тохиромжит утгаас их буюу суралцагчдын мэдлэг, чадварыг үнэлэхэд тохиромжтой байна (Table 2).

Table 2. Difficulty level, reliability

		English		Mathematics	
		9th grade	12th grade	9th grade	12th grade

Test statistics	Desired values	Calculated values		Calculated values	
Difficulty level index	[0.30, 0.90]	0.76*	0.77*	0.68*	0.83*
Discrimination index	≥ 0.30	0.53*	0.55*	0.56*	0.41*
The point biserial coefficient	≥ 0.20	0.52*	0.53*	0.53*	0.45*
Kuder-Richardson reliability index (KR-20)	≥ 0.70	0.97	0.94	0.89	0.82
Reliability index (Cronbach's α)	≥ 0.5	0.88	0.93	0.89	0.81
Ferguson's delta	≥ 0.90	1.02	0.99	1.01	1.01

*The indicated by average values.

Кластер анализын үр дүн

Хамгийн эхэнд хичээл тус бүрээр буюу Монгол хэл, Математик, Англи хэлний хичээлийн шалгалтын тестийн хувиар суралцагчдын сурах хандлагыг баримжаалсан. Харин дараа нь эдгээр хичээлүүдийн шалгалтын дундаж хувийг тооцоолоод мөн суралцагчдын сурах хандлагыг 5 бүлэг рүү ангилсан. Хоёр алхамт кластерчлалын алгоритмаар ангилсан үр дүнгүүдийг нэгтгэн (table-3)-д дэлгэн харууллаа.

Table 3. Cluster Analysis Results

	Groups	%	Average	Mongolian	Mathematics	English
1	Very good	29.4				
2	Good	60.3				
3	Acceptable	1.5				
4	Poor	5.9				
5	Very poor	2.9				

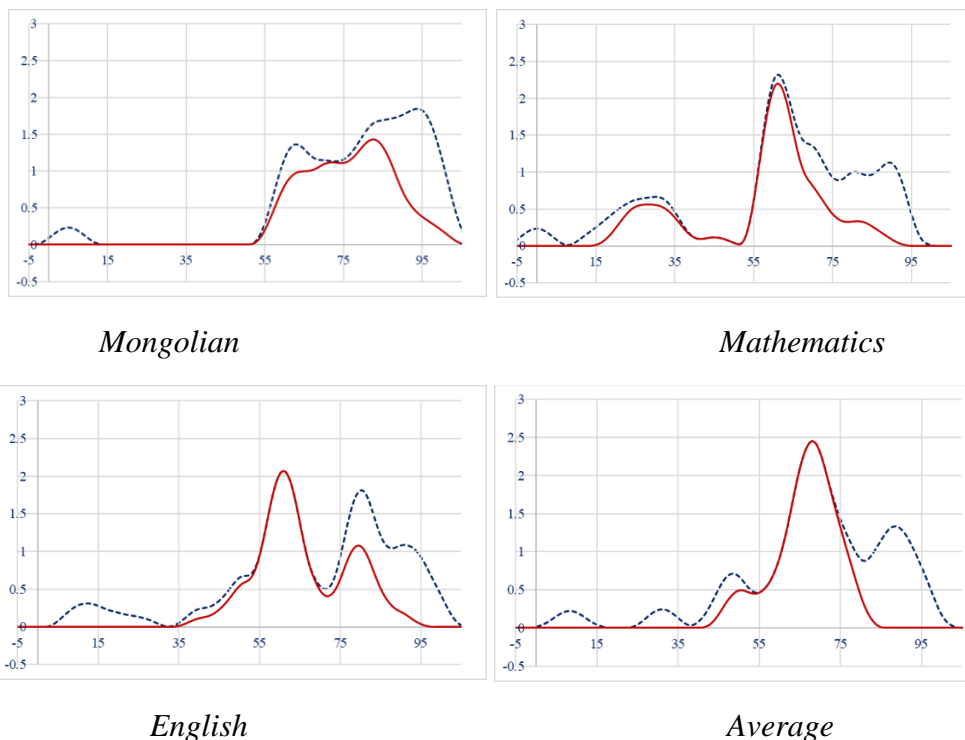
Note: The results of cluster analysis based on general academic achievements students have positive attitudes towards learning. The blue curve is indicated by 5 groups distributions, and the red curve represents a group's distribution.

Хүснэгт 3-д Монгол хэл, Математик, Англи хэлний тестүүдийн оноо, мөн энэхүү 3 хичээлийн дундаж оноогоор суралцагчдын сурах хандлага төлөвлөсөн эсэхээр маш сайн, сайн, дунд, муу, маш муу гэсэн 5 бүлэгт кластер анализын арга ашиглан ангилсан байдлыг харууллаа. Бүлэг бүрийн эзлэх хувь болон графикийг тус тус үзүүлсэн. Хичээлийн дундаж хувиар суралцагчдыг ангилахад маш сайн 29.4 %, сайн 60.3 %, дунд 1.5%, муу 5.9 %, маш муу 2.9% тус тус эзэлж байна. Хичээл тус бүрээр тархалтын хэлбэрийг анзаарч харвал бүлгүүд тодорхой ялгаран харагдахгүй байгаа бол дундаж хуваарь 5 бүлэг маш тодорхой ялгаран харагдаж байна. Хоёр алхамт кластер анализыг SPSS программ дээр гүйцэтгэхэд тухайн кластерчлал хэр ач холбогдолтойг илэрхийлэх коэффициентын утгыг тооцоолж өгдөг. Хичээлүүд болон дундаж хуваарь гүйцэтгэсэн кластерчлалын чухал ач холбогдлыг хүснэгт 4-д үзүүлээ. Мэдээж ач холбогдол 1-д ойр тусмаа бүлгүүдийг сайн ялгасныг илэрхийлнэ.

Table 4. Input (predictor) importance of two steps cluster component

	Mongolian	Mathematics	English	Average
Input (predictor) importance	0.71	0.68	0.49	1.00

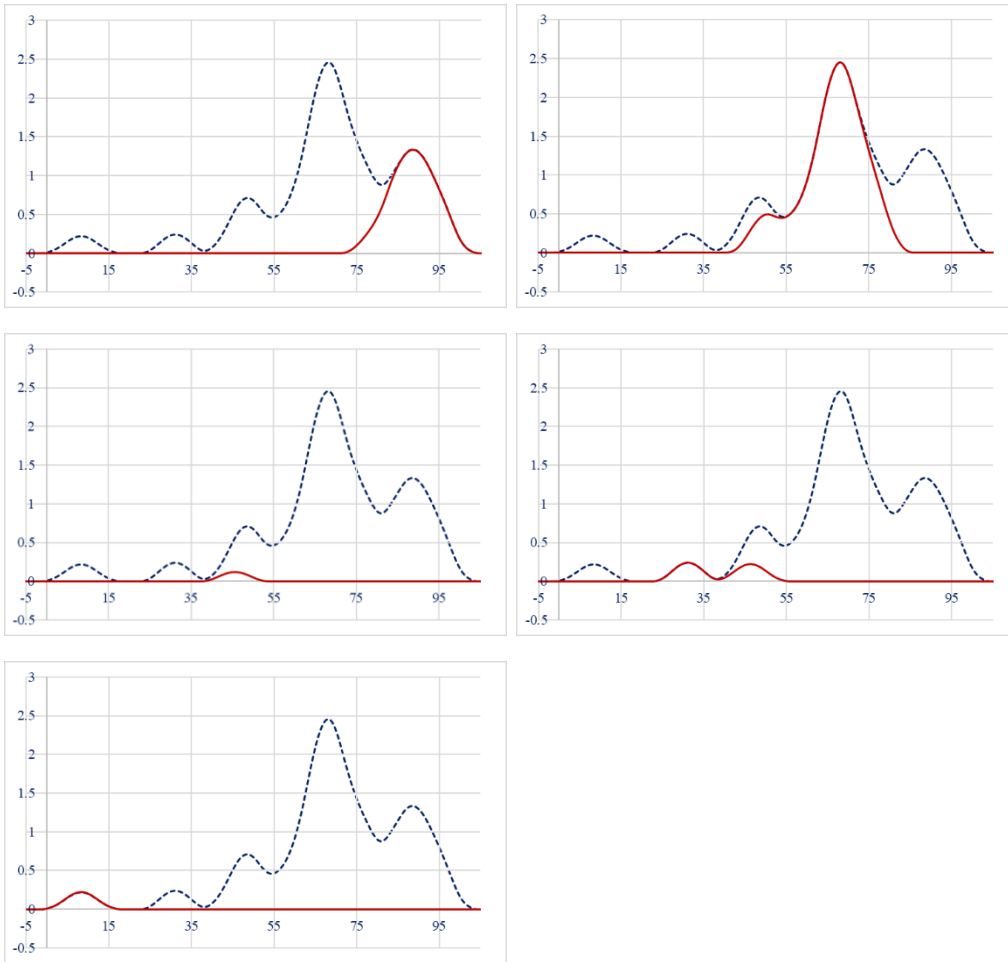
Ойлгомжтой болгохын тулд сурах хандлага сайн төлөвшсөн суралцагчдын графикийг нэг, нэгээр нь авч үзье. Монгол хэл, Англи хэл, Математикийн шалгалтын оноогоор кластер анализ хийж байгуулсан графикуудыг зураг 1-ийн зүүн дээд, баруун дээд, зүүн доод талд байрлуулсан. Энэхүү 3 графикийг ажиглавал, хичээл тус бүрээр кластер анализ хийж, суралцагчдын сурах хандлагыг ангилах нь тодорхой бус буюу сайн ялгаж чадахгүй байгаа нь харагдаж байна. Суралцагчдыг сурах хандлагаар ангилахдаа нэлээд хэдэн хичээлийн нийлбэр, цогц байдлаар авч үзэх нь зүйтэй гэдэг нь зураг 1-ийн баруун доод хэсэгт байрлах графикаас тодорхой харагдаж байна. Учир нь бид бүхний маш сайн, сайн, дунд, муу, маш муу гэсэн 5 бүлэг тодорхой ялгарсан.



Picture 1. The distributions of students having a good level of general academic achievements.

Note: The distributions of students having a good level of general academic achievements have positive attitudes towards learning. It was shown separately in Mongolian, Mathematics, English and their average. The blue curve is indicated by 5 group distributions, and the red curve represents the distribution for students having a good level of general academic achievements have positive attitudes towards learning. The horizontal axis represents the average values of students knowledge and skills.

Монгол хэл, Англи хэл, математикийн шалгалтын оноонуудын дундаж хувийг суралцагч тус бүрд олоод кластер анализ хийж үзлээ. Гарсан үр дүнгүүдийг маш сайн, сайн, дунд, муу, маш муу гэсэн 5 бүлэг бүрээр тархалтын графикаар илэрхийлснийг зураг 2-д үзүүлээ. Судалгаанд оролцсон нийт 68 суралцагчдын 89.7% нь сурах хандлага сайн, 1.5 % нь дунд, 8.8 % нь муу төлөвшсөн гэж гарсан. Улсын шалгалтын тестүүдийн үр дүнд анализ хийсэн учир суралцагч бүр шалгалтдаа сайн бэлдсэн нь эерэг үзүүлэлтийн эзлэх хувийг нэмэх шалтгаан болсон гэж дүгнэлээ.



Picture 2. The distributions of students having general academic achievements.

Note: The distributions of students having general academic achievements have attitudes towards learning. Their attitudes towards learning was shown separately in 5 groups: very good, good, acceptable, poor and very poor. The blue curve is indicated by 5 group distributions, and the red curve represents the distribution for the group students. The horizontal axis represents the average values of students knowledge and skills.

Кластер анализаар суралцагчдын сурах хандлагыг ангилсан тархалтын арифметик дунджийг авч үзэхэд дараах тоон утгууд гарсан. Хүснэгт 5-ын Англи хэлний хичээлийн хувьд сурах хандлага дунд төлөвшсөн суралцагчдын мэдлэг, чадварыг үнэлсэн дундаж утга 10, харин муу, маш муу төлөвшсөн суралцагчдын дундаж утгаас доогуур гарч байгаа нь сонирхол татсан. Хүснэгт 1-д үзүүлсэн Англи хэлний хичээлийн графикуудаас мөн тодорхой харагдаж байна. Математикийн хичээлийн хувьд сурах хандлага сайн төлөвшсөн суралцагчийн мэдлэг, чадварын дундаж утга дундынхаас бага байна. Тэгэхээр нэг хичээл дээр тааруухан дүн авсан суралцагч, сурах хандлага сайн төлөвшсөн байх магадлалтай. Эсрэгээрээ нэг хичээл дээр сайн дүн авсан суралцагчийн сурах хандлага тааруу байх магадлалтай. Суралцагчдын

сурах хандлагыг үнэлэх эсвэл баримжаалахдаа хичээл тус бүрээр бус олон хичээлийн уялдаа холбоог авч үзэж, цогц байдлаар гүйцэтгэх нь зүйтэй.

Table 5. The grades average values of students and percent of groups

	Groups	%	Average	Mongolian	Mathematics	English
1	Very good	29.4	88.46	94.50	82.67	88.20
2	Good	60.3	66.44	76.50	57.07	64.74
3	Acceptable	1.5	45.56	65.00	61.67	10.00
4	Poor	5.9	38.68	65.62	21.25	29.17
5	Very poor	2.9	8.33	5.00	0.00	20.00

Note: The grades average values of students are categorized into five groups according to their learning attitudes based on the two-step clustering components.

3.2 Байгалийн ухааны чиглэлээр виртуаль лабораторийн эхлэл тавих

ИЭЛ-ийн проф. Ю.Панебратцев болон түүний залуу судлаачидтай хамтран ажиллаж виртуаль лабораторийн эхний шатны ажлууд гүйцэтгээд, ЦШНИ-МУБИС хамтын ажиллагааны гэрээ байгуулсан ба ажлын агуулгыг тодорхойлсон МУБИС-аас мэргэлжилтэн багш нарыг ЦШНИ-д сургах алхамын суурь тавьсан. Үүнээс гадна ЦШНИ-ийн Их энергийн физикийн лабораторт Идэвхжлийн анализыг компьютерээр гүйцэтгэж програм хангамжийн суурийг босголцон илтгэл хэлэлцүүлсэн.

3.2.1 МУБИС, ЦШНИ-ийн хамтын ажиллагааны гэрээ байгуулав

УТВЕРЖДАЮ

[М.п.]

Директор Объединенного института
ядерных исследований

« _____ » _____ 20__ г.

УТВЕРЖДАЮ

[М.п.]

Ректор Монгольского
государственного университета
образования

« _____ » _____ 20__ г.

ПРОТОКОЛ № _____

о выполнении совместной научно-исследовательской работы

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ и МОНГОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ОБРАЗОВАНИЯ, г. Улан-Батор, Монголия**
(полное наименование сотрудничающей организации, город, страна)

подписали настоящий протокол в целях объединения усилий и сокращения сроков достижения научно-технических результатов в исследованиях и разработках по созданию современных образовательных программ по ядерной и общей физике для студентов физических специальностей университетов.
(область исследований или методических разработок)

1. Совместные исследования и разработки стороны обязуются проводить по согласованной программе в рамках темы ОИЯИ: 06-0-1139-2019/2023 «Организация, обеспечение и развитие программы подготовки кадров в ОИЯИ», проект «Создание современных образовательных проектов».
2. Место проведения исследований и разработок: ОИЯИ и МГУО.
3. План-график выполнения совместных работ.

№ п.п.	Наименование основных этапов работ	Сроки работы (год, квартал)		Организация-исполнитель
		начало	окончание	
1.	Развитие онлайн-сервиса по анализу данных в системе ROOT (упражнения по анализу данных с различных детекторов)	III кв. 01.07.2019	II кв. 31.05.2020	ОИЯИ, МГУО
1.1.	Сбор реальных данных с различных детекторов.	01.07.2019	31.07.2019	ОИЯИ, МГУО
1.2.	Разработка упражнений для анализа экспериментальных данных в среде ROOT.	01.08.2019	30.11.2019	ОИЯИ, МГУО
1.3.	Интеграция упражнений в среду онлайн-сервиса по анализу данных в системе ROOT.	01.12.2019	28.02.2020	ОИЯИ, МГУО
1.4.	Тестирование, апробация и доработка ресурса.	01.03.2020	31.05.2020	ОИЯИ, МГУО
2.	Создание виртуальной лаборатории	III кв.	II кв.	ОИЯИ,

	трековых детекторов (ядерные фотоэмульсии)	01.07.2020	31.05.2021	МГУО
2.1.	Разработка концепции виртуальной лаборатории трековых детекторов.	01.07.2020	31.07.2020	ОИЯИ, МГУО
2.2.	Организация постановки реальных экспериментов и сбор фактического материала.	01.08.2020	30.11.2020	ОИЯИ, МГУО
2.3.	Разработка сценариев лабораторных работ.	01.12.2020	31.01.2021	ОИЯИ, МГУО
2.4.	Разработка виртуальных лабораторных работ и размещение на сайте проекта.	01.02.2021	31.04.2021	ОИЯИ, МГУО
2.5.	Тестирование и доработка виртуальной лаборатории трековых детекторов.	01.05.2021	31.05.2021	ОИЯИ, МГУО
3.	Создание онлайн-курсов для проекта «Виртуальная лаборатория»	III кв. 01.07.2021	II кв. 31.05.2022	ОИЯИ, МГУО
3.1.	Выбор тем курсов и разработка плана их реализации.	01.07.2021	31.07.2021	ОИЯИ, МГУО
3.2.	Подготовка содержательной части курса и черновых презентаций.	01.08.2021	31.08.2021	ОИЯИ, МГУО
3.3.	Съёмка видео для курсов.	01.09.2021	30.09.2021	ОИЯИ, МГУО
3.4.	Подготовка технических сценариев монтажа курса.	01.10.2021	30.11.2021	ОИЯИ, МГУО
3.5.	Разработка графики для видеолекций.	01.12.2021	28.02.2022	ОИЯИ, МГУО
3.6.	Монтаж видеолекций.	01.01.2022	31.03.2022	ОИЯИ, МГУО
3.7.	Разработка контрольных материалов.	01.12.2021	28.02.2022	ОИЯИ, МГУО
3.8.	Размещение курсов на портале edu.jinr.ru	01.04.2022	30.04.2022	ОИЯИ, МГУО
3.9.	Тестирование, апробация и доработка онлайн-курсов.	01.05.2022	30.06.2022	ОИЯИ, МГУО
4.	Совместная подготовка проекта на 2020–2023 гг. по развитию образовательных программ	III кв. 15.07.2019	IV кв. 31.12.2019	ОИЯИ, МГУО

4. Обязательства организаций, участвующих в выполнении совместной научно-исследовательской работы

Вид обязательств	ОИЯИ, УНЦ (название лаборатории)	МГУО, факультет педагогического образования (сотрудничающая организация)
4.1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ (проведение измерений; создание установок; разработка методик, программ для ЭВМ обработка экспериментальных данных и т.д.)	В соответствии с планом по теме 06-0-1139-2019/2023	
4.2. ФИНАНСОВЫЕ (оплата за приобретение или разработку и изготовление аппаратуры, материалов и др.) ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ	Финансирует приобретение материалов по обеспечению функционирования локальной компьютерной техники и текущей работы в рамках бюджета темы 06-0-1139-2019/2023.	Финансирует работы и приобретение материалов для технического обеспечения текущих работ в рамках финансирования факультета педагогического образования МГУО.
4.3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ (передача приборов, оборудования, материалов и др.)	Передача изготовленной аппаратуры и программного обеспечения по дополнительному соглашению.	Передача изготовленной аппаратуры и программного обеспечения по дополнительному соглашению.
4.4. ОПЛАТА ТРАНСПОРТНЫХ РАСХОДОВ (доставка оборудования и материалов)	За счет направляющей стороны.	За счет направляющей стороны.
4.5. КОМАНДИРОВАНИЕ и ПРИЕМ СПЕЦИАЛИСТОВ (количество, сроки, оплата)	В соответствии с планом по теме 06-0-1139-2019/2023.	Командирование и прием специалистов в соответствии с планами Международного сотрудничества.
4.6. Оплата расходов по оформлению охранных документов и патентованию изобретений.	В соответствии с планом по теме 06-0-1139-2019/2023.	
4.7. Другие обязательства.	—	—

5. В ходе выполнения совместной научно-исследовательской работы по настоящему протоколу организации планируют достичь следующих конкретных результатов:

- создание серии упражнений для онлайн-сервиса по анализу данных в системе ROOT;
- создание виртуальной лаборатории трековых детекторов (ядерные фотоэмульсии) и размещение ресурса на сайте проекта «VirtualLaboratory»;
- создание серии онлайн-курсов по ядерной физике и размещение их на образовательном портале ОИЯИ (edu.jinr.ru).

6. Информация о ходе и результатах данной совместной работы является конфиденциальной, стороны обязуются не передавать ее третьим организациям и лицам без взаимной договоренности.

7. Опубликование результатов исследований, проводимых по настоящему протоколу, производится совместно по дополнительному согласованию между сотрудничающими организациями.

Оформление заявок на изобретения и открытия по результатам данной работы стороны поручают патентной службе ОИЯИ, которая согласовывает порядок оформления, объем патентной защиты, страны патентования и условия использования изобретений с патентной службой другой стороны и информирует ее о результатах рассмотрения заявок в двухмесячный срок со дня получения решения ведомства по изобретательству.

8. Экспериментальные установки (аппаратура, методики, технология), создаваемые в ходе выполнения работ по настоящему протоколу, являются собственностью организации, финансирующей их разработку, изготовление и приобретение.

9. Использование полученных результатов работы предполагается в ОИЯИ и МГУО.

10. В случае возможности использования результатов данной работы с коммерческими целями стороны производят оформление условий такого использования результатов дополнительным соглашением.

11. Сотрудники организаций, командированные для выполнения работ по настоящему протоколу, обязаны строго соблюдать режим работы, нормы по охране труда и техники безопасности, а также другие инструкции, действующие в принимающей организации.

12. Настоящий протокол вступает в силу с момента его утверждения сотрудничающими организациями и действует до *31 декабря 2023 года*.

13. Настоящий протокол о совместной работе может быть продлен, изменен или расторгнут по соглашению сторон. Все изменения должны быть оформлены новым протоколом или обменом соответствующими письмами. О расторжении протокола иницилирующая сторона предупреждает другую сторону не менее чем за 3 месяца.

14. Срок действия протокола продлен до «___» _____ 20___ года на основании

15. Ответственными лицами за решение организационных и научно-технических вопросов, связанных с выполнением настоящего протокола, за своевременное информирование патентных служб о сделанных изобретениях, а также за проведение необходимого инструктажа прикомандированных сотрудников назначаются:

от ОИЯИ

начальник отдела УНЦ ОИЯИ, проф. Ю.А. Панебратцев

(фамилия, имя, отчество начальника сектора или отдела)

от МГУО

старший преподаватель МГУО, Жанчив Шинэбаяр

(сотрудничающая организация: фамилия, имя, отчество, должность)

СОГЛАСОВАНО

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	МОНГОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ОБРАЗОВАНИЯ
Директор УНЦ ОИЯИ: С.З. Пакуляк	Декан факультета педагогического образования МГУО: Г. Цогзолмаа
Ответственный исполнитель: Ю.А. Панебратцев <i>Ю.А. Панебратцев</i>	Ответственный исполнитель: Ш. Жанчив <i>Ш. Жанчив</i>

Юридические адреса и банковские реквизиты сотрудничающих организаций:

<i>Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ)</i>	<i>Факультет педагогического образования Монгольского государственного университета образования</i>
<i>ул. Жолио-Кюри, 6 г. Дубна, Московская обл., Россия, 141980 (Joliot-Curie, 6, Dubna, Moscow region, Russia, 141980)</i>	<i>Улаанбаатар хот, СБД, VIII хороо, Бага тойруу-14, Улаанбаатар-48, Монгол Улс-210648</i>

3.2.2 ЦШНИ-ийн олон улсын хамтын ажиллагааны төлөвлөгөөнд орсон эрдэм шинжилгээний сэдэвт ажилд оролцсон байдал.

Сэдэв: Organization, Support and Development of the JINR Human Resources Programme

Удирдагч: V.A. Matveev, S.Z. Pakuliak

Хамтын ажиллаж буй улсууд: Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bulgaria, CERN, Cuba, Czech Republic, Kazakhstan, Moldova, Mongolia, Poland, Romania, Russia, Serbia, Slovakia, South Africa, Ukraine, USA, Vietnam.

В.А.Матвеев, С.З.Пакуляк нарын удирдаж буй “Organization, Support and Development of the JINR Human Resources Programme” сэдэвт олон улсын хамтын ажиллагааны төлөвлөгөөнд орсон эрдэм шинжилгээний сэдэвт ажлын хүрээнд гүйцэтгэсэн **инновацийн** гол үр дүн.

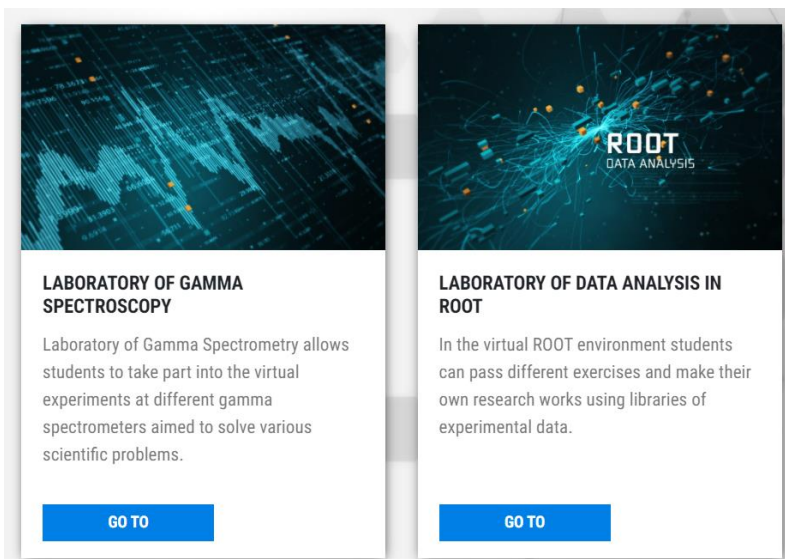
Цогц лабораторийн ажлуудыг хөгжүүлж, туршиж, сургалтын орчин нөхцөлийг сайжруулах зорилтын хүрээнд ЦШНИ-ийн сургалт, судалгааны төвийн хамт олны хөгжүүлж буй виртуал лабораторийн хөгжүүлэлтийн ажилд МУБИС хамтран ажилладаг.

Virtual Laboratory ≡ About News Updates Partners

	Institute for Nuclear Researches and Nuclear Energy Bulgaria, BG-1784, Sofia, Tzarigradsko chaussee, Blvd., 72 Telephone: +359 2 979 55 50 E-mail: inrne@inrne.bas.bg
	iThemba Laboratory for Accelerator Based Sciences PO Box 722, Somerset West 7129, South Africa Telephone: +27 21 843 1000 E-mail: Director@tlabs.ac.za
	Joint Institute for Nuclear Research Secretariat: +7 (49621) 6-50-59 Information: +7 (49621) 6-40-40 E-mail: post@jinr.ru
	Mongolian National University of Education Ulaanbaatar hot, SDB, VIII horoo, Baga toyruu-14, Ulaanbaatar-48, Mongolia 210648 Telephone: +976 7 777 51 15 E-mail: info@msue.edu.mn

Дээрх хамтын ажиллагааны хүрээнд МУБИС-ийн Боловсрол судлалын сургуулийн багш Ж.Шинэбаяр дараах лабораторийн ажлуудын хөгжүүлэлтэд оролцсон. Үүнд:

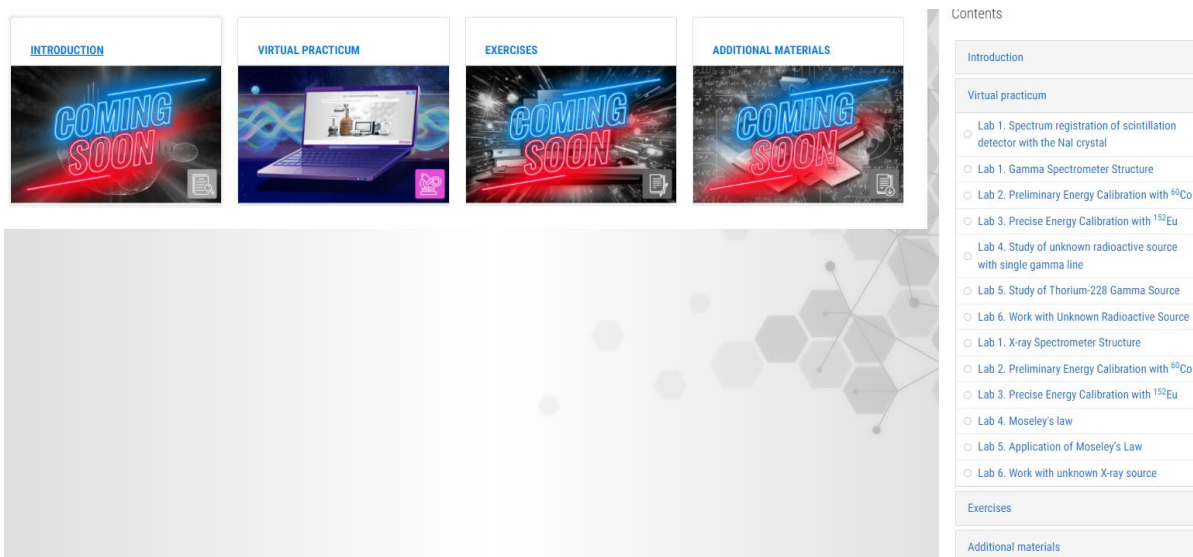
- Гамма спектрометрийн лаборатори:
- ROOT программыг ашиглан өгөгдөлд анализ хийх лаборатори:



Зураг 1. МУБИС-ийн оролцоотойгоор боловсруулагдсан виртуал лабораториуд

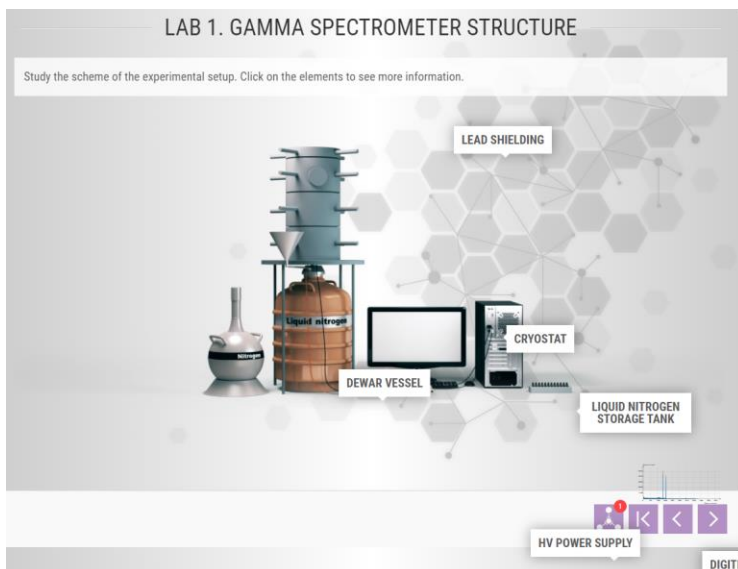
Виртуал лабораторийн веб холбоос: <https://edu.jinr.ru/>

Гамма спектрометрийн лабораторийн ажлын хувьд: Уг виртуал лаборатори удиртгал, виртуал практик ажил, дасгал, нэмэлт материал гэсэн 4 үндсэн бүтэцтэй.



Зураг 2. Гамма спектрометрийн виртуал лабораторийн бүтэц

Ж.Шинэбаярын хувьд гамма спектрометрийн виртуал лабораторийн практик ажлын заавар, програмчлалын кодыг хийж гүйцэтгэсэн. Нийт 13 практик лабораторийн ажлыг агуулсан.



<https://www.youtube.com/watch?v=77kTgWtEg98&list=PL5hT0pxDvZJTc46DasHBo9ojV4L9SL9MY&index=2>

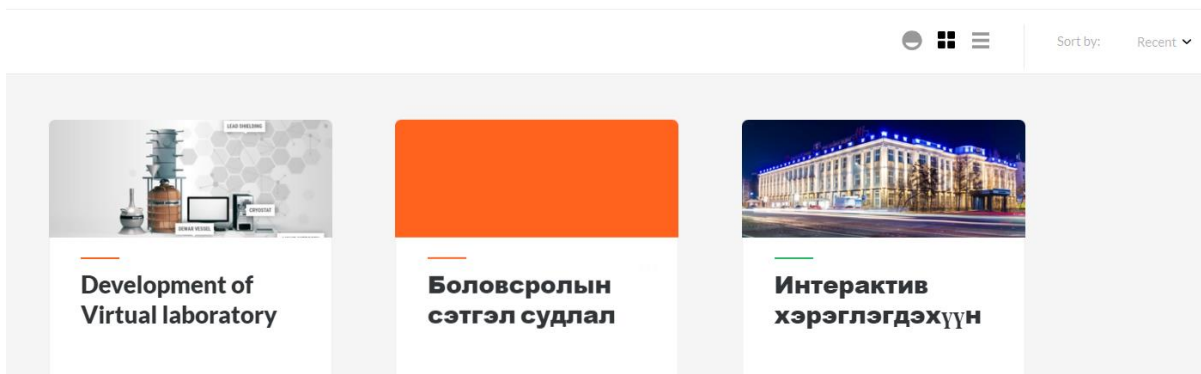
Зураг 3. Практик лаборатори ажлын харагдах байдал

МУБИС болон ЦШНИ-ийн олон улсын хамтын ажиллагааны гэрээнд виртуал лабораторийн хөгжүүлэлтээс гадна онлайн курс хичээлийн хөгжүүлэлт хийх ажлууд тусгагдсан. Үүнд:

- Онлайн курс хичээлийн хөтөлбөр
- Үзүүлэн, хэрэглэгдэхүүн
- Видео хичээлийн зураглал
- Видео хичээлийн бичлэг, монтаж хийх.
- Үнэлгээтэй даалгавар, тест

Review 360 Articulate 360 Training

15



Зураг 4. Онлайн курс хичээл

Онлайн курс хичээлийн хөгжүүлэлтийн хүрээнд хөтөлбөр, хэрэглэгдэхүүн, дасгал, даалгавар, практик ажил, тестүүд хийгдсэн. Харин, видео хичээлийн бичлэгүүд хийгдсэн бөгөөд монтаж хийгдэж байгаа.

ЦШНИ-ийн Сургалт, судалгааны төвийн видео студид бичлэгт орох төлөвлөгөөтэй байсан боловч цар тахлын нөхцөл байдлаас үүдэн боломжгүй болсон. Тийм учраас МУБИС-ийн видео студийг ашиг Мөн ЦШНИ-ийн Сургалт, судалгааны төвийн эрдэмтэд болох Ю.А. Панебратцева, Н.Е. Сидоров, К.В. Клыгина ба П.Семчуков нарыг МУБИС-д урьж физикийн тэнхимийн оюутнуудад 7 хоногийн семинар хийх төлөвлөгөөт ажил хойшлогдсон.

Ю.А. Панебратцева, Н.Е. Сидоров, К.В. Клыгина, П.Семчуков нартай и-мэйл хаягаар байнга харилцаж виртуал лаборатори, онлайн курс хичээлийн хөгжүүлэлтийг хийсэн. Олон улсын төсөл, хөтөлбөрийн хамтын ажиллагааг онлайнгаар үр дүнтэй зохион байгуулах арга зүйг эзэмшсэн сайн туршлага хуримтлуулсан.

IV. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН, ДҮГНЭЛТ

“Бөөмсийн кластерчлал” суурь судалгааны сэдэвт ажлын хүрээнд хийгдсэн нэг нуклондоо 4.2 ГэВ/с бүхий анхдагч импульстэй нүүрстөрөгчийн цөм хөөст камер доторх нүүрстөрөгчийн цөмтэй мөргөлдөх үед сум нүүрстөрөг-чийн спектатор хэлтэрхийнүүдийн судалгаа, 205 ГэВ/с импульстай протон-протоны харилцан үйлчлэлд үүссэн π^- мезоны хөндлөн импульсын тархалтыг ашиглан Цаллисын аргаар дөхүүлэлт хийх, цөмийн фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй хүчилтөрөгчийн цөмийн мөргөлдөөнийг ялгах, Лобачевскийн огторгуйг ашиглан туршилтын өгөгдлүүдэд их энергитэй эерэг цэнэгтэй бөөмсийг дахин ангилсан засварууд, 40 ГэВ-ийн энергитэй сөрөг пионы протонтой болон нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчилсэн мөргөлдөөнд илэрсэн резонансууд, сөрөг пионы протон ба нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчлэлээр үүссэн цэнэгт бөөмсийн азимутал өнцгийн бүтцийг судалгаа, загварчлалын GEANT4 программаар пропант (C3H8) хөөст камерт үүссэн бөөмсийн тоог өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох, кластер анализ ашиглан суралцагчдыг сурах хандлагаар ангилсан нь зэрэг судалгаануудыг гүйцэтгэн дараах дүгнэлтүүдийг хийж байна:

1. Ижил цөмүүдийн мөргөлдөөний онол туршлагын харьцуулсан судалгаа гүйцэтгэн үзэхэд онол туршлагын хоорондох тохироо алдааны мужийг тооцон харьцуулахад сайн байна. Сум цөмөөс харилцан үйлчлэлд оролцоогүй хэлтэрхий (спектатор)-үүдэд ангилан ялгалт хийж тэдгээрийн олонлогийг тогтоов.
2. Спектаторуудын корреляцын үзүүлэлтүүдийг судалж үзэхэд азимут өнцгийн коррелцийн хамаарал харьцангуй өндөр (их) энергийн мужид ажиглагддаг онцлог манай эергийн мужид давтагдаж, зууван хэлбэрийн урсгал байгааг илэрхийлдэг томьёо хүчин төгөлдөр байна.
3. Судалгааны камерын арга бол сум цөмөөс ямар нэгэн механизмаар үүссэн хэлтэрхийнүүдийг алдагдалгүй бүртгэдэг онцлогийг ашиглан, тэдгээр хэлтэрхийнүүд хоёроос багагүй эх үүсгэврүүдээс үүсдэг гэсэн бусад туршилтуудын дүнг баталж байна.
4. Энэ нэг дор хоёр фаз байгааг харуулж байгаас гадна онолын загвараас хоёр дах фаз (буюу бүтцийн функцийн хоёр налуу) илрэхгүй байгааг өөр ажлуудад тодорхой харуулсан байдаг. Сум цөмийн $z > 1$ буюу олон цэнэгтэй хэлтэрхийнүүдийн хувьд фазын (ФАЗА туршилтын тогтоосон шингэн-хий гэсэн) шилжилт давтан ажигдлаа.
5. Цаллисын тархалтын термодинамикийн нийцтэй хэлбэр нь $\sqrt{s} = 19.7$ ГэВ-ийн р-р мөргөлдөөнөөр үүссэн π^- мезоны хөндлөн импульсийн тархалтыг маш сайн тайлбарлаж байна. Цаллисын параметрийн утгууд болох q нь 0.9-1.15 хооронд байх ба хурдцаас хамааран буурч байгааг харуулсан. R радиусын утгууд нь хурдац нэмэгдэхэд бага зэрэг нэмэгдэж байгааг харуулсан мөн стринг кодоор үүссэн π^- мезоны хувьд цацаргалтын радиус бараг 2 дахин бага байна

6. Өндөр энергитэй хүчилтөрөгчийн цөм фотоэмульс доторх хүнд ба хөнгөн цөмүүдийн бүлгүүдтэй мөргөлдсөн үзэгдлийн туршлагын үнэт мэдээллийг онолын Fritiof 1.6 загварын тусламжтайгаар ялгасан. Товчхон дүгнэбэл: уламжлалт нөхцөл нь хөнгөн цөмийн бүлэгт байх ёстой үзэгдлийн тооноос бараг дөрөв (20216/4714) дахин ихээр сонгож байжээ. Зарим судлаачид хүчтэй иончлогдсон бөөмсийн тоо $N_h > 8$ гэсэн нөхцлөөр Ag/Br цөмтэй үйлчилсэн харилцан үйлчлэлийг сонгодог ч байх ёстой статистик тоон өгөгдлүүдээс бараг гурав (7646/23148) дахин багаар сонгож байгаа нь жинхэнэ бодит үнэнд нийцсэн үр дүнд хүрэх магадлал учир дутагдалтай.
7. Олон улсын мега төсөл “NICA” –гийн хүрээнд системийн хамгийн дээд энерги 11 А ГэВ-тэй тэнцүү гэж тооцоолон түүнд тохирох багаж төхөөрөмж, хурдасгуурыг барьж байгуулж байгаа, харин энэ туршлагын материалд харгалзах системийн энерги 10.7 А ГэВ учраас бидний цаашдын судалгааны нэг эх үүсгэвэр болно. Иймд бид нийлмэл системтэй тухайн объектын харимхай бус харилцан үйлчлэл явагдсан нөхцөлд нийлмэл системийг ангилан ялгаж салгах нь маш чухал.
8. Лобачевскийн огторгуйг ашигласанаар хоёрдогч бөөмс болгон жингүүдийг хэрэглэхгүй болж, бөөмсийг жинхэнэ тоогоор тоолж, кластер байгуулах г.м. судалгаануудыг гүйцэтгэх бололцоотой боллоо. Одоо бид эерэг пионууд болон протонуудын хувьд судалгаа хийх нөхцөл бүрдсэнийг харууллаа. Андуурагдсан бөөмсийн хувь хэмжээ анхдагч энергиэс хамааран өсдөг.
9. Цаллисын температур (Т)-ууд Хагедорны температур (Т1)-уудтай ойролцоо байна. Нөгөө талаас Хагедорны Т2 ба Т0 температурыуд Цаллисын температур (Т)-аас их байгаа нь тогтворгүй төлөвүүд тэнцвэрт төлөвт шилжихдээ дулааны солилцоо явуулдаг байна.
10. 40 ГэВ/с-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлд үүссэн η^0 -мезон, ρ^0 -мезон болон тохиолдлын оройноос үүссэн K_S^0 -мезон, дельта Δ^{++} ба Δ^0 үүсэхийг их энергитэй эерэг бөөмсийн бүрэн засварын дараа судалсан. $p\pi^\pm$ ба $\pi^+\pi^-$ хосын туршилтын болон дэвсгэр инвариант массын тархалтын анализаас $\pi^+ + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлд эдгээр резонансын үүсэх масс, өргөн, хөндлөн огтлолын утгуудыг тодорхойлсон.
11. $\pi^+ + p$ ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн үед үүссэн хоёр дельтанууд ба пион гурван резонансуудын өргөн / $\pi^+ + p$ -ийн хувьд: 65 ± 9 (Δ^{++}), 170 ± 37 (Δ^0), 65 ± 9 (K_S^0), ба 63 ± 10 (η^0) МэВ/ c^2 , $\pi^- + C$ -ийн хувьд 129 ± 10 (Δ^{++}), 76 ± 8 (Δ^0), 81 ± 7 (K_S^0), 88 ± 7 (η^0) ба 139 ± 19 (ρ^0) МэВ/ c^2 тэнцүү байна.
12. Δ^{++} ба Δ^0 барионы резонансуудын үүсэх хөндлөн огтлолууд $\pi^+ + p$ мөргөлдөөний хувьд 4.6 ± 0.1 ба 6.1 ± 0.1 mb ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн хувьд 6.1 ± 0.1 ба 90.6 ± 2.9 mb/. Харин пионы резонанууд (K_S^0 , η^0 , ρ^0)-ын хөндлөн огтлолууд $\pi^+ + p$

мөргөлдөөний хувьд 10.4 ± 0.1 , 13.5 ± 0.1 мб ба $\pi^- + C$ харилцан үйлчлэлийн хувьд 87.2 ± 3.0 , 102.9 ± 2.7 ба 88.5 ± 3.0 мб байна.

13. 40 ГэВ-ийн $\pi^- + p$ ба $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ харилцан үйлчлэл дэх азимуталын дэд бүтцийг харуулдаг S_1 , S_2 ба S_3 параметруудийг тодорхойлов. Бид энд бусад судлаачдийн судалдаг параметруудээс гадна S_3 -ийг нэмж оруулснаар цагариг, стохастик ба олгойдох гэсэн 3 төрлийн процессыг хувь хэмжээгээр олонлог болгонд тодорхойлож болно.
14. Дэд бүтцийн хэмжээ, тэдгээрийн байрлалыг нарийвчлан судлах нь цагариг ба олгойдолтын онцлог шинж чанарыг баталгаажуулдаг ба тэдгээрийг UrQMD 3.4 загварчилсан янз бүрийн үндсэн цацаргалтыг загвараар байгуулав. Цагариг төстэй үзэгдлийг Черенковын цацаргалт болон Махын цохилтын долгионы үзэгдэл г.м. үзэгдлүүд байж болох юм.
15. Физик үзэгдлийн загварчлалын Geant4 программаар 2 метрийн пропант (C_3H_8) хөөст камер дах харилцан үйлчлэлийг загварчилж, нэгж урвалаас үүссэн хоёрдогч бөөмсийн тоог өндөр нарийвчлалтай тодорхойлж чадлаа. Энэхүү камерт $p + C \rightarrow p + X$ урвал нь хоёрдогч бөөмсийн тоон болон энергийн түгэлтэнд гол үүрэг гүйцэтгэж байгааг харууллаа. Туршилтын дүнтэй харьцуулахад хоёрдогч протон харьцангуй олон бүртгэгдэж, харин π мезонуудын дундаж утга өмнөх тооцооны утгатай ойролцоо байна. Иймд тулгуур үзэгдлүүдийг тайлбарлаж, улмаар шууд хэмжихэд бэрхшээлтэй чухал хэмжигдэхүүнүүдийг нарийн тооцоолоход Geant4 программыг ашиглах боломжтой байна.
16. Тестийн анализ хийхэд классик тестийн онол, даалгаврын хариултын анализ, модель анализ, фактор болон кластер анализ чухал үүрэгтэй. Бид бүхэн уг өгүүлэлд мэдлэг- ойлголт, чадвартай холбоотойгоор суралцагчдын хандлагыг үнэлэх, баримжаалахад дараах үр дүнгүүд гарлаа.
 - a. Суралцагчдын хандлагыг ямар нэгэн хичээлийн үнэлгээний үр дүнгээр үнэлэх нь учир дутагдалтай буюу сурах хандлагыг нарийн тодорхой илрүүлэхгүй.
 - b. Суралцагчдын хандлагыг олон хичээлийн мэдлэг, чадварын цогц байдлаар авч үзэж, дундаж үнэлгээгээр илрүүлэх нь давуу талтай.
 - c. Суралцагчдын сурах хандлага хэр эзэмшсэнийг хичээлүүдийн дундаж үнэлгээнээс нь хамааруулан кластер анализыг ашиглан бүлэглэж, ангилж, түвшинг нь баримжаалах бололцоотой.

V. АШИГЛАСАН НОМЗҮЙ

1. R.Togoo, T.Tulгаа, A.Tursukh, O.V.Rogachevsky, M.Sovd and J.Shinebayar. A possibility to identification for positive particles produced from the inelastic interactions detected by propane bubble chamber. Proceeding of Mongolian Academy of Sciences, vol.56, No1 (217), pp.5-12. (2016). DOI: <http://dx.doi.org/10.5564/pmas.v56i01,671>. ШУА, Физик-технологийн хүрээлэнгийн бүтээл No.44, х.14-22, (2017).
2. Konstantin K. Gudima, Stepan G. Mashnik, and Arnold J. Sierk. User Manual for the Code LAQGSM (QGSM). LA-UR-01-6804 Los Alamos december (2001).
3. B. Andersson et al. Nucl. Phys., B281:289, (1987). B. Nilsson-Almqvist and E. Stenlund. Comp. Phys. Comm., 43:387, (1987).
4. V.V.Belaga, A.I.Bondarenko, T.Kanarek, E.N.Kladnitskaya, A.A.Kuznetsov, M.M.Muminov (junior), R.Togoo, G.P.Toneeva and G.M.Chernov Fragmentation of Carbon in to Three Alphas in Propane Bubble Chamber at 4.2 GeV/c. -JINR, P1-95-218, Dubna, (1995); Yad.Fiz.59:869-877, (1996).
5. А.М.Бондаренко и др. Сообщ ОИЯИ, p1-98-292, Дубна. (1998).
6. Гаспарян А.П. Препринт ОИЯИ, 1-80-778, Дубна. (1980).
7. Nagamiya .S, et al. Phys. Rev.C. v24, p971. (1981).
8. Malfied. R, et al. Phys. Rev. C, v.31, p.1275. (1985).
9. Adyaseich B.P, et.al Preprints IAE-3973/2, IAE-4148/2, 1985, Moscow.(1984).
10. Армутлийски. Д. и др. Препринт ОИЯИ, p1-86-263, Дубна. (1986).
11. Агакшинев. Г.Н. и др. Препринт ОИЯИ, p1-81-176, Дубна. (1981).
12. Баатар. Ц. и др. Препринт ОИЯИ, p1-86-477, Дубна. (1986).
13. Abdrahmanov. E.O. et al. Z.Phys.C, v5, p1. (1980).
14. C. Adler et al., Phys. Rev. Lett. 90, 082302 (2003).
15. С.А.Краснов и др. “Изучение двухчастичных корреляций мв неупругих взаимодействиях ядер Неона-22 при $p_0 = 4.1$ ГэВ/с на нуклон с ядрами эмульсии”. Сотрудничество: Алма Ата-Бухарест-Гачина-Дубна-Душанбе-Ереван-Кошице-Краков-Ленинград-Москва-Ташкент-Тблиси-Улан Батор-Ростов на Дону. ЯФ, т.47, Вып.5, 1988, с.1308-1319; ОИЯИ, P1-87-348, Дубна, (1987).
16. В.А. Карнаухов, ОИЯМ, P1-99-193, Дубна, 1999, S.P.Avdeev et al; JINR,E13-92-60,Dubna, (1992)
17. M. Rybczynski and Z. Wlodarczyk, Eur. Phys. J. C 74 (2014), 2785 doi:10.1140/epjc/s10052-014-2785-7.
18. S.A. Bass (Frankfurt U.), M. Belkacem (Frankfurt U.), M. Bleicher (Frankfurt U.), M. Brandstetter (Frankfurt U.), L. Bravina (Frankfurt U.) et al.Prog. Part. Nucl. Phys. 41, 255-369 (1998) doi:10.1016/S0146-6410(98)00058-1.
19. M. D. Azmi and J. Cleymans.J. Phys. G 41, (2014) doi:10.1088/09543899/41/6/065001.

20. J. Cleymans, G. I. Lykasov, A. S. Parvan, A. S. Sorin,
21. O. V. Teryaev and D. Worku, *Phys. Lett. B* (2013),
doi:10.1016/j.physletb.2013.05.029
22. G. Wilk and Z. Wlodarczyk, *Phys. Rev. Lett.* 84, 2770 (2000) [hep-ph/9908459].
23. I. Khan, A. Rehman and A. Zaman, *Mod. Phys. Lett. A* 35 (2020) no.102050066
doi:10.1142/S0217732320500662.
24. J. Cleymans and D. Worku, *J. Phys. G* 39, 025006 (2012) [arXiv:1110.5526[hep-ph]].
25. I. Sena and A. Deppman, *Eur. Phys. J. A* 49, 17 (2013) [*Eur. Phys. J. A* 49,17 (2013)]
[arXiv:1209.2367 [hepex]].
26. A. Adare et al. [PHENIX Collaboration], *Phys. Rev. D* 83, 052004 (2011)
[arXiv:1005.3674 [hep-ex]].
27. P. K. Khandai, P. Sett, P. Shukla and V. Singh, *Int. J. Mod. Phys. A* 28,1350066
(2013) [arXiv:1304.6224 [hep-ph]].
28. C. -Y. Wong and G. Wilk, *Acta Phys. Polon. B* 43, (2012) [arXiv:1210.3661 [hep-ph]].
29. F. Buyukkilic, D. Demirhan, *Phys. Lett. A* 181, 24 (1993).
30. F. Pennini, A. Plastino, A. R. Plastino, *Phys. Lett. A* 208, 4, 309 (1995).
31. A. M. Teweldeberhan, A. R. Plastino, H. G. Miller, *Phys. Lett. A* 343, (2004).
32. J. M. Conroy, H. Miller, *Phys. Rev. D* 78, 054010 (2008).
33. Brown, R. Hanbury; Twiss, R.Q. (1954). *Magazine.* 45 (366): 663–682.
34. Brown, R. Hanbury; Twiss, R. Q. (1956). *Nature.* 177 (4497): 27–29.
35. Hanbury Brown, R.; Twiss, Dr R.Q. (1956). *Nature.* 178: 1046–1048.
doi:10.1038/1781046a0.
36. B. I. Abelev et al. (STAR collaboration), *Phys. Rev. C* 75, 064901 (2007).
37. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), *Phys. Rev. D* 83, 052004, (2011);
38. A. Adare et al. (PHENIX collaboration), *Phys. Rev. C* 83, 064903 (2011).
39. K. Aamodt, et al. (ALICE collaboration), *Phys. Lett. B* 693, 53 (2010).
40. V. Khachatryan, et al. (CMS collaboration), *JHEP* 02, 041 (2010);
41. R. Togoo, D. Otgonsuren, T. Tulgaa, A. Tursukh and J. Shinebayar, “Selection
procedure for the collisions of relativistic oxygen ions with heavy and light
photoemulsion nuclei, yields of projectile fragments and ring radiation of relativistic
particles” *Proceeding of Mongolian Academy of Sciences, Vol.56, No.1(217),*
Ulaanbaatar, 2016, pp.13-30.
42. ALICE Technical Design Reports of the zero Degree calorimeter (ZDC) (ALICE
Collaboration: G.Dellacasa, L.Ramello, E.Scalas, ..., Ts.Baatar, R.Togoo,
B.Khurelbaatar, ..., D.Ference, A.Ljubicic and T.Tustonic) -ZDC CERN/LHCC 99-5,
ALICE TDR 3, 5 March 1999 ISBN 92-9083-139-1
43. V.V. Uzhinsky. On behalf of the Geant4 Hadronics Working Group, *Calorimetry for
High Energy Frontiers - CHEF 2013, April 22-25, 2013 Paris, France.*
44. M.I. Adamovich et al. (EMU01-collaboration), *Phys. Rev. Lett.* 69 (1992) 745

45. N.A. Chernikov (Dubna, JINR) “Lobachevsky geometry and relativistic nuclear physics” Dubna, 1997,
46. A.A.Baldin, E.G.Baldina, E.N.Kladnitskaya, O.V.Rogachevsky, “Analysis of experimental data on relativistic nuclear collisions in Lobachevsky space”, Phys.Part.Nucl.Lett. 1 (2004), 171-177, Pisma Fiz.Elem.Chast.Atom.Yadra 2004 (2004) 119, 7-16
47. R.Togoo, M. Sovd, T. Tulгаа, A. Tursukh, Khurelbaatar B, Rogachevsky O.V. and J. Shinebayar “Coloumb interaction in C+C collisions at 4.2 A GeV/c momentum” Proc. Of the Institute of Physics and Technology, №44, Ulaanbaatar, 2018
48. Imran Khan and Kh.K.Olimov “Spectral Temperatures of $\Delta(1232)$ Resonances Produced in p12C and d12C Collisions at 4.2 GeV/c per Nucleon” ISSN 1063-7788, Physics of Atomic Nuclei, 2013, Vol. 76, No. 7, pp. 883–887.
<https://doi.org/10.1134/S1063778813070089>
49. R. Hagedorn and J. Rafelski, “Hot Hadronic Matter and Nuclear Collisions” Phys. Lett. B 97, 136 (1980). [https://doi.org/10.1016/0370-2693\(80\)90566-3](https://doi.org/10.1016/0370-2693(80)90566-3)
50. Li-Li Li, Fu-Hu Liu “Kinetic Freeze-Out Properties from Transverse Momentum Spectra of Pions in High Energy Proton-Proton Collisions”, MDPI Physics 2 (2020) 2, 277-308, <https://doi.org/10.3390/physics2020015>
51. Hagedorn,R. “Multiplicities, p_T Distributions and the Expected Hadron Quark - Gluon Phase Transition”, Riv.Nuovo Cim. 6N10 (1983), 1-50,
<https://doi.org/10.1007/BF02740917>
52. Hagedorn, R., “Statistical thermodynamics of strong interactions at high-energies” Nuovo Cim.Suppl. 3 (1965), 147-186.
53. Field, R.D. and Feynman, R.P., “A Parametrization of the Properties of Quark Jets” Phys. B 136, 1-76 (1978). [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(78\)90015-9](https://doi.org/10.1016/0550-3213(78)90015-9)
54. G. Wilk and Z. Wlodarczyk, “Interpretation of the Nonextensivity Parameter q in Some Applications of Tsallis Statistics and Lévy Distributions” Phys. Rev. Lett. 84, 2000, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.2770>
55. Grzegorz Wilk (Warsaw, Inst. Nucl. Studies), Zbigniew Wlodarczyk (Jan Kochanowski U.) “Consequences of temperature fluctuations in observables measured in high energy collisions” Published in: Eur.Phys.J.A 48 (2012), <https://doi.org/10.1140/epja/i2012-12161-y>
56. A.I. Bondarenko, R.A. Bondarenko, E.N. Kladnitskaya, “Study of nucleus-nucleus interactions with complete destruction of the target nucleus with momentum 4.2-GeV/c per nucleon” Dubna, JINR, R1-96-292, 1996.
57. Н.Ангелов и др.: Исследоване рождения резонансов в π^-p взаимодействиях при 40 ГэВ/с. Сотрудничество: Препринт ОИЯИ, Р1-9810, Дубна, 1976;
58. O.Balea et al. Neutral strange particle production in π^-p , π^-n and π^-C interactions at 40 GeV/c; Nuclear Physics B79 (1974) 57-69.
59. Ангелов Н.С. и др. “Образование K^0 -мезонов, Λ и $\bar{\Lambda}$ -гиперонов в π -p взаимодействиях при 40 ГэВ/с”

60. P. D. Higgins et al., Phys. Rev. D 19, 731 (1979).
61. N. Angelov et al., Yad. Fiz. 33, 1046 (1981).
62. N. Angelov, K. P. Vishnevskaja et al., JINR Communications P1-9792 (1976).
63. A. U. Abdurakhimov et al., Yad. Fiz. 18, 545 (1973).
64. A. U. Abdurakhimov et al., Yad. Fiz. 18, 1251 (1973).
65. S. A. Azimov et al., Nucl. Phys. B107, 45 (1976).
66. D. Krpic, G. Skoro, I. Picuric, S. Backovic, and S. Drndarevic, Phys. Rev. C 65, 034909 (2002).
67. Kh. K. Olimov, S. L. Lutpullaev, K. Olimov, K. G. Gulamov, and J. K. Olimov, Phys. Rev. C 75, 067901 (2007).
68. N. Angelov et al. JINR-P1-12281, Mar 1979. 17pp; Yad.Fiz.30:1590-1598,1979. Preprint JINR E1-12548, Dubna 1979; Yad.Fiz. Vol.30, No.6(12), 1979, pp.1590-1598; G.N.Agakishiev et al. Preprint JINR, P1-84-35 and E1-84-321 Dubna, 1984; Yad.Fiz. Vol.40, No.5, 1984, pp.1209-1221; Z.Phys. Vol.27C, 1985, pp.177
69. Банник Б.П и др. ОИЯИ, P1-130558, Дубна, 1980; Богачев Н.И и др. ОИЯИ, P1-6877, Дубна, 1972; Galstyan J.A et al. Nucl. Phys., 1973, A208, p.626; BVDKLMТ Coll., Acta Phys. Slov., 1978, 28. P.132; Адамович М.Н. и др. ОИЯИ; Сотрудничество ОИЯИ, P1-8313, Дубна, 1974.
70. Agostinelli S., et al. GEANT4 - a simulation toolkit. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. – 2003. – V. 506. – P. 250–303.
71. Allison J., et al. GEANT4 developments and applications // IEEE Trans Nucl – 2006. – V. 56. – P. 270–278
72. C.Y. Wong, Introduction to high-energy heavy-ion collisions (World Scientific, Singapore, 1994); E.Shuryak, Phys.Rep. 61, 71 (1979);
73. K. Yagi, T.Hatsuda and Y.Make, Quark-gluon plasma (Cambridge University Press, New-York,2005)
74. L. Van Hove, Z.Phys. C21, 93 (1984)
75. R Peschanski, XXII Int. Symp. on Multiparticle Dynamics (Santiago di Compostella, Spain, 1992)
76. A B Apanasenko, N A Dobrotin, I M Dremin and K A Kotelnikov, Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz. 30, 157 (1979)
77. A El-Naghy and K S Abdel-Khalek, Phys. Lett. B299, 370 (1993)
78. G L Gogiberidge, E L Sarkisyan and L K Gelovani, Nucl. Phys. Proc. Suppl. B92, 75 (2001)
79. G L Gogiberidge, E L Sarkisyan and L K Gelovani, Phys. Atom. Nucl. 64,143 (2006)
80. S Vok' al, A Vok' alova, A Krav' c' akova, S Lehock' a and G I Orlova, Peculiarities in produced particles emission in 208 Pb+Ag(Br) interactions at 158 A GeV/c, Proc. Hadron Structure (Smoline Castle, Slovakia, 2004)
81. I M Dremin, Pisma v ZhETF 30, 152 (1979)
82. E Stenlund et al, Talk given at XXII. Multiparticle Dynamics Symposium (Santiago de Compostella, Spain, July 13–17, 1992)

83. I M Dremin, *Jad. Fiz.* 33, 1357 (1981)
84. I M Dremin, *Pisma v ZhETF* 34, 617 (1981)
85. I M Dremin, hep-ph/0011110 (Nov. 2000)
86. I M Dremin et al, *Phys. Lett. B*499, 97 (2001)
87. I M Dremin, *Nucl. Phys. A*767, 233 (2006)
88. A E Glassgold, W Heckrotte and K M Watson, *Ann. Phys.* 6, 1 (1959)
89. N. Angelov et al. Interaction cross-sections and negative pion multiplicities in nucleus-nucleus collisions at 4.2 GeV/Yad. *Fiz.* 30, 1590 (1979)].
90. S.Backovic et al. Temperature of negative pions in inelastic (d, a, C) + (C,Ta) collisions at 4.2 A GeV/c. *Phys. Rev. C* 46, 1501 (1992).
91. A.I. Bondarenko et al. The Ensemble of interactions on carbon and hydrogen nuclei obtained using the 2 m propane bubble chamber exposed to the beams of protons and H-2, He-4, C-12 relativistic nuclei at the Dubna Synchrophasotron. JINR Preprint No. P1-98-292 (JINR, 1998)].
92. EMU01 Collaboration: M I Adamovich et al, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 19, 2035 (1993)
93. P K Haldar, S K Manna, P Saha and D Ghosh, *IJPAP* 50, 156 (2012)
94. S.Vokal, J.Vrlakova: PreprintJINR, E1-2009, 188, Dubna, 2009.
95. Prabir Kumar Haldar, Sanjib Kumar Manna, Prosenjit Saha & Dirak Ghosh: *Idian Journal of Pure & Applied Physics*, Vol.50, March 2012, pp.156-160.
96. Prabir Kumar Haldar, Sanjib Kumar Manna, Prosenjit Saha & Dirak Ghosh: *Idian Journal of Pure & Applied Physics*, Vol.80, No.4, April 2013, pp.631-642
97. Cormack, R. M. (1971). A review of classification. *Journal of the Royal Statistical A*, 134, 321-367. doi:<https://doi.org/10.2307/2344237>
98. Ding, L., & Beichner, R. (2009). Approaches to data analysis of multiple-choice questions. *Physical review physics education research*, 1-17. doi:10.1103/PhysRevSTPER.5.020103
99. Doran, R. (1980). *Basic Measurement and Evaluation of Science Instruction*. Washington, DC: NSTA.
100. Everitt, B., Leese, L., & Stahl, D. (2011). *Cluster Analysis (Wiley Series in Probability and Statistics) (5th Edition)*. London: Wiley.
101. Field, A. (2009). *Discovering statistics using spss, third edition*. Duba: Oriental Press.
102. Ghiselli, E., Campbell, J., & Zedeck, S. (1981). *Measurement Theory for*. San Francisco: Freeman.
103. Gordon, A. D. (1999). *Classification, 2nd Edition*. Florida: Boca Raton.
104. Himelfarb, I. (2019). A primer on standardized testing: History, measurement, classical test theory, item response theory, and equating. *The Journal of Chiropractic Education*, 33, 151-163. doi: <https://doi.org/10.7899/JCE-18-22>

105. Kline, P. (1986). *A Handbook of Test Construction: Introduction to Psychometric Design*. London: Methuen.
106. Kline, T. (2005). *Psychological testing: A practical Approach to Design and Evaluation*. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc.
107. Kuder, G., & Richardson, M. (1937). The theory of the estimation of test. *Psychometrika* 2, 151. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02288391>
108. Michael Sailer Florian Schultz-Pernice.F.F. (2021). Contextual facilitators for learning activities involving technology in higher education: The C_b-model. *Computers in Human Behavior*, Vol 121.
109. Oosterhof, A. (2001). *Classroom Applications of Educational Measurement*, 3rd ed. Upper Saddle River: Merrill.
110. Мягмар, О., Тамир, Х., Бурмаа, Ц. (2019). Багш мэргэжилд хандах хандлагын онол арга зүйн асуудал. Багш мэргэжлээр суралцагчдын хандлагын үнэлгээ, хурлын эмхэтгэл, 6-17.

**“БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ” СУУРЬ СУДАЛГААНЫ ТӨСЛИЙН
ХҮРЭЭНД 2019-2022 ОНЫ ХООРОНД ХЭВЛҮҮЛСЭН БҮТЭЭЛИЙН
ТАЛААР**

2019-2022 онд шинжлэх ухааны доктор, академич Р.Тогоогийн удирдсан
“Бөөмсийн кластерчлал” суурь судалгааны сэдэвт ажлын хүрээнд:

- Дотоодын эрдэм шинжилгээний сэтгүүлд нийт 7 өгүүлэл хэвлүүлсэн.
- “БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ” нэртэй ном хэвлүүлсэн.
- Тус сэдэвт ажлын хүрээнд 2019-2022 онд Физикийн ухааны доктор (Ph.D)-1,
Магистр-1 хамгаалсан байна.

“БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ” СУУРЬ СУДАЛГААНЫ ТӨСЛИЙН ХҮРЭЭНД 2019-2022 ОНЫ ХООРОНД ХЭВЛҮҮЛСЭН БҮТЭЭЛИЙН ЖАГСААЛТ

1. Р.Тогоо, Н.Хишигбуян, Г.Шархүү, Ж.Шинэбаяр “Цөмийн фотоэмульсийн хүнд, хөнгөн цөмүүдтэй хүчилтөрөгчийн цөмийн мөргөлдөөн”, ФТХ-ийн Бүтээл №46, 2019, р3-12
2. Р.Тогоо, Н.Хишигбуян, Ж.Шинэбаяр “Нүүртөрөгч-нүүрстөрөгчийн харимхай бус харилцан үйлчлэл дэх сум цөмийн хэлтэрхийнүүдийн судалгаа (I температурын үзүүлэлтүүд)”, Академич Баатарын Чадраа ба шинжлэх ухаан эрдэм судлалын дээжис боть 2019, р195-199,
3. Р.Тогоо, Н.Хишигбуян, Ж.Шинэбаяр “Харимхай бус нүүрстөрөгч-нүүрстөрөгчийн харилцан үйлчлэл дэх сум цөмийн хэлтэрхийнүүд”, ФТХ-ийн Бүтээл №47, 2020, р26-38
4. Р. Тогоо, Н. Хишигбуян “205 гэв/с импульстай протон-протоны харилцан үйлчлэлд үүссэн π^- -мезоны хөндлөн импульсын тархалтыг ашиглан цаллисын аргаар дөхүүлэлт хийх” ФТХ-ийн Бүтээл №48, 2021, р52-62
5. Р.Тогоо, Н.Хишигбуян, Ж.Шинэбаяр “Correction for regular identification of high energy positive particles in expermental data using Lobachevsky space” PNAS-244 **accepted** Vol. 62 No 04 (244) 2022 он.
6. Р.Тогоо, Н.Хишигбуян, Ж.Шинэбаяр “40 ГэВ-ийн энергитэй сөрөг пионы протонтой болон нүүрстөрөгчийн цөмтэй харилцан үйлчилсэн мөргөлдөөнд илэрсэн резонансууд" МУИС физик сэтгүүл №577, 2023он, pp35-40
7. Р.Тогоо, Н.Хишигбуян, Ж.Шинэбаяр “Протон болон нүүрстөрөгчийн цөмтэй сөрөг пионы харилцан үйлчлэлээс цацарсан хоёрдогч цэнэгт бөөмсийн азимутал өнцгийн бүтцийн судалгаа ” ФТХ-ийн Бүтээл №49, 2022 он, р57-69.
8. М.Батмөнх, Р.Тогоо “Загварчлалын GEANT4 програмаар пропант (C3H8) хөөст камерт үүссэн бөөмсийн тоог өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох” ФТХ-ийн Бүтээл №49, 2022 он, р23-26.
9. Ж. Шинэбаяр, Б. Жадамба, О. Алтангоо, Р. Намжилдагва, Т. Ганбаатар, Р. Тогоо, С. Батчулуун “Кластер анализ ашиглан суралцагчдыг сурах хандлагаар ангилсан нь” Lavai-International journal of education, 2022 он 18(27) 11-22

“БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ” СЭДЭВТ СУУРЬ СУДАЛГААНЫ ТӨСЛИЙН
ТАЙЛАНД ӨГСӨН ХӨНДЛӨНГИЙН ШИНЖЭЭЧИЙН ДҮГНЭЛТ

2023-03-14

ШУА-ийн Физик технологийн хүрээлэнд 2019-2022 онуудад хэрэгжүүлсэн “БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ” сэдэвт суурь судалгааны төслийн хүрээнд ОХУ-ын ЦШНИ-ийн Их энергийн лабораторийн Синхрофазотрон хурдасгуурт 4.2 ГэВ/с хүртэл хурдассан нүүрстөрөгчийн цөмүүдийн мөргөлдөөнийг хөөст камераар бүртгэсэн болон Серпуховын Их энергийн физикийн хүрээлэнгийн хурдасгуурт 40 ГэВ/с хүртэл энергитэй болтол хурдассан π-мезоны үйлчлэлээр явагдсан туршилтын өгөгдлүүдэд анализ хийсэн байна. Мөн Сүхбаатар аймгийн II сургуулийн 9 болон 12-р ангийн суралцагчдын Англи хэл, Математик, Монгол хэлний улсын шалгалтын үр дүнгийн өгөгдлийг ашиглан, сурагчдын даалгавар гүйцэтгэл болон тест өгсөн үр дүнд кластер анализ хийн суралцагчдын сурах хандлагын зүй тогтлыг гаргасан нь цаг үеэ олсон ажил болжээ.

“Бөөмсийн кластерчлал” сэдэвт суурь судалгааны ажлын хүрээнд дотоодын эрдэм шинжилгээний сэтгүүлд нийт 7 өгүүлэл хэвлүүлж, тус төслийн гүйцэтгэгч эрдэм шинжилгээний ажилтнуудаас 2020 онд магистр 1, 2022 онд доктор 1 төрөн гарсан нь тус багийн судалгааны ажлын чансааг илтгэнэ. Түүнчлэн төслийг хэрэгжүүлсэн 4 жилийн хугацаанд “БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ” ном хэвлүүлсэн байгааг цохон тэмдэглэмээр байна. Төслийн үр дүнгийн даалгаварт 6 өгүүлэл хэвлүүлэхээр тусгасан байна. Төслийн баг суурь судалгааны төслийг хэрэгжүүлэх хугацаандаа үр дүнгийн даалгаварт гэрээлсэн ажлуудаа бүрэн биелүүлжээ.

Суурь судалгааны төслийн тайланг нэгтгэн бичихдээ бүлэг болгоны өмнө удиртгал гарган судалгааны ажлын зорилго, зорилт, гарган авах үр дүнгээ тодруулан бичсэн бол ойлгомжтой байх байжээ. Гэвч энэ нь судалгааны ажлын дүгнэлтэд нөлөөлөхүйц хүчин зүйл биш болно. Иймд дээрх төслийг өмнөө тавьсан зорилтуудаа бүрэн биелүүлсэн гэж дүгнэж байна.

Шүүмж бичсэн:



МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн
эрдэм шинжилгээний ахлах ажилтан / М.Одсүрэн/

Төслийн тайланд бичсэн шүүмж

2023-03-15

Төслийн нэр: БӨӨМСИЙН КЛАСТЕРЧЛАЛ
Төслийн төрөл: Суурь судалгааны төсөл
Үргэлжлэх хугацаа: 2019-2022
Төслийн удирдагч: Академич, доктор Р.Тогоо
Харьяалал: ШУА-ФТХ

Шүүмж

Нийт 5 бүлэг, 87 хуудас, 46 зураг, 18 хүснэгтээс тогтсон “pdf” хэлбэрээр ирүүлсэн төслийн тайлантай танилцав.

Төслийн үр дүнгийн даалгавраас харахад эрдэм шинжилгээний 6 өгүүлэл, ном 1, төслийн тайлан 1-г хүлээлгэн өгөхөөр байна. Анх төслийн гэрээг байгуулахад бүтээлийн чанарын талаар заагдсан эсэхийг шалгах, олон улсын мэдээллийн санд бүртгэлтэй, “impact factor (IF)” бүхий сэтгүүлд хэвлүүлэхээр заагдсан эсэхийг тодруулах шаардлагатай. Гүйцэтгэгчийн зүгээс үр дүнгийн даалгавраа бүрэн биелүүлсэн гэж үзсэн байна. Хэвлэгдсэн бүтээлүүдийг харахад хянан магадлагаа хийгддэг, IF-гүй дотоодын сэтгүүлд хэвлэгдсэн 7 бүтээл байна.

Хэрэв төслийн гэрээнд бүтээлийн чанарын талаар дурдаагүй бол төслийг амжилттай хэрэгжүүлсэн гэж үзэж байна.

“Бөөмсийн кластерчлал”-н талаар хийгдсэн суурь судалгааны ажлын тайланд яагаад сурагч, оюутны сургалттай холбоотой ажил орсныг сайн ойлгосонгүй.

Шүүмж бичсэн:  /Б.Мөнхбат/
D.Eng., МУИС-ХШУИС