

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ОЛИМОВ ХУСНИДДИН КОСИМОВИЧ

**4.2 А ГэВ/с ИМПУЛЬСЛИ p , d , ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}({}^{12}\text{C})$ - ВА ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -
ТҮҚНАШУВЛАРИДА МАНФИЙ ПИОНЛАР ВА $\Delta^0(1232)$ -
РЕЗОНАНСЛАР ҲОСИЛ БҮЛИШИ**

01.04.08 – Атом ядрои ва элементар заррачалар физикаси. Тезлаштирувчи техника

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

**Физика-математика фанлари доктори (DSc)
диссертацияси автореферерати мундарижаси**

**Content of the dissertation abstract of the doctor (DSc)
on physical and mathematical sciences**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора (DSc) физико-математических наук**

Олимов Хусниддин Косимович	
4.2 A ГэВ/с импульсли p, d, ^4He , $^{12}\text{C}(^{12}\text{C})$ - ва $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларыда манфий пионлар ва $\Delta^0(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлиши.....	3
Olimov Khusniddin K.	
Production of negative pions and $\Delta^0(1232)$ resonances in p,d, ^4He , $^{12}\text{C}(^{12}\text{C})$ and $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c.....	31
Олимов Хусниддин Косимович	
Образование отрицательных пионов и $\Delta^0(1232)$ -резонансов в p, d, ^4He , $^{12}\text{C}(^{12}\text{C})$ - и $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с.....	57
Эълон қилинган ишлар рўйхати	
Список опубликованных работ	
List of published works.....	69

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 РАҶАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ОЛИМОВ ХУСНИДДИН КОСИМОВИЧ

**4.2 А ГэВ/с ИМПУЛЬСЛИ p , d , ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}({}^{12}\text{C})$ - ВА ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -
ТҮҚНАШУВЛАРИДА МАНФИЙ ПИОНЛАР ВА $\Delta^0(1232)$ -
РЕЗОНАНСЛАР ҲОСИЛ БҮЛИШИ**

01.04.08 – Атом ядрои ва элементар заррачалар физикаси. Тезлаштирувчи техника

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2018.2.DSc/FM92 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация “Физика-Куёш” илмий ишлаб-чиқариш бирлашмаси Физика-техника институтидаги бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, инглиз, рус (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.inp.uz) ва “Ziyonet” Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Муминов Толиб Мусаевич
физика-математика фанлари доктори, профессор
Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси академиги

Бекмирзаев Рахматулла Нурмурадович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Бозоров Эркин Ҳожиевич
физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Қозогистон Республикаси Энергетика вазирлиги
Ядро физикаси институти, Олмаота ш.

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «___» соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек кўргони, ЯФИ; тел. (+99871) 289-31-18; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

Диссертация билан Ядро физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (______ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек кўргони, ЯФИ; тел. (+99871) 289-31-19).

Диссертация автореферати 2018 йил «___» ____ куни тарқатилди
(2018 йил “___” ____ даги ____ рақамли реестр баённомаси).

М.Ю. Ташметов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д.

Р. Ярмуҳамедов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д., профессор

И. Нуритдинов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш ҳузуридаги илмий
семинар раиси, ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Бугунги кунда жаҳонда юқори энергияли ядро-ядро-тўқнашувларининг экспериментал ва назарий тадқиқоти замонавий физиканинг долзарб фундаментал масалаларини ҳал қилишда катта аҳамиятга эга. Ядро-ядро-тўқнашувлари кичик вақт мобайнида жуда кичик ҳажмда жуда юқори энергия зичлигини ҳосил қилиш имкониятини беради. Шу жуда зич энергияли материяни ўрганиш ҳозирги замон юқори энергияли оғир ионлар тўқнашувларининг долзарб мавзуларидан бири. Тўқнашувдан олдин ядроларни деярли ёруғлик тезлигигача тезлатилган марказий AuAu- ва PbPb-тўқнашувларида ҳосил бўлган материя температураси Қуёш марказидаги температурадан 100 000 мартадан ортиқ бўлади ҳамда тадқиқотчиларга кварк-глюон плазмани ўрганишга имконият яратади. Бу марказий ядро-ядро тўқнашувларининг динамикасини тадқиқ қилиш заруратини кўрсатади.

Мамлакатимизда илм-фан ривожига, жумладан атом ядроси ва элементар заррачалар физикаси муаммоларини ҳал қилишга ҳамда фундаментал тадқиқотларни юқори ҳалқаро даражада ташкил қилишга катта эътибор берилмоқда. Мамлакатимиз илм-фан ривожи ҳамда фундаментал тадқиқот натижаларини ҳаётга татбиқ қилиш учун фундаментал тадқиқотларни муҳим йўналишлари Ўзбекистонни янада ривожлантириш бўйича 2017-2021 йиллардаги Ҳаракатлар стратегиясига киритилган.

Бугунги кунда жаҳонда ядро-ядро тўқнашувлари динамикасига оид асосий маълумот ҳосил бўлган адронларнинг ўлчанган кўндаланг импульс ва жадаллик бўйича тақсимотларини таҳлилидан келиб чиқади. Юқори энергияли ядро тўқнашувлари энергиясининг энг катта қисми пионлар ҳосил бўлишига сарфланади. Шунинг учун пион хоссаларини тадқиқ қилиш тўқнашув зонасидаги глобал ҳолатни ҳамда тўқнашув динамикасини аниқлаш учун муҳим ҳисобланади. Юқори энергияли оғир ионлар марказий тўқнашувларида туғилган пионлар кўндаланг импульс ёки энергия тақсимотларидан аниқланган температуралар ҳосил бўлган ўта зич ва иссиқ материяни кенгайишидан кейинги ҳолатини аниқлашга ёрдам беради. Бир нуклонга 1–10 ГэВли оғир ионлар тўқнашувларида пионлар ҳосил бўлишида дельта-резонанслар доминант роль ўйнайди. Релятивистик оғир ионлар тўқнашувлари таҳлили шуни кўрсатдики, дельта-резонанслар тўқнашувни бошланғич “иссиқ” фазасида ҳосил бўлади. Ҳосил бўлган материяни кейинги кенгайиш ва “совиш” фазасида, дельта-резонанслар нуклон ва пионларга емирилади. Бир нуклонга 1–15 ГэВли адрон-ядро- ва ядро-ядро-тўқнашувларида туғилган пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотларини кичик кўндаланг импульсларда кузатилган максимум асосан дельта-резонанслар емирилишларидан ҳосил бўлган пионлардан пайдо бўлгани кўрсатилган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 1 марта ПФ-4512-сон “Муқобил энергия манбаларини янада ривожлантириш чоратадбирлари тўғрисида”ги, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон “Фанлар

академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора тадбирлари түғрисида” ги Қарорларида, 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси түғрисида” ги Фармонида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-хукуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қиласи.

Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожлантиришнинг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича халқаро илмий тадқиқотлар шархи. Юқори энергияли ядровий тўқнашувларда пионлар ва Δ-резонанслар ҳосил бўлишига оид тадқиқотлар Бирлашган ядро тадқиқотлари институти (БЯТИ, Дубна, Россия), Оғир ионлар маркази (ОИМ, Дармштадт, Германия), Брукхейвен миллий лабораторияси (Брукхейвен, АҚШ), Европа ядро тадқиқотлари маркази (ЦЕРН, Женева, Швейцария), Лоуренс Беркли лабораторияси (Калифорния, АҚШ), Белград Университети табиий фанлар факультети (Белград, Сербия), Тбилиси давлат университети Юқори энергиялар физикаси институти (Тбилиси, Грузия) ва юқори энергияли ядро тўқнашувларига оид халқаро коллаборацияларга аъзо бўлган бошқа халқаро тадқиқот марказларида ўтқазилмоқда.

Юқорида кўрсатилган халқаро Юқори энергиялар физикаси марказлари ва уларга кирувчи халқаро коллаборацияларда бир нуклонга бир неча ГэВ энергияли адрон-ядро- ва ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган пионларни кўндаланг импульс, жадаллик ва энергия тақсимотларини ҳамда $\Delta(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлишини интенсив ўрганиш бўйича жаҳон миқёсида бир қатор илмий натижалар олинган, жумладан: релятивистик ядро тўқнашувларида ҳосил бўлган пионлар жадаллик тақсимотлари Гаусс функцияси кўринишида бўлиши кўрсатилган; пионлар кўндаланг импульс ва массалар марказидаги энергия тақсимотлари икки қияликтан (икки температурадан) иборат бўлиши, кичик температура улуши 80-90% ва катта температура улуши 10-20% атрофида бўлиши кўрсатилган (Бирлашган ядро тадқиқотлари институти, Дубна, Россия; Европа ядро тадқиқотлари маркази, Женева, Швейцария; Белград Университети табиий фанлар факультети, Белград, Сербия; Тбилиси давлат университети юқори энергиялар физикаси институти, Тбилиси, Грузия); бир неча A ГэВли марказий оғир ионлар тўқнашувларида ҳосил бўлувчи пионларни асосий қисми дельта-резонанслар емирилишларидан ҳосил бўлиши кўрсатилган; релятивистик адрон-ядро- ва ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta(1232)$ -резонанслар масса ва масса кенгликлари озод нуклонлар тўқнашувларидаги $\Delta(1232)$ -резонанслар масса ва масса кенгликларидан фарқ қилиши кўрсатилган (Оғир ионлар маркази, Дармштадт, Германия); юқори энергияли оғир ионлар тўқнашувларида зич адрон материясида ҳосил бўлган дельта-резонанслар параметрларини

ўзгариши термал ва изобар моделлари ёрдамида тушунтирилган ва адрон зичлиги, температураси ва бошқа ядовий факторларга боғланганлиги кўрсатилган (Оғир ионлар маркази, Дармштадт, Германия).

Дунёда пионлар ва дельта-резонанслар туғилиш жараёнлари ва механизмларини ўрганиш бўйича қуидаги устувор йўналишларда тадқиқот олиб борилмоқда: пионлар бозе-конденсатини тадқиқ қилиш; юқори энергияларда пион-нуклон ўзаро таъсирининг реалистик потенциалини қуриш; зич ядро (адрон) материясини пион ва дельта-резонанслар хоссаларига таъсирини ўрганиш; пионлар туғилиш жараёнларида дельта-резонанслар ўрнини тадқиқ қилиш.

Муаммони ўрганилганлик даражаси. Ҳозиргача етакчи ҳалқаро олимлар пионлар ва дельта-резонанслар туғилиш жараёнлари ва механизмларига оид кўплаб экспериментал ва назарий тадқиқотларни амалга оширган, бироқ қўйидаги ечилмаган муҳим муаммолар мавжуд. Серб олимлари (L. Simic, S. Backovic, D. Salihagic) томонидан 4.2 A ГэВ/с импульсли ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар жадаллик тақсимотларини тўқнашув марказийлигига боғлиқликлари тадқиқ қилинган (Бирлашган ядро тадқиқотлари институти экспериментларида, Россия, Сербия). Бироқ экспериментал статистикаси камлиги учун улар жадаллик тақсимотлар марказлари ва кенгликларини тўқнашув марказийлиги ва ядролар массасига боғлиқликларига оид аниқ бир хulosага келишмаган. Ўзбек ва россиялик олимлари (М.М. Муминов, Р.Н. Бекмирзаев, С.А. Шарипова, Е.Н. Кладницкая) томонидан 4.2 A ГэВ/с импульсли ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар жадаллик тақсимотларини уларни кўндаланг импульсларига боғлиқликлари ўрганилган (Бирлашган ядро тадқиқотлари институти экспериментларида, Россия, Ўзбекистон). Бироқ экспериментал статистикаси камлиги уларга пионлар жадаллик тақсимотларини уларнинг кўндаланг импульси ва ядро массасига боғлиқликларига оид миқдорий хulosага келишга имконият бермаган.

Хинд олимлари (G. Sau, B. De, S. Bhattacharya) томонидан юқори энергияли оғир ионлар марказий тўқнашувларида ҳосил бўлган ҳар хил заррачаларни массалар марказдаги жадаллик тақсимотларини систематик равишда тавсифлаш учун Катта комбинацион модели таклиф этилган ва унинг ёрдамида юқори энергияли PbPb хамда AuAu марказий тўқнашувларида ҳосил бўлган заррачалар, жумладан пионлар, жадаллик тақсимотларини мувваффақиятли тавсифланган (Европа ядро тадқиқотлари маркази экспериментларида, Швейцария; Релятивистик оғир ионлар коллайдери экспериментларида, АҚШ). Бироқ улар феноменологик Катта комбинацион моделида ишлатиладиган параметрларни физиковий маъносини берга олмаган.

Европа олимлари (D. Pelte, M.A. Lisa, E.L. Hjort, B. Hong) томонидан $1-2 \text{ A}$ ГэВли марказий оғир ионлар тўқнашувларида ҳосил бўлувчи пионларни асосий қисми дельта-резонанслар емирилишларидан ҳосил бўлиши кўрсатилган (Оғир ионлар маркази экспериментларида, Германия). Бироқ Бирлашган ядро тадқиқотлари институтининг 2-метрли пропан ва 1-метрли

водород пулакчали камераларидаги экспериментларида ҳосил бўлган дельта-резонансларнинг масса тақсимотлари реконструкция қилинмаган эди. Фақатгина битта илмий мақолада серб олимлари (D. Krpic, S. Backovic, L. Simic) Бирлашган ядро тадқиқотлари институтининг 4.2 A ГэВ/c импульсли карбон-карбон-тўқнашувларида ҳосил бўлган дельта-резонансларнинг масса тақсимотларини реконструкция қила олишган эди.

Серб олимлари (S. Backovic, L. Simic), грузиялик тадқиқотчилар (Л.В. Чхайдзе, Т. Джобава, Л. Хархелаури, М. Мосидзе) ва немис олими (R. Brockmann) ишларида турли массали тўқнашувчи ядроларда ва турли тўқнашув энергияларда ҳосил бўлган пионлар кўндаланг импульс ва масса марказидаги энергия тақсимотлари таҳлил қилиниб, температуралар аниқланган. Бироқ бу тўқнашувларда пионларни кўндаланг импульс ёки энергия тақсимотларининг бутун соҳадаги таҳлилидан аниқланган температураларининг тўқнашув марказийлигига боғлиқлиги топа олинмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Физика-техника институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг Ф2-Ф029 рақамли “Юқори энергияли адрон ва ядроларнинг ядролар билан тўқнашишида ядро материяси структурасини ва колектив эфектларни ўрганиш” (2007-2011), Ф2-Ф-0-42438 рақамли “Юқори энергияларда адрон ва ядроларни ядролар билан тўқнашувларида кўп заррачали ҳолатларни тадқиқ қилиш” (2012-2016) мавзуларидаги илмий лойихалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади 4.2 A ГэВ/c импульсли $p^{12}\text{C}$ - $, d^{12}\text{C}$ - $, {}^4\text{He}^{12}\text{C}$ - $, {}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ - $, {}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -тўқнашувларида манфий пионлар ва $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг ҳосил бўлиш қонуниятларини ҳамда юқоридаги тўқнашувларда ва 3.25 A ГэВ/c импульсли ${}^{16}\text{O}^-$ - ҳамда 40 ГэВ/c импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг манфий пионлар туғилишидаги ўрнини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

4.2 A ГэВ/c импульсли $p(\text{C}_3\text{H}_8)$ - $, d(\text{C}_3\text{H}_8)$ - $, \alpha(\text{C}_3\text{H}_8)$ - $, \text{C}(\text{C}_3\text{H}_8)$ -тўқнашувларидан ва 40 ГэВ/c импульсли $\pi^-(\text{C}_3\text{H}_8)$ -тўқнашувларидан маълум турдаги ноэластик ядровий тўқнашувларни ажратиш;

4.2 A ГэВ/c импульсли $p(\text{C}_3\text{H}_8)$ - $, d(\text{C}_3\text{H}_8)$ - $, \alpha(\text{C}_3\text{H}_8)$ - $, \text{C}(\text{C}_3\text{H}_8)$ -тўқнашувларида, 40 ГэВ/c импульсли $\pi^-(\text{C}_3\text{H}_8)$ -тўқнашувларида ҳамда 3.25 A ГэВ/c импульсли ${}^{16}\text{O}^-$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган қисқа трекли заррачалар ҳамда камера объективи текислигига нисбатан катта бурчакларда учган заррачалар йўқотишларини ҳисобга олиш;

4.2 A ГэВ/c импульсли $p^{12}\text{C}$ - $, d^{12}\text{C}$ - $, {}^4\text{He}^{12}\text{C}$ - $, {}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -тўқнашувларида ва 3.25 A ГэВ/c импульсли ${}^{16}\text{O}^-$ - ва 40 ГэВ/c импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар ва протонлар орасидаги бурчакларини таҳлил қилиб, $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг масса тақсимотларини қуриш;

тадқиқот қилинаётган тўқнашувларда периферик, ярим марказий ва марказий тўқнашувларни ажратиш ва таҳлил қилиш;

тадқикот қилинаётган түқнашувларда ҳамда ажратилған периферик, ярим-марказий ва марказий түқнашувларда манфий пионларнинг кўндаланг импульс ва жадаллик тақсимотларини турли назарий модель функциялари ёрдамида тавсифлаш ва таҳлил қилиш;

юқоридаги таҳлил натижаларини талқин қилиш.

Тадқикотнинг обьекти сифатида юқори энергияли адрон ва ядролар келтириб чиқарган ядровий жараёнлар олинган.

Тадқикотнинг предмети – релятивистик ядровий-түқнашувларида манфий пион ва $\Delta^0(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлиш жараёнлари.

Тадқикотнинг усуллари. Юқори энергияли ядровий түқнашувларида зарралар ҳосил бўлишига инклузив ёндашишда математик статистика усуллари ҳамда кучли магнит майдонига жойлаштирилган пуфакчали камерани релятивистик ядро ва адронлар билан нурлантирилганда олинган ахборотларни қайта ишлашга асосланган эксперимент методикаси.

Тадқикотнинг илмий янгилиги ilk бор олинган қўйидаги натижалардан иборат:

4.2 A ГэВ/c импульсли $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ - түқнашувларида ва 3.25 A ГэВ/c импульсли ${}^{16}\text{O}^-$ ва 40 ГэВ/c импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг масса ва масса кенгликлари уларнинг реконструкция қилинган масса тақсимотларини релятивистик Брейт-Вигнер функцияси билан тавсифлаш натижасида аниқланган;

4.2 A ГэВ/c импульсли $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ва 3.25 A ГэВ/c импульсли ${}^{16}\text{O}^-$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг тахминан (40-50) фоизи, 40 ГэВ/c импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -түқнашувларида эса шуларнинг тахминан 6 фоизи $\Delta^0(1232)$ -резонансларни емирилишидан ҳосил бўлгани топилган;

таҳлил қилинган түқнашувларда $\Delta^0(1232)$ -резонанслар массаларининг эркин нуклон түқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонанслар массасига нисбатан ўртача камайиш миқдори парчаланаётган ядролардаги нуклонларнинг боғланиш энергияларига тахминан тенглиги ва $\Delta^0(1232)$ -резонансларни асосан парчаланаётган ядроларнинг боғланган нуклонларида ҳосил бўлиши аниқланган;

манфий пионлар экспериментал жадаллик тақсимотларининг кенгликлари периферик $d^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларидан марказий түқнашувларга ўтганда мос равища ($8 \pm 2\%$), ($5 \pm 1\%$), ва ($15 \pm 2\%$) га камайиши ҳамда манфий пионлар экспериментал жадаллик тақсимотларининг марказлари периферик $d^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларидан марказий түқнашувларга ўтганда нишон фрагментацияси томонига мос равища -0.32 ± 0.04 ва -0.44 ± 0.02 бирликларга силжиши аниқланган;

4.2 A ГэВ/c импульсли ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” ва “қаттиқ” компоненталари температураларининг түқнашув марказийлигига ва түқнашувчи ядролар ўлчамига боғлиқликлари аниқланди ҳамда ўрганилган түқнашувлардаги пионларни кўндаланг импульс тақсимотларини

компоненталарининг температуралари орасидаги фарқ тўқнашув марказийлиги ошиши билан ўсиб бориши кўрсатилган;

$^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ ($^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$)-тўқнашувларида манфий пионларнинг “юмшоқ” p_t компонента температураси тўқнашув марказийлиги ўсиши билан мос равишда ўсиши (камайиши) хамда $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ ($^4\text{He}^{12}\text{C}$)-тўқнашувларида манфий пионларнинг “қаттиқ” p_t компонента температураси тўқнашув марказийлиги ошиши билан мос равишда ўсиши (камайиши) кўрсатилган;

4.2 A ГэВ/ c импульсли яrim-марказий ва марказий ядро-ядро тўқнашувларида тўқнашув система ўлчови ошиши билан манфий пионларнинг “юмшоқ” p_t компонента температурасини систематик камайиши хамда марказий ядро-ядро-тўқнашувларида тўқнашув система ўлчови ошиши билан манфий пионларнинг “қаттиқ” p_t компонента температурасини систематик ўсиши аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари кўйидагилардан иборат:

релятивистик адрон- ва ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар ва протонлар орасидаги бурчакларини таҳлилига асосланган, $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг масса тақсимотларини тиклаш (куриш) усули ривожлантирилган;

юқори энергияли марказий ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган адронларнинг жадаллик тақсимотларини тавсифлаш учун қўлланиладиган феноменологик Катта Комбинацион Модель (GCM) параметрларининг физикавий маъноси кўрсатиб берилган;

юқори энергияли адрон- ва ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган адронларнинг кўндаланг импульс тақсимотларини тўқнашув марказийлигига боғлиқликларини ўрганиш учун адронларнинг “юмшоқ” ва “қаттиқ” кўндаланг импульс тақсимотлари компоненталарини алоҳида таҳлил қилиш усули илк бор қўлланилган.

Олинган натижаларнинг ишончлилиги, энг аввало, катта статистикадан иборат экспериментал материал, зарралар заряди ҳамда массаларини аниқ қайд қилиниши, уларнинг чиқиш бурчаклари ва импульсларини етарли даражада аниқ ўлчаниши; олинган экспериментал натижаларни қўлланилган моделлар ёрдамида қаноатли даражада тавсифланиши ва бошқа экспериментларда турли энергияли ва турли массали ядролар тўқнашувларида олинган натижаларга мослиги билан асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ўрганилган тўқнашувларда туғилган $\Delta^0(1232)$ -резонансларга оид олинган янги фундаментал натижалар ўрта ва юқори энергияли ядрорий тўқнашувларда заррачалар ҳосил бўлишига оид халқаро маълумотлар базасини тўлдириши ҳамда ушбу тўқнашувларда ҳосил бўлган манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотларининг қияликларининг (температураларининг) тўқнашув марказийлигига аниқланган боғлиқликлари уйғонган зич ядро материясининг хоссаларини тавсифлашда қўлланилиши мумкинлиги билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти уларнинг юқори энергияли ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган ностабил резонанс заррачаларнинг масса тақсимотларини қуриш (тиклаш) учун қўлланилиши мумкинлиги; релятивистик ядро-ядро-тўқнашувларини тавсифлаш учун ишлатиладиган янги модель ва усусларни тўғрилигини текшириш ҳамда замонавий оғир ионлар теззатгичларида янги экспериментларни режалаштириш учун ишлатилиши мумкинлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Таҳлил қилинган тўқнашувларда манфий пионлар ва $\Delta^0(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлишига оид олинган натижалар асосида:

4.2 A ГэВ/c импульсли ядро-ядро-тўқнашувларида манфий пионларни кўндаланг импульс ҳамда жадаллик тақсимотларини тўқнашув марказийлиги ва ядролар массаларига боғлиқликларини аниқлангани бўйича натижалар нуфузли ҳалқаро илмий журналларда (Physical Review C, 2015; International Journal of Modern Physics E, 2015; International Journal of Modern Physics E, 2014; Physical Review C, 2013; Physical Review C, 2012; The European Physical Journal A, 2011; Central European Journal of Physics, 2011) чоп этилгани учун 2016 йилда физика-математика соҳасида нуфузли Халқаро Фанлар Академияси (TWAS, Италия) томонидан эътироф этилган;

дельта-резонанслар туғилишига ва уларни хоссаларига оид олинган янги натижалар ҳалқаро олимлар томонидан ҳалқаро илмий журналларда (Physical Review C, 2009; Physical Review C, 2011; Progress in Particle and Nuclear Physics, 2018; The Euroschool on Exotic Beams, 2018; Indian Journal of Physics, 2017) барион резонансларнинг кенг бирламчи энергия оралиғида элементар ҳамда оғир ионлар тўқнашувларида туғилиш қонуниятларини аниқлаш ва ишлатилаётган янги назарий услубларни текшириш учун, периферик СТА-тўқнашувларида Δ^0 -резонанслар ҳосил бўлишини таҳлил қилиш ҳамда релятивистик ядро-тўқнашувларида протон ва пионларнинг колектив оқимига оид натижаларни таҳлил қилиш учун фойдаланилган. Илмий-тадқиқот натижаларининг ишлатилиши протон ва пионларнинг колектив оқимига ва дельта-резонанслар параметрларини зич адрон материясида ўзгаришига оид натижаларни талқин қилишга имкон берган;

4.2 A ГэВ/c импульсли $p^{12}\text{C}$ - ва $d^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонансларни масса тақсимотларини ва уларни кинематик хоссаларини ҳамда $\Delta^0(1232)$ -резонансларни манфий пионларни туғилишидаги ролини аниқлангани бўйича натижалар нуфузли ҳалқаро илмий журналларда (Physical Review C, 2012; Physics of Atomic Nuclei, 2012; Physical Review C, 2013; International Journal of Modern Physics E, 2013; Physics of Atomic Nuclei, 2013) чоп этилгани учун 2012, 2013 йилларда Жанубни ривожлантириш бўйича Халқаро фан ва технологиялар комиссияси (COMSATS, Покистон) томонидан эътироф этилган.

Ишнинг апробацияси. Тадқиқотнинг асосий натижалари 8та ҳалқаро ва республика илмий анжуманларида мухокамадан ўтказилган.

Натижаларнинг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 33та илмий иш нашр қилинган, жумладан 20та мақола Ўзбекистон

Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган нуфузли хорижий илмий журналларида нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, олти боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 217 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг **кириш** қисмида, охирги йилларда юқори энергияли адрон-ядро- ва ядро-ядро-тўқнашувларида пионлар ва $\Delta(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлишига оид олинган асосий илмий натижалар таҳлили ва диссертация мақсади ва кўрилган асосий муаммолари келтирилган.

Диссертациянинг “**Пионларнинг ҳосил бўлишига оид ишларнинг қисқача шарҳи, экспериментал материал ва методикавий усуслар**” деб номланган биринчи бобида пионлар ҳосил бўлишига оид ишлар қисқача шарҳи, 2-метрли пропан (C_3H_8) пуфакчали камера ва тезлаштирилган ядролар дастаси, расмли ахборот таҳлили ҳақида қисқача маълумот берилган. Юқори энергиялар физикаси лабораторияси (БЯТИ, Дубна, Россия) синхрофазотрон ва тезлатгич комплекси ҳақида ҳам қисқача маълумот берилган.

1-жадвал

Битта тўқнашув ҳодисасига тўғри келувчи манфий пионлар ва иштирокчи протонлар ўртacha экспериментал сони, тўқнашувлар ноэластик кўндаланг кесимлари ва экспериментал статистика

Тўқнашув тури ва бошланғич импульс	$\langle n(\pi^-) \rangle$	$\langle n(p_{\text{partic.}}) \rangle$	Ноэластик тўқнашувлар сони	Ноэластик тўқнашувлар кўндаланг кесими (мб)
$p^{12}C, 4.2 \text{ GeV}/c$	0.36 ± 0.01	1.83 ± 0.04	6 736	265 ± 15
$d^{12}C, 4.2 A \text{ GeV}/c$	0.66 ± 0.01	1.94 ± 0.06	7 071	400 ± 20
$^4He^{12}C, 4.2 A \text{ GeV}/c$	1.02 ± 0.01	2.83 ± 0.02	11 692	450 ± 20
$^{12}C^{12}C, 4.2 A \text{ GeV}/c$	1.45 ± 0.01	4.35 ± 0.02	20 528	830 ± 50
$^{12}C^{181}Ta, 4.2 A \text{ GeV}/c$	3.50 ± 0.10	13.3 ± 0.20	2 420	3445 ± 40
$^{16}Op, 3.25 A \text{ GeV}/c$	0.30 ± 0.01	$1.93 \pm 0.02^*$	13 500	334 ± 6
$\pi^{-12}C, 40 \text{ GeV}/c$	3.22 ± 0.02	$1.00 \pm 0.01^*$	16 865	179 ± 2

*Бу ерда ҳамма протонларни ўртacha сони берилган

Таҳлил қилинган тўқнашувлар статистикаси, бошланғич импульслар, битта тўқнашув ҳодисасига тўғри келувчи манфий пионлар ва иштирокчи протонлар ўртacha экспериментал сони ва тўқнашувлар ноэластик кўндаланг кесимлари 1-жадвалда кўрсатилган.

Диссертациянинг “**Назарий моделлар ва услублар шарҳи**” деб номланган иккинчи боби релятивистик ядро тўқнашувларида ҳосил бўлган адронларнинг, шу жумладан пионларнинг, кинематик спектрларини тўғри тавсифлашда ишлатиладиган назарий моделлар ва феноменологик услубларни қисқача ёритишга бағишлиланган. Мазкур докторлик диссертациянинг экспериментал натижалари билан таққослаш учун ишлатилган такоммиллаштирилган FRITIOF Модели ҳамда Кварк-Глюон Тор Модели (ўрта энергияларга мослаштирилган) қисқача тавсифлари ҳам келтирилган.

Стандарт термал модели адронларни массалар марказидаги кинетик энергия спектрларини қўйидагича тавсифлашни башорат қиласди:

$$\frac{dN}{N p E dE_k} = A \cdot \exp\left(-\frac{E_k}{T}\right), \quad (1)$$

бу ерда p , E , ва E_k түқнашувчи ядроларнинг массалар маркази системасида адроннинг мос равишида импульси, тўлиқ энергияси ва кинетик энергияси. Юқоридаги (1) формула мазкур ишда бир температурали оддий экспоненциал функция деб аталган. Икки T_1 ва T_2 температура мавжудлигида, юқоридаги формула қўйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{dN}{N p E dE_k} = A_1 \cdot \exp\left(-\frac{E_k}{T_1}\right) + A_2 \cdot \exp\left(-\frac{E_k}{T_2}\right), \quad (2)$$

бу формула мазкур ишда икки температурали оддий экспоненциал функция деб аталган.

Хагедорн Термодинамик Модели ҳосил бўлган “файрболлар” дастасини жадаллик бўйича фазода бир-биридан силжишига имкон беради. Бу моделда ҳар хил импульсли зарралар тинч ҳолат тизимида ҳисобланганда универсал бўлган ҳажм доирасида ҳосил бўлади. Бу модел зарралар p_t (кўндаланг импульс) тақсимотини қўйидагича тавсифланишини башорат қиласди:

$$\frac{dN}{dp_t} = A \cdot p_t \cdot m_t \cdot K_1\left(\frac{m_t}{T}\right) \approx A \cdot p_t \cdot (m_t T)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T}\right), \quad (3)$$

бу формула иккита температура мавжудлигида қўйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{dN}{dp_t} \approx A_1 \cdot p_t \cdot (m_t T_1)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_1}\right) + A_2 \cdot p_t \cdot (m_t T_2)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_2}\right), \quad (4)$$

бу ерда K_1 МакДональд функцияси, $m_t = \sqrt{m^2 + p_t^2}$ кўндаланг масса, (3) ва (4) яқинлашувлари $m_t \gg T$ бўлган ҳолат учун ўринли. Хагедорн Термодинамик Моделида адронларнинг нормировка қилинган кўндаланг импульс тақсимоти қўйидагича ифодаланиши мумкин:

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A \cdot (m_t T)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T}\right), \quad (5)$$

бу ерда N - ёки ноэластик тўқнашувлар умумий сони, ё ҳосил бўлган адронлар умумий сони, $m_t = \sqrt{m^2 + p_t^2}$ кўндаланг масса, T -спектрал температура ва A -фит қилиш коэффициенти. Бу (5) функцияси мазкур ишда бир температурали Хагедорн функцияси деб аталган. Бу формула иккита T_1 ва T_2 температура мавжудлигида қўйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A_1 \cdot (m_t T_1)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_1}\right) + A_2 \cdot (m_t T_2)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_2}\right). \quad (6)$$

Больцман Моделига асосланиб, адронларни кўндаланг импульс спектрлари қуидаги m_t Больцман функцияси ёрдамида тавсифланиши мумкин:

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A m_t \exp\left(-\frac{m_t}{T}\right), \quad (7)$$

бу формула мазкур ишда бир температурали Больцман функцияси деб аталган. Иккита T_1 ва T_2 температура мавжудлигида, юкоридаги формула қуидагича кўринишни олади:

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A_1 \cdot m_t \exp\left(-\frac{m_t}{T_1}\right) + A_2 \cdot m_t \exp\left(-\frac{m_t}{T_2}\right), \quad (8)$$

мазкур формула диссертация ишида икки температурали Больцман функцияси деб аталган.

Тўқнашувчи энергияларнинг кенг оралиғида ядро-ядро-тўқнашувларида ҳосил бўлган пионлар жадаллик тақсимотлари Гаусс функцияси кўринишида бўлиши кўрсатилган. Пионларнинг экспериментал жадаллик тақсимотлари қуидаги Гаусс тақсимоти функцияси ёрдамида тавсифланиши мумкин:

$$F(y) = \frac{A_0}{\sigma} \exp\left(-\frac{(y - y_0)^2}{2 \sigma^2}\right), \quad (9)$$

бу ерда σ – тақсимотни стандарт силжиши –мазкур ишда тақсимот кенглиги деб аталган, y_0 – Гаусс тақсимоти маркази ва A_0 – фит қилинадиган коэффициент.

Тўқнашув параметрини ўлчашга имкон бўлмагани сабабли, биз мазкур диссертацияда тўқнашув марказийлигини белгилаш учун иштирокчи протонлар (N_p) сонини ишлатдик. Иштирокчи протонлар сони $N_p \leq \langle n_{part,prot} \rangle$, $\langle n_{part,prot} \rangle < N_p < 2\langle n_{part,prot} \rangle$ ва $N_p \geq 2\langle n_{part,prot} \rangle$ бўлган тўқнашув ҳодисаларини биз мос равища периферик, яrim марказий ва марказий тўқнашувлар деб олдик, бу ерда $\langle n_{part,prot} \rangle$ бир тўқнашув ҳодисасига тўғри келувчи иштирокчи протонларнинг ўртача сони.

Диссертациянинг “ $\Delta^0(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлиши” деб номланган учинчи боби $4.2 A$ ГэВ/с импульсли $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -тўқнашувларида ва $3.25 A$ ГэВ/с импульсли ${}^{16}\text{O}p$ - ва $40 A$ ГэВ/с импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -тўқнашувларида $\Delta^0(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлиши таҳлилига бағишлиган. Мазкур тўқнашувларда ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг инвариант масса тақсимотлари тўқнашувларда ҳосил бўлган манфий пионлар ва протонлар орасидаги бурчакларни таҳлил қилиш услуби ёрдамида муваффақиятли реконструкция қилинди.

Мустақил ядро-ядро-тўқнашувлари моделида, Δ -резонанслар асосан $NN \rightarrow \Delta N$ реакциясида ҳосил бўлади, бу реакция пионларни тўғридан тўғри

хосил бўлиш $NN \rightarrow NN\pi$, $NN \rightarrow NN\pi\pi$ реакциялари билан рақобатда бўлади. Мазкур оддий моделда Δ^{++} -резонанслар қуидаги реакцияда хосил бўлади:

$$pp \rightarrow \Delta^{++} n + k\pi \quad (k = 0, 1, \dots), \quad (10)$$

бундан сўнг дарров $\Delta^{++} \rightarrow p\pi^+$ емирилиш реакцияси кузатилади ва Δ^0 -резонанси қуидаги реакцияда хосил бўлади:

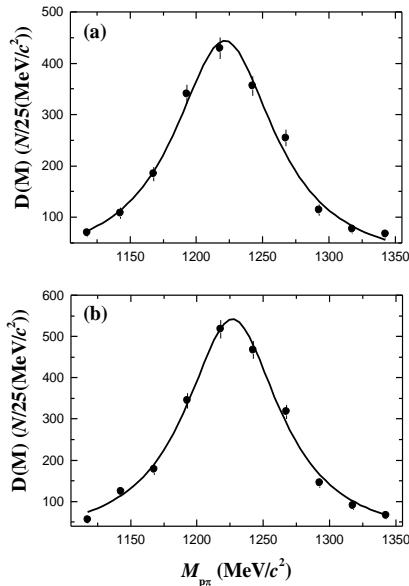
$$NN \rightarrow \Delta^0 N + k\pi \quad (k = 0, 1, \dots), \quad (11)$$

бундан сўнг дарров $\Delta^0 \rightarrow p\pi^-$ емирилиш реакцияси кузатилади. Δ^0 - ва Δ^{++} -реонанслар ҳосил бўлишини таҳлили учун ҳодисаларда кузатилган зарядланган пионлар ва протонлардан фойдаланилган.

Таҳлил қилинган тўқнашувлардаги $p\pi$ -жуфтликларининг экспериментал ва фон инвариант масса тақсимотлари фарқи - $D(M)$ тақсимоти қуидаги релятивистик Брейт-Вигнер функцияси билан тавсифланган:

$$b(M) = C \frac{\Gamma M M_\Delta}{(M^2 - M_{\Delta}^2)^2 + \Gamma^2 M_{\Delta}^2}, \quad (12)$$

бу ерда M_Δ – ва Γ – резонанс массаси ва масса кенглиги, C – нормировка коэффициенти.



1-расм. 40 ГэВ/с импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -тўқнашувларида $p\pi^+$ (a)- ва $p\pi^-$ (b)-жуфтликлари экспериментал ва фон инвариант масса тақсимотлари орасидаги фарқ тақсимотлари (●) ва уларни Брейт-Вигнер функцияси билан фитлари (узлуксиз эгри чизик)

40 ГэВ/с импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -тўқнашувларида $p\pi^+$ - ва $p\pi^-$ -жуфтликлари экспериментал ва фон инвариант масса тақсимотлари орасидаги фарқ

тақсимотлари ва уларни Брейт-Вигнер функцияси билан фитлари 1-расмда күрсатилган.

Таҳлил қилингандай түқнашувларда ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг ҳисобланган масса, масса кенгликлари ҳамда $\Delta^0(1232)$ -резонанслар емирилишидан ҳосил бўлган манфий пионлар улуши 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Таҳлил қилингандай түқнашувларда ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг ҳисобланган масса, масса кенгликлари ҳамда $\Delta^0(1232)$ -резонанслар емирилишидан ҳосил бўлган манфий пионлар улуши ($R(\Delta^0 / \pi^-)$)

Реакция, p_0	M (МэВ/ c^2)	Γ (МэВ/ c^2)	$R(\Delta^0 / \pi^-)$ (%)
$d^{12}\text{C}, 4.2 A$ ГэВ/ c	1230 ± 4 $^{+3}_{-6}$	90 ± 14 $^{+19}_{-24}$	30 ± 2 $^{+6}_{-7}$
$p^{12}\text{C}, 4.2$ ГэВ/ c	1222 ± 5 $^{+10}_{-14}$	89 ± 14 $^{+32}_{-43}$	39 ± 3 $^{+10}_{-7}$
$\pi^{-}{}^{12}\text{C}, 40$ ГэВ/ c	1226 ± 3	87 ± 7	6 ± 1
$^{16}\text{O}p, 3.25 A$ ГэВ/ c	1224 ± 4	96 ± 10	41 ± 4
$\alpha^{12}\text{C}, 4.2 A$ ГэВ/ c	1227 ± 2	103 ± 6	48 ± 3
$^{12}\text{C}^{12}\text{C}, 4.2 A$ ГэВ/ c	1230 ± 4	93 ± 8	50 ± 5
$^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}, 4.2 A$ ГэВ/ c	1224 ± 1	86 ± 5	64 ± 4

Таққослаш учун, FOPI (Дармштадт, Германия) коллаборациясининг 1 ва 2 A ГэВ энергиялар оралиғидаги деярли марказий Ni+Ni- ва Au+Au-түқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta(1232)$ -резонанслар масса тақсимотлари кенгликлари ва массаларининг ўртача силжишлари (эркин нуклонлар түқнашувида ҳосил бўлган $\Delta(1232)$ -резонанслар параметрларига ($M = 1232$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 115$ МэВ/ c^2) нисбатан) 3-жадвалда келтирилган.

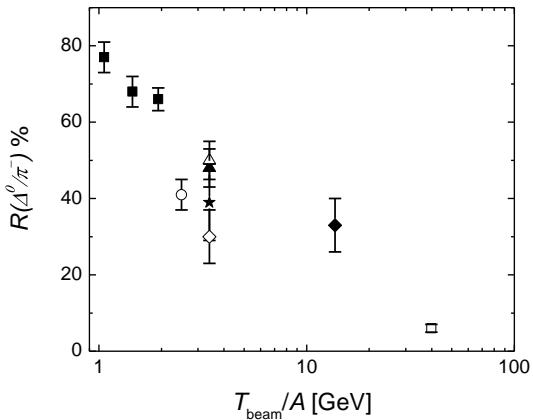
3-жадвал

1 ва 2 A ГэВ энергиялар оралиғидаги деярли марказий Ni+Ni- ва Au+Au-түқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta(1232)$ -резонансларнинг масса тақсимоти кенгликлари ва массалари ўртача силжишлари (эркин нуклонлар түқнашувида ҳосил бўлган $\Delta(1232)$ -резонанслар массасига ($M = 1232$ МэВ/ c^2 , $\Gamma = 115$ МэВ/ c^2) нисбатан)

Т. Тури	$\langle \Delta m_{\Delta} \rangle$ (МэВ/ c^2)	$\langle \Gamma_{\Delta} \rangle$ (МэВ/ c^2)
Ni+Ni, 1.06AГэВ	-59 ± 10	48 ± 5
Ni+Ni, 1.45AГэВ	-52 ± 10	49 ± 5
Ni+Ni, 1.93AГэВ	-59 ± 10	48 ± 5
Au+Au, 1.06AГэВ	-78 ± 10	44 ± 5

2- ва 3-жадвалдан, енгил карбон ва кислород ядролари билан түқнашувларга қараганда, деярли марказий оғир ионлар (Ni+Ni- ва Au+Au-) түқнашувларида ҳосил бўлган Δ -резонансларнинг масса ва масса кенгликлари анча кўпроқ камайиши кузатилди. Бунга эҳтимол сабаб бу деярли марказий оғир ионлар түқнашувида ўта зич ядрорий материя пайдо бўлиши ва унда Δ -резонанслар параметрларини кескин ўзгариши. 2-жадвалдан кўриниб

турибиди, юқоридаги $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, $^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ва $3.25 A$ ГэВ/ c импульсли $^{16}\text{O}p$ - ва $40 \text{ГэВ}/c$ импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -түқнашувларда кузатилган $\Delta^0(1232)$ -резонансларни масса силжишлари хатоликлар доирасида нуклонларнинг ядролардаги ўртача боғланиш энергиясига тенгдир.



(◊) – $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли $d^{12}\text{C}$ -түқнашуви учун ($T_{\text{beam}} \approx 3.4 A$ ГэВ); (★) – $4.2 \text{ ГэВ}/c$ импульсли $p^{12}\text{C}$ -түқнашуви учун ($T_{\text{beam}} \approx 3.4 A$ ГэВ); (○) – $3.25 A$ ГэВ/ c импульсли $^{16}\text{O}p$ -түқнашуви учун ($T_p \approx 2.5$ ГэВкислород тинч системасида); (■) – $1.06, 1.45$ ва $1.93 A$ ГэВли марказий NiNi-түқнашувлари учун; (◆) – $p_{\text{lab}} = 14.6 A$ ГэВли марказий $^{28}\text{SiPb}$ -түқнашувлари учун ($T_{\text{beam}} \approx 13.7 A$ ГэВ); (▲) ва (△) – $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли $^4\text{He}^{12}\text{C}$ -ва $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -түқнашувлари учун ($T_{\text{beam}} \approx 3.4 A$ ГэВ); (□) – $40 \text{ ГэВ}/c$ импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -түқнашувлари учун ($T_{\text{beam}} \approx 39.9$ ГэВ)

2-расм. $\Delta^0(1232)$ емирилишидан ҳосил бўлган манфий пионлар улушларининг дастани бир нуклонига тўғри келувчи кинетик энергиясига боғлиқлиги

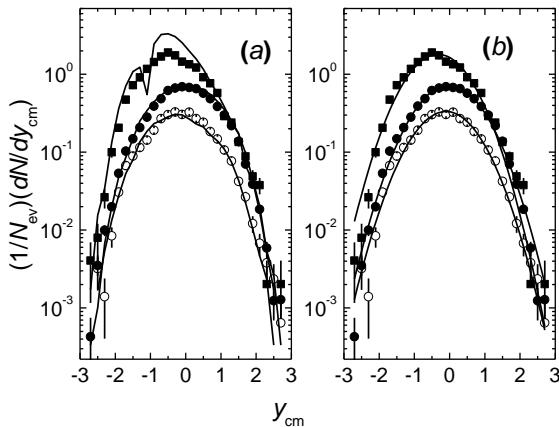
Таҳлил қилинган түқнашувларда $\Delta^0(1232)$ емирилишидан пайдо бўлган манфий пионлар улушларини марказий оғир ионлар түқнашувларида $\Delta^0(1232)$ емирилишидан пайдо бўлган манфий пионлар улушлари билан таққоси 2-расмда кўрсатилган.

2-расмдан $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, $^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ва $3.25 A$ ГэВ/ c импульсли $^{16}\text{O}p$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларни тахминан (40-50)% ва $40 \text{ ГэВ}/c$ импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -түқнашувларида эса манфий пионларни тахминан 6% $\Delta^0(1232)$ -резонанслар емирилишидан пайдо бўлганлиги кўриниб турибди. Бунга сабаб 40 ГэВ дек юқори энергияларда бошқа оғир резонанслар ва ρ^0 -, ω^0 - ҳамда f^0 -мезонлар ҳосил бўлиш эҳтимолликларини ўсишидир.

Диссертациянинг “**4.2 A ГэВ/ c импульсли AA-түқнашувларида манфий пионларнинг жадаллик тақсимотлари**” деб номланган тўртинчи боб $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли $d+^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар жадаллик тақсимотларини снаряд ва нишон ядро массаларига ва түқнашув марказийлик даражасига боғлиқликларини таҳлил қилишга бағишиланган. Шунингдек бу бобда $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли марказий $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг

жадаллик тақсимотининг Катта Комбинацион Модель (GCM) ёрдамида феноменологик таҳлили келтирилган.

4.2 A ГэВ/c импульсли $d+^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар экспериментал ва QGSM жадаллик тақсимотлари ҳамда ушбу спектрларни (9)чи тенгламада берилган Гаусс функцияси билан фитлари 3-расмда келтирилган. 4.2 A ГэВ/c импульсли $d+^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар ва иштирокчи протонлар ўртача кинематик характеристикалари 4-жадвалда берилган.



3-расм. 4.2 A ГэВ/c импульсли $d+^{12}\text{C}$ (○)- $, ^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ (●)-ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ (■)-түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар экспериментал жадаллик тақсимотлари. Мос равиша QGSM спектрлари (a) ва Гаусс функция ёрдамида фитлар (b) узлуксиз чизиклар тариқасида берилган. Ҳамма спектрлар 4.2 ГэВ/c импульсли нуклон-нуклон-түқнашуви масса маркази системасида кўрсатилган

4-жадвал

4.2 A ГэВ/c импульсли $d+^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ - ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар ва иштирокчи протонлар ўртача кинематик характеристикалари

T. тури		$\langle n(\pi^-) \rangle$	$\langle n_{part,prot.} \rangle$	$\langle y_{cms} \rangle$	$\langle p_t(\pi^-) \rangle, \text{ GeV}/c$
$d+^{12}\text{C}$	Экспер.	0.66 ± 0.01	1.95 ± 0.02	-0.12 ± 0.01	0.252 ± 0.003
	QGSM	0.64 ± 0.01	1.86 ± 0.01	-0.17 ± 0.01	0.222 ± 0.002
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$	Экспер.	1.45 ± 0.01	4.35 ± 0.02	-0.016 ± 0.005	0.242 ± 0.001
	QGSM	1.59 ± 0.01	4.00 ± 0.02	0.007 ± 0.005	0.219 ± 0.001
$^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$	Экспер.	3.50 ± 0.10	13.3 ± 0.2	-0.34 ± 0.01	0.217 ± 0.002
	QGSM	5.16 ± 0.09	14.4 ± 0.2	-0.38 ± 0.01	0.191 ± 0.001

5-жадвалда 4.2 A ГэВ/c импульсли марказий ва периферик $d+^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ - ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -түқнашувлари экспериментал ва QGSM спектрларини Гаусс функцияси билан тавсифлаш натижасида олинган параметрлари кўрсатилган.

5-жадвалдаги $\chi^2/\text{n.d.f.}$ миқдорларидан күриниб турибдики, ҳамма спектрлар (QGSM спектрларидан ташқари) (9)чи тенгламада берилган Гаусс функцияси билан яхши тавсифланган.

5-жадвал

4.2 A ГэВ/с импульсли $d+^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ - ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -марказий ва периферик түқнашувлари экспериментал ва QGSM спектрларини Гаусс функцияси билан (тенглама (9)) тавсифлаш натижасида олинган параметрлари

Type		A_0	σ	y_0	$\chi^2/\text{n.d.f.}$
$d+^{12}\text{C}$ Марказий	Экспер.	0.52 ± 0.02	0.74 ± 0.02	-0.29 ± 0.03	1.26
	QGSM	0.55 ± 0.01	0.77 ± 0.01	-0.32 ± 0.02	1.99
$d+^{12}\text{C}$ Периферик	Экспер.	0.178 ± 0.004	0.80 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.86
	QGSM	0.176 ± 0.003	0.80 ± 0.01	-0.10 ± 0.01	2.79
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ Марказий	Экспер.	1.44 ± 0.02	0.774 ± 0.006	-0.021 ± 0.009	2.52
	QGSM	1.63 ± 0.02	0.794 ± 0.006	0.009 ± 0.009	2.97
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ Периферик	Экспер.	0.274 ± 0.003	0.813 ± 0.006	-0.008 ± 0.009	2.76
	QGSM	0.289 ± 0.004	0.797 ± 0.006	-0.006 ± 0.009	7.32
$^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ Марказий	Экспер.	3.10 ± 0.07	0.68 ± 0.01	-0.52 ± 0.01	3.63
	QGSM	4.02 ± 0.09	0.66 ± 0.01	-0.48 ± 0.01	21.06
$^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ Периферик	Экспер.	0.59 ± 0.01	0.81 ± 0.01	-0.08 ± 0.02	2.82
	QGSM	0.70 ± 0.01	0.78 ± 0.01	-0.09 ± 0.02	7.19

Манфий пионларнинг экспериментал жадаллик тақсимотлари кенгликлари периферик $d+^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларидан марказий түқнашувларга ўтганда мос равища $(8\pm 2)\%$, $(5\pm 1)\%$, ва $(15\pm 2)\%$ камайиши күриниб турибди. Шунингдек манфий пионлар экспериментал жадаллик тақсимотлари марказлари периферик $d+^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларидан марказий түқнашувларга ўтганда нишон фрагментация оралиғи томон мос равища -0.32 ± 0.04 ва -0.44 ± 0.02 бирликларга силжиши аниқланды. $d+^{12}\text{C}$ - ва $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ -марказий түқнашувларида жадаллик тақсимотлар марказларини шундай силжиши снаряд ядроидан катта бўлган нишон ядроидаги сочилиш эфектларини түқнашув марказийлиги ошганда ортиши билан изоҳласа бўлади.

Түқнашув системалари симметрик бўлгани боис, 4.2 A ГэВ/с импульсли марказий $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг жадаллик тақсимоти кенглиги 20 A ва 30 A ГэВли марказий Pb+Pb-түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларни жадаллик тақсимотлари кенгликлари билан таққосланди (6-жадвал). 5- ва 6-жадваллардан күриниб турибдики, марказий $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар жадаллик тақсимоти кенглиги марказий Pb + Pb-түқнашувларидаги манфий пионларнинг кенгликларидан кичикроқдир. Бу эса кенгликларни бирламчи энергия ошиши билан секин ортишидан далолат беради.

Катта Комбинацион Модели (GCM) симметрик бир хил ядролар тўқнашувларида ҳосил бўлган зарралар жадаллик тақсимотларини куйидагича тавсифланишини башорат қиласди:

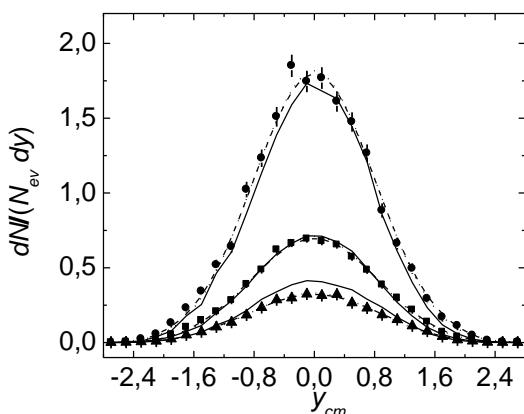
$$\left. \frac{dN}{N_{ev} dy} \right|_{AA \rightarrow QX} = C(AA)^{\beta y + \gamma y^2} \left(1 + \exp \frac{|y| - y_0}{\Delta} \right)^{-1}, \quad (13)$$

6-жадвал

20 A ва 30 A ГэВли марказий Pb + Pb-тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар ва зарядланган каонларни жадаллик тақсимотларини Гаусс функцияси билан тавсифлаш натижасида NA49 коллаборацияси томонидан олинган кенгликлари

Тур	Марказий Pb+Pb-тўқнашувлари	
	20 A ГэВ	30 A ГэВ
π^-	0.837 ± 0.007	0.885 ± 0.007
K^+	0.601 ± 0.012	0.722 ± 0.026
K^-	0.642 ± 0.035	0.710 ± 0.032

бу ерда β - ва γ -параметрлари ҳар бир тўқнашув система ва бирламчи энергия учун мос экспериментал спектрларни юқоридаги функция билан тавсифлаш натижасида аниқланади.



4-расм. 4.2 A ГэВ/c импульсли ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ ГэВ) марказий (●) ва периферик (▲) ва барча (■) $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида манфий пионларни экспериментал ва такомиллаштирилган ФРИТИОФ модели ёрдамида (узлуксиз чизиклар) хисобланган жадаллик тақсимотлари ва уларни (13) функцияси билан тавсифланишлари (икки ҳолат учун: фит давомида $\beta = 0$, $\Delta = 0.55$ ўзгармаган (нуқтали чизиклар) ва фақат $\beta = 0$ параметри ўзгарган (узилган чизиклар)). Барча спектрлар бир ноэластик тўқнашув ҳодисасига нормировка қилинган

Таҳлил қилинган экспериментал жадаллик тақсимотлари ва уларни (13) функцияси билан тавсифланишлари (икки ҳолат учун: фит давомида $\beta = 0$, $\Delta = 0.55$ ўзгармаган ва фақат $\beta = 0$ параметри ўзгарган) 4-расмда кўрсатилган. 4-расм манфий пионларнинг экспериментал ва модел тақсимотлари функция (13) билан яхши тавсифланишини кўрсатади.

4.2 A ГэВ/c импульсли ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ ГэВ) марказий, периферик ва барча $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида манфий пионларнинг жадаллик тақсимотларини (13) функция билан тавсифлаш натижасида олинган параметрлар (фит давомида $\beta = 0$ ўзгармаган) 7-жадвалда кўрсатилган.

7-жадвал

4.2 A ГэВ/c импульсли ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ ГэВ) марказий, периферик ва барча $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида манфий пионларни жадаллик тақсимотларини (13) функция билан тавсифлаш натижасида олинган параметрлар (фит давомида $\beta = 0$ ўзгармаган)

Т. Тури	Тур	C	γ	y_0	Δ	$\chi^2/n.d.f.$
Барча тўқнашувлар	Эксперимент	0.69±0.01	-0.140±0.003	2.22±0.05	0.22±0.03	2.72
	Таком. ФРИТИОФ	0.72±0.01	-0.152±0.005	2.08±0.08	0.33±0.04	4.70
Марказий т. ~ (0–10)%	Эксперимент	1.80±0.03	-0.155±0.004	2.33±0.05	0.11±0.04	1.12
	Таком. ФРИТИОФ	1.73±0.02	-0.166±0.008	2.26±0.13	0.31±0.10	1.74
Периферик ~ (40–100)%	Эксперимент	0.32±0.01	-0.127±0.008	2.10±0.11	0.26±0.06	0.94
	Таком. ФРИТИОФ	0.41±0.01	-0.147±0.007	2.03±0.09	0.29±0.04	1.72

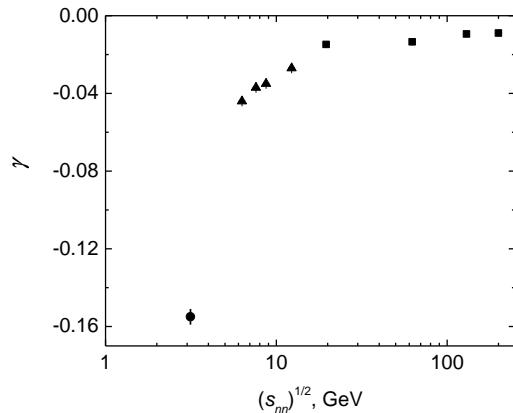
Ҳар хил SPS ва AGS энергияларда Г. Сау томонидан марказий Pb+Pb-тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг жадаллик тақсимотларини (13) функция ёрдамида тавсифлаш натижасида ($\beta = 0$, $\Delta \approx 0.55$) олинган параметрлар 8-жадвалда кўрсатилган. 7- ва 8-жадвалларни таққослаганда, марказий $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ ГэВ) олинган γ параметри SPS ва AGS энергияларда марказий Pb+Pb-тўқнашувларида ($\sqrt{s_{nn}} \geq 6.3$ ГэВ) олинган γ параметрларидан ўртача ҳисобда тўрт баробар кичик бўлгани кузатилди.

8-жадвал

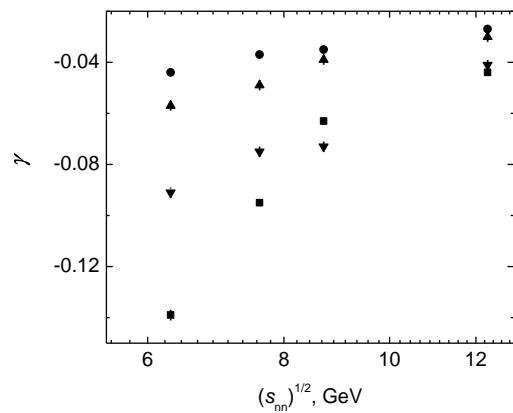
Ҳар хил SPS ва AGS энергияларда Г. Сау томонидан марказий Pb+Pb-тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларни жадаллик тақсимотларини (13) функция ёрдамида тавсифлаш натижасида ($\beta = 0$, $\Delta \approx 0.55$) олинган параметрлар

$\sqrt{s_{nn}}$ (ГэВ)	6.3	7.6	8.7	12.3
γ	-0.044±0.0003	-0.037±0.0003	-0.035±0.0003	-0.027±0.0002

Бу эса γ параметрини тўқнашув энергияси $\sqrt{s_{nn}}$ камайиши билан камайиш тенденциясини кўрсатади. 5-расмда кузатилган пионлар γ параметрларининг тўқнашув энергиясига боғлиқлиги уни асимптотик ($\sqrt{s_{nn}} \rightarrow \infty$ бўлганда $\gamma \rightarrow 0$) яқинлашувидан далолат беради.



5-расм. Пионларни марказий $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ (●)-, марказий Pb+Pb(▲)- ва марказий Au+Au(■)-тўқнашувлари (Г. Сау ва бошқалар) учун олинган γ параметрларини тўқнашув энергиясига боғлиқлиги. Тахлил қилинган тўқнашувлар $\sim (0-10)\%$ марказийлик даражасига мос келади

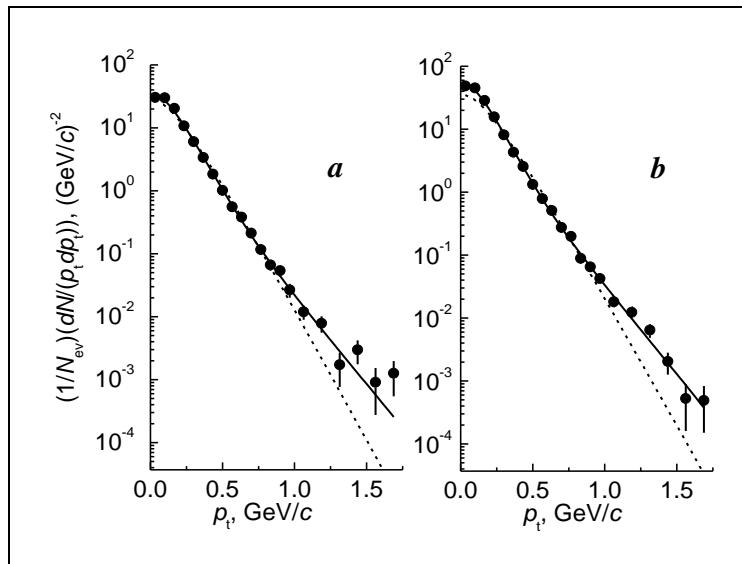


6-расм. Манфий пионларни (●), K^+ (▲), K^- (▼) ва ϕ -мезонларни (■) ҳар хил SPS ва AGS энергияли марказий Pb+Pb-тўқнашувларида экспериментал жадаллик тақсимотларини (13) функция ёрдамида тавсифлаш натижасида олинган γ параметрларининг (Г. Сау ва бошқалар) тўқнашув энергиясига боғлиқлиги

5-расмда марказий $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ ГэВ) олинган γ параметри SPS ва AGS энергияларда марказий Pb+Pb-тўқнашувларида ($\sqrt{s_{nn}} \geq 6.3$ ГэВ) олинган γ параметрлари орасида катта тафовут кузатиласпти. Бу тафовут Квант Хромодинамикаси ҳисоблашларига кўра

материяни оддий адрон ҳолатидан кварк-глюон материясига фазовий ўтиши $\sqrt{s_{nn}} \approx 5$ ГэВ энергияда башорат қилиниши билан мос тушади. 6-расмда ϕ -мезон ва бошқа зарралар учун олинган γ параметрлари орасидаги фарқ ϕ -мезон ($s\bar{s}$) ҳосил бўлиши учун енгил i ва d кваркларидан анча оғир бўлган ғалати кварк ва антикварк ҳосил бўлиши кераклиги (бу кварклар тўқнашувчи ядроларда мавжуд эмас) билан изоҳласа бўлади. Параметр $\gamma \leq 0$ ва чекланган жадалликлар учун $(AA)^{\gamma_y^2}$ фактори ўзининг максимал 1 қийматига $\gamma=0$ бўлганда эришади. Демак $\gamma \approx 0$ бўлганда марказий тўқнашувларда тўқнашувчи ядроларнинг эҳтимол барча нуклонлари деадронизация бўлганидан ва бутун тўқнашувчи система максимал энергия зичлигига эришгани ва кварк-глюон плазма ҳолатига ўтганидан далолат бериши мумкин.

Диссертациянинг “4.2 A ГэВ/ c импульсли AA -тўқнашувларида манфий пионларнинг спектрал температуралари” деб номланган бешинчи боб $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли $d^{12}\text{C}$ -, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ - ва ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар спектрал температураларини тадқиқ қилишга бағишлиланган. $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионлар спектрал температураларини уларни жадаллик ва чиқиш бурчакларига боғлиқликлари ҳам ўрганилган.



7-расм. 4.2 A ГэВ/ c импульсли ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ (a)-ва ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ (b)-тўқнашувларида ҳосил бўлган π^- -мезонларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари ва уларни (5) ва (6)чи тенгламаларда берилган бир (узулган чизик) ва икки температурали (узлуксиз чизик) Хагедорн функцияси билан тавсифланишлари

7-расмда $4.2 A$ ГэВ/ c импульсли ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ - ва ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган π^- -мезонларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари ва уларни бир ва икки температурали Хагедорн функцияси билан тавсифланишлари кўрсатилган. 7-расм экспериментал p_t спектрларни икки температурали

Хагедорн функцияси билан жуда яхши тавсифланишини күрсатади. Бир температурали Хагедорн функцияси экспериментал спектрларини тавсифлаш олмаслигини күрсатади, айниңса бу функция экспериментал спектрларни $p_t > 0.8$ соҳада сезиларли камайтиради. Пион спектрларини икки температурали формаси бошқа турли массали релятивистик ядролар түқнашувларида ҳам илгари кузатилган. Мазкур ишда манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотларини икки температурали Хагедорн функцияси билан тавсифлаш натижасида олинган спектрал температуралари (T_1, T_2) ва уларнинг улушлари (R_1, R_2) 9-жадвалда кўрсатилган.

9-жадвал

Мазкур ишда таҳлил қилинган түқнашувларда манфий пионларни кўндаланг импульс тақсимотларини икки температурали Хагедорн функцияси билан тавсифлаш натижасида олинган спектрал температуралари (T_1, T_2) ва уларни улушлари (R_1, R_2). С. Бакович ва бошқалар олган натижалар таққослаш учун келтирилган

Тур		T_1 , МэВ	R_1 , %	T_2 , МэВ	R_2 , %	$\chi^2 / n.d.f.$
$d^{12}\text{C}$	Мазкур иш	83 ± 6	89 ± 16	155 ± 21	11 ± 11	0.37
	Бакович ва б.	89 ± 4	91 ± 7	190 ± 33	9 ± 7	0.57
$^4\text{He}^{12}\text{C}$	Мазкур иш	84 ± 5	89 ± 14	149 ± 17	11 ± 10	0.73
	Бакович ва б.	94 ± 6	85 ± 11	173 ± 22	15 ± 11	0.54
$^{12}\text{C}^{12}\text{C}$	Мазкур иш	78 ± 4	87 ± 14	146 ± 9	13 ± 6	0.69
	Бакович ва б.	83 ± 3	79 ± 6	145 ± 7	21 ± 6	0.72

С. Бакович ва бошқалар пионларнинг ноинвариант энергия спектрларини масса маркази системасида икки температурали Максвел Больцман тақсимот функцияси билан тавсифлаш натижасида олган параметрлари бизнинг натижаларимиз билан таққослаш учун 9-жадвалда кўрсатилган. 9-жадвал манфий пионларнинг p_t спектрларига асосий ҳисса ($R_1 \sim 90\%$) кичик $T_1 \sim 78\text{--}84$ МэВ температураси қўшгани, катта $T_2 \sim 146\text{--}155$ МэВ температура эса кичик ($R_2 \sim 10\%$) ҳисса берганини кўрсатади.

Диссертациянинг “4.2 A ГэВ/с импульсли AA -түқнашувларида манфий пионларни p_t тақсимотларининг түқнашув марказийлигига ва ядро массаларига боғлиқликлари” деб номланган олтинчи бобида $4.2 A$ ГэВ/с импульсли ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ ГэВ) ядро-ядро- түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари қияликларини (спектрал температураларини) түқнашув марказийлиги ва түқнашувчи ядролар ўлчамига боғлиқликлари таҳлил қилинган. Бир нуклонга 4.2 ГэВ/с импульсли марказий, ярим марказий ва периферик $^4\text{He} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ - ва $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларнинг улушки (эксперимент ва Кварк-Глюон Тор Модели (QGSM) учун, түқнашув умумий ноэластик кўндаланг кесимига (σ_{in}) нисбатан) 10-жадвалда кўрсатилган.

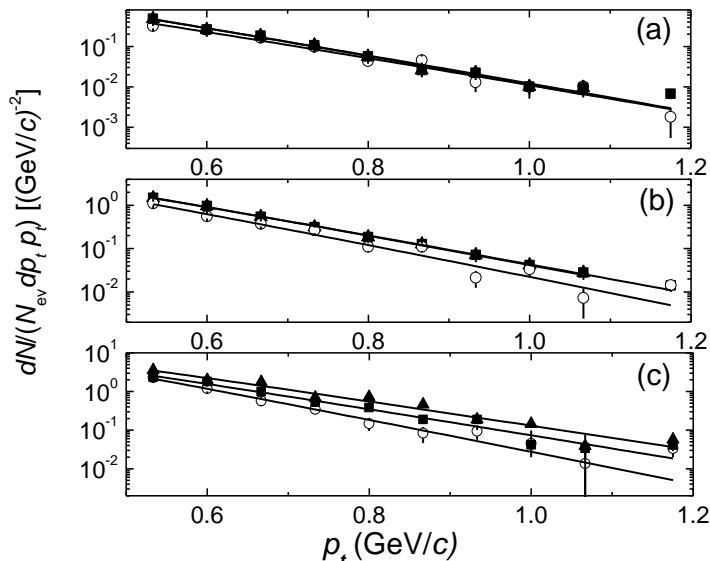
Бир нуклонга 4.2 ГэВ/с импульсли $^4\text{He} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ - ва $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида бутун $p_t = 0.1\text{--}1.2$ ГэВ/с соҳасини фит қилиш натижасида

олинган T_1 ва T_2 температураларини тўқнашув марказийлигига боғлиқлиги топа олинмади. Бунга сабаб T_1 ва T_2 аниқлашда нисбатан катта фит хатоликлари ва π^- -мезонларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” ва “қаттиқ” компоненталари температураларини бир-бирига таъсири бўлиши мумкин.

10-жадвал

**Бир нуклонга 4.2 ГэВ/c импульсли марказий, ярим-марказий ва периферик ${}^4\text{He}+{}^{12}\text{C}$ - $, {}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$ - ва ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ -тўқнашувларнинг улуши (эксперимент ва
Кварк-Глюон Тор Модели (QGSM) учун, тўқнашув умумий ноэластик
кўндаланг кесимиға (σ_{in}) нисбатан)**

Тур	Периферик тўқнаш.		Ярим-марказий тўқн.		Марказий тўқ. (%)	
	Эксперим.	QGSM	Эксперим.	QGSM	Эксперим.	QGSM
${}^4\text{He}+{}^{12}\text{C}$	54 ± 1	54 ± 1	37 ± 1	38 ± 1	9 ± 1	8 ± 1
${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$	58 ± 1	62 ± 1	31 ± 1	30 ± 1	11 ± 1	8 ± 1
${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$	60 ± 2	56 ± 1	24 ± 1	29 ± 1	16 ± 1	15 ± 1



8-расм. 4.2 A ГэВ/c импульсли периферик (а), ярим марказий (б) ва марказий (с) ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ (\circ)-, ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ (\blacksquare)-, ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ (\blacktriangle)-тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “қаттиқ” ($p_t=0.5-1.2$ ГэВ/c) ва “қаттиқ” ($p_t=0.5-1.2$ ГэВ/c) компоненталари ва уларни бир температуралари Хагедорн функцияси билан тавсифлари (узлуксиз чизиклар)

Шунинг учун илк бор 4.2 A ГэВ/c импульсли ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ ГэВ) ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - $, {}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - $, {}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -тўқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” ($p_t=0.1-0.5$ ГэВ/c) ва “қаттиқ” ($p_t=0.5-1.2$ ГэВ/c) компоненталари температураларини тўқнашув марказийлиги ва тўқнашувчи ядролар ўлчамига боғлиқликлари (5) ва (7)чи тенгламалардаги

бир температурали Хагедорн ва Больцман функциялари ёрдамида алоҳида таҳлил қилинди.

4.2 A ГэВ/ c импульсли периферик, ярим-марказий ва марказий ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “қаттиқ” ($p_t = 0.5 - 1.2$ ГэВ/ c) компоненталари ва уларни бир температурали Хагедорн функцияси билан тавсифлари 8-расмда кўрсатилган.

11-жадвал

Бир температурали Хагедорн ва бир температурали Больцман функциялари билан 4.2 A ГэВ/ c импульсли периферик, ярим марказий ва марказий ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” ($p_t = 0.1 - 0.5$ ГэВ/ c) ҳамда “қаттиқ” ($p_t = 0.5 - 1.2$ ГэВ/ c) компоненталарини тавсифлаш натижасида олинган параметрлар

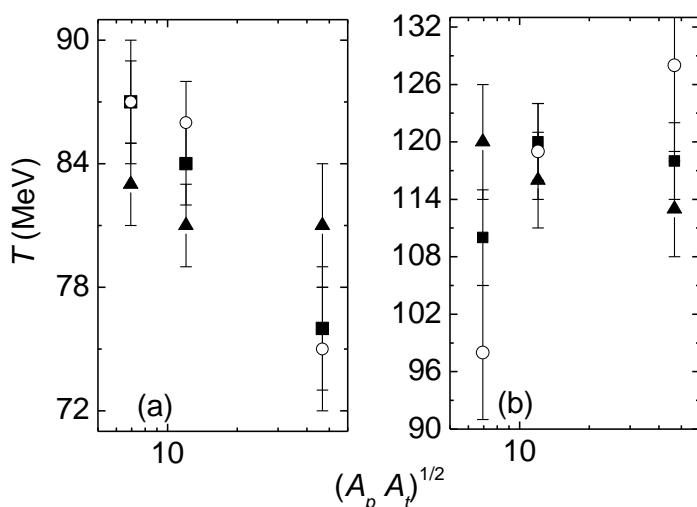
Тур			Фит қилинган соҳа					
			$p_t = 0.1 - 0.5$ ГэВ/ c			$p_t = 0.5 - 1.2$ ГэВ/ c		
Фит функ.	Тўқн. марказ.	Тўқн. тури	A	T (MeV)	$\chi^2/n.d.f.$	A	T (MeV)	$\chi^2/n.d.f.$
Хаг.	Периф.	HeC	1173	83 ± 2	0.36	140	120 ± 6	0.97
		CC	1467	81 ± 2	1.59	210	116 ± 5	1.08
		CTa	2894	81 ± 3	3.41	249	113 ± 5	0.57
	Ярим марказ.	HeC	2207	87 ± 2	0.85	657	110 ± 5	2.22
		CC	3819	84 ± 2	2.73	573	120 ± 4	0.28
		CTa	13710	76 ± 3	1.90	624	118 ± 4	0.19
	Марказ.	HeC	3908	87 ± 3	0.44	2506	98 ± 7	0.93
		CC	6230	86 ± 2	1.05	1023	119 ± 5	1.88
		CTa	20167	75 ± 3	5.06	980	128 ± 9	0.71
Больц.	Периф.	HeC	1019	74 ± 2	0.78	93	111 ± 5	0.91
		CC	1258	72 ± 2	2.51	140	108 ± 4	1.14
		CTa	2496	72 ± 2	4.30	164	105 ± 4	0.58
	Ярим марказ.	HeC	1951	76 ± 2	1.55	423	102 ± 4	2.22
		CC	3315	74 ± 2	3.95	381	111 ± 3	0.35
		CTa	11373	68 ± 2	2.63	417	109 ± 4	0.22
	Марказ.	HeC	3449	76 ± 2	0.67	1575	92 ± 6	0.97
		CC	5482	75 ± 2	1.77	683	110 ± 4	1.87
		CTa	16722	67 ± 2	6.09	670	118 ± 8	0.71

11-жадвалда бир температурали Хагедорн ва бир температурали Больцман функциялари билан 4.2 A ГэВ/ c импульсли периферик, ярим-марказий ва марказий ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” ($p_t = 0.1 - 0.5$ ГэВ/ c) ҳамда “қаттиқ” ($p_t = 0.5 - 1.2$ ГэВ/ c) компоненталарини тавсифлаш натижасида олинган параметрлар кўрсатилган. Ҳисобланган π^- -мезонларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” ва “қаттиқ” компоненталари

температуранын түқнашувчи ядролар ўлчамига $((A_p A_t)^{1/2})$ боғлиқликлари 9-расмда көлтирилган.

11-жадвал π^- -мезонларнинг p_t тақсимотларини “юмшоқ” ва “қаттиқ” компонента температураны таҳлил қилинган периферик түқнашувларда бир-бира яқинлигини күрсатади. Ўрганилган ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C}$ ва ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувлардаги хисобланган “қаттиқ” компонента температураны орасидаги фарқ түқнашув марказийлиги ошиши билан ўсиши кузатилди. ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувлардаги хисобланган “юмшоқ” p_t компонента температураси периферик түқнашувлардан ярим-марказий ва марказий түқнашувларга ўтганда сезиларли камайиши кузатилди. ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувлардаги хисобланган “қаттиқ” p_t компонента температураси түқнашув марказийлиги ошиши билан систематик ўсиши күрсатилди. Буни марказий түқнашувларда вужудга келган катта босимли иссиқ материядан чиқкан тез пионлар ёки түқнашув марказийлиги ошиши билан “қаттиқ” нуклон-нуклон-түқнашувлари эхтимолликларини ошиши билан изоҳласа бўлади. 9a-расмда 4.2 A ГэВ/с импульсли ярим-марказий ва марказий ядро-ядро-түқнашувларида түқнашувчи система ўлчови $((A_p A_t)^{1/2})$ ошиши билан π^- -мезонларнинг “юмшоқ” p_t компонента температурасини систематик камайиши кузатилди.

Периферик түқнашувларда “юмшоқ” p_t компонента температураси система ўлчови $((A_p A_t)^{1/2})$ ошиши билан деярли ўзгармади. Марказий ядро-ядро-түқнашувларида түқнашув система ўлчови ошиши билан π^- -мезонларнинг “қаттиқ” p_t компонента температурасининг систематик ошиши аниқланди (9b-расм).



9-расм. 4.2 A ГэВ/с импульсли периферик (\blacktriangle), ярим марказий (\blacksquare) ва марказий (\circ) ядро-ядро-түқнашувларида манфий пионларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” (a) ва “қаттиқ” (b) компоненталарини хисобланган температуранын түқнашувчи ядролар ўлчамига $((A_p A_t)^{1/2})$ боғлиқликлари

ХУЛОСА

«4.2 А ГэВ/с импульсли p , d , ^4He , ^{12}C (^{12}C)- ва $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида манфий пионлар ва $\Delta^0(1232)$ -резонанслар ҳосил бўлиши» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хуросаларга келинди:

1. Илк бор 4.2 A ГэВ/с импульсли $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, $^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ва 3.25 A ГэВ/с импульсли ^{16}O - ва 40 ГэВ/с импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг масса ва масса кенгликлари аниқланди.

2. 4.2 A ГэВ/с импульсли $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, $^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ - түқнашувларида ва 3.25 A ГэВ/с импульсли ^{16}O -түқнашувларида ҳосил бўлган манфий пионларнинг таҳминан (40-50) фоизи, 40 ГэВ/с импульсли $\pi^{-12}\text{C}$ -түқнашувларида эса π^- -мезонларнинг таҳминан 6 фоизи $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг емирилишидан ҳосил бўлиши топилди.

3. Таҳлил қилинган түқнашувларда $\Delta^0(1232)$ -резонансларнинг эркин нуклон түқнашувлардаги $\Delta^0(1232)$ -резонанс массасига нисбатан масса камайиши хатоликлар доирасида нуклонларнинг ядролардаги ўртача боғланиш энергиясига тенглиги топилди ва $\Delta^0(1232)$ -резонансларни асосан ядроларни боғланган нуклонларида – ядроларни коллектив уйғонишида ҳосил бўлиши аниқланди.

4. 4.2 A ГэВ/с импульсли $d^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ - ва $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида туғилган манфий пионларнинг экспериментал жадаллик тақсимотлари кенгликларининг периферик $d^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларидан марказий түқнашувларга ўтганда мос равишда $(8 \pm 2)\%$, $(5 \pm 1)\%$, ва $(15 \pm 2)\%$ камайиши хамда π^- -мезонларни экспериментал жадаллик тақсимотлари марказларининг периферик $d^{12}\text{C}$ -, $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларидан марказий түқнашувларга ўтганда нишон фрагментация оралиғи томон мос равишда -0.32 ± 0.04 ва -0.44 ± 0.02 бирликларга сиљиши топилди.

5. Марказий $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -түқнашувларида π^- -мезонларнинг жадаллик тақсимотларини Катта Комбинацион Модели (GCM) функцияси билан тавсифлаш натижасида олинган γ параметрини илгари юқори энергияли марказий PbPb- ва AuAu-түқнашувларида пионларнинг жадаллик тақсимотларини тавсифлашдан олинган γ параметрлари билан тақослаш натижасида, GCM функциясининг γ параметрини түқнашув энергиясига боғлиқлигининг асимптотик ($\sqrt{s_{nn}} \rightarrow \infty$ бўлганда $\gamma \rightarrow 0$) яқинлашуви кўрсатилди.

6. Марказий $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -түқнашувларида ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14 \text{ ГэВ}$) олинган γ параметри ҳамда SPS ва AGS энергияларида марказий PbPb-түқнашувларида ($\sqrt{s_{nn}} \geq 6.3 \text{ ГэВ}$) олинган γ параметрлари орасида катта тафовут мавжудлиги кўрсатилди. Бу тафовут материянинг оддий адрон ҳолатидан кварк-глюон

материясига назарий башорат қилинган фазовий ўтиш энергияси ($\sqrt{s_{nn}} \approx 5$ ГэВ) билан мос тушиши күрсатилди.

7. Илк бор $4.2 A$ ГэВ/*c* импульсли ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - $,$ ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - $,$ ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -түқнашувларида ҳосил бўлган π^- -мезонларнинг кўндаланг импульс тақсимотлари “юмшоқ” ($p_t = 0.1-0.5$ ГэВ/*c*) ва “қаттиқ” ($p_t = 0.5-1.2$ ГэВ/*c*) компоненталарининг температуралари аниқланди ва ўрганилган түқнашувларда π^- -мезонларнинг ушбу p_t компоненталари температуралари орасидаги фарқ түқнашув марказийлиги ошиши билан ўсиши күрсатилди.

8. ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ (${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$)-түқнашувларида π^- -мезонларнинг “юмшоқ” p_t компонента температураси түқнашув марказийлиги ошиши билан мос равища систематик ўсиши (камайиши) ва ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ (${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$)-түқнашувларида π^- -мезонларнинг “қаттиқ” p_t компонента температураси түқнашув марказийлиги ошиши билан мос равища систематик ўсиши (камайиши) күрсатилди.

9. $4.2 A$ ГэВ/*c* импульсли ярим-марказий ва марказий ядро-ядро түқнашувларида түқнашувчи система ўлчови ошиши билан манфий пионларнинг “юмшоқ” p_t компонента температурасини систематик камайиши күрсатилди. Бу натижа система ўлчови ошиши билан иккиласми нуклон-нуклон-түқнашувларининг сонини ҳамда пионларнинг атрофдаги нуклонларда сочилишини кескин ошиши ёки кечроқ дельта-резонанслар емирилишидан туғилган “совуқ” пионларнинг улушини ўсиши билан тушунтирилди.

Марказий ядро-ядро-түқнашувларида түқнашувчи система ўлчови ошиши билан π^- -мезонларнинг “қаттиқ” p_t компонента температурасини систематик ўсиши аниқланди. Бу марказий түқнашувларда вужудга келган катта босимли иссиқ материалдан чиққан тез пионлар билан ёки система ўлчови ошиши билан “қаттиқ” нуклон-нуклон-түқнашувлари эҳтимолликларини ўсиши билан тушунтирилди.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 AT INSTITUTE OF
NUCLEAR PHYSICS, ASTRONOMY INSTITUTE, AND NATIONAL
UNIVERSITY OF UZBEKISTAN ON AWARDING THE SCIENTIFIC
DEGREES**

PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE

KHUSNIDDIN KOSIMOVICH OLIMOV

**PRODUCTION OF NEGATIVE PIONS AND $\Delta^0(1232)$ RESONANCES IN
 $p, d, {}^4He, {}^{12}C({}^{12}C)$ AND ${}^{12}C{}^{181}Ta$ COLLISIONS AT 4.2 A GeV/c**

01.04.08- Physics of atomic nucleus and elementary particles. Accelerator technique

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF SCIENCE (DSc)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2018

The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2018.2.DSc/ FM92.

Doctoral dissertation was carried out at the Physical-technical Institute of SPA "Physics-Sun" of Uzbek Academy of Sciences.

The abstract of the dissertation was posted in three languages (Uzbek, English, Russian (resume)) on the web site of the Scientific Council at www.inp.uz and on the website of "Ziyonet" informational and educational portal at www.ziyonet.uz

Scientific consultant:

Lutfullaev Sagdulla Lutfullaevich

doctor of sciences in physics and mathematics, professor

Official opponents:

Muminov Tolib Musaevich

doctor of sciences in physics and mathematics, professor, academic

Bekmirzaev Rakhmatulla Nurmurodovich

doctor of sciences in physics and mathematics, professor

Bozorov Erkin Khojievich

doctor of sciences in physics and mathematics, professor

Leading organization:

Institute of Nuclear Physics of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, Almaty

The defense of the dissertation will be held on « ____ » _____ 2018 at ____ at the meeting of the Scientific council No.DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics, Astronomical Institute, National University of Uzbekistan (Address: INP, Ulugbek settlement, Tashkent city, tel.: (+99871)289-31-18; fax: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

The doctoral (DSc) dissertation can be looked through in the Information Resource Centre of the Institute of Nuclear Physics (registered under No. _____. Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city, tel.: (+99871) 289-31-19).

Abstract of dissertation was distributed on «____» _____ 2018.
(Registry record № _____ dated “____” _____ 2018)

M.Yu. Tashmetov

Chairman of the Scientific council
On Award of Scientific Degrees, D. Ph.-M.S.

R.Yarmukhamedov

Scientific Secretary of the Scientific Council
On Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Professor

I. Nuritdinov

Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific Council on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Professor

INTRODUCTION (annotation of doctoral (DSc) dissertation)

Topicality and demand of the theme of dissertation. Nowadays the experimental and theoretical investigations of the high-energy nucleus-nucleus collisions are important for solution of the modern fundamental problems of physics in the world. Nucleus–nucleus collisions allow very high energy to be deposited within the small volume of space in a short interval of time. Analysis of this high energy density matter constitutes one of the priority directions of the modern fundamental nuclear physics. The central AuAu and PbPb collisions, where the nuclei are accelerated to a nearly speed of light prior to the collisions, generate temperatures more than 100 000 times hotter than that of the centre of the Sun and allow researchers to study a Quark-Gluon Plasma state of matter. Therefore it is of importance the investigations of dynamics of the central nucleus-nucleus collisions at high energies.

During the independence era, a big attention is given to the development of science, in particular, of the theoretical and experimental works in the field of nuclear and particle physics, in order to create conditions at the highest international level for the fundamental research. The main directions of the fundamental researches, having importance for a development of fundamental science in our country and its subsequent application to the real life, are highlighted in the Strategy of actions on the further development of the Republic of Uzbekistan in the years 2017-2021.

Nowadays the data on dynamics of high-energy nucleus-nucleus collisions come mainly from analysis of the measured transverse momentum and rapidity distributions of hadrons. The biggest fraction of the energy spent on particle creation during high-energy nuclear collisions is used for pion production. Hence knowledge of the properties of pion production is necessary in order to establish the global conditions created in the collision zone and to understand the dynamics of the collision process. The temperatures, extracted from transverse momentum or transverse mass (energy) distributions of pions, are important for probing the freeze-out conditions after expansion of a “fireball”, produced in central heavy ion collisions at high energies. The delta resonances play a dominant role in pion production in heavy ion collisions at the energies of the order of 1–10 GeV/nucleon. As deduced from analysis of the relativistic heavy ion collisions, delta resonances are produced at an early “hot” compressional phase of a collision. At a later expansion phase, these resonances decay into nucleons and pions as the collision system gets cooled down significantly. The kinematics of Δ decay was shown to be responsible for the low transverse momentum enhancement of the pion p_t distributions in hadron–nucleus and nucleus–nucleus collisions at incident beam energies from 1 to 15 GeV per nucleon.

The present investigation complies with the tasks stipulated in government regulatory documents and Decree of the President of the Republic of Uzbekistan № PD-4512 “On works of further development of alternative energy sources” of 1 March 2013, Resolution № PR-2789 “On measures of further improvement of the activities of the Academy of Sciences, organization, management and financing the

scientific research works” of 17 February 2017, and Decree № PD-4947 “On the Strategy of Actions on the Further Development of the Republic of Uzbekistan” of 7 February 2017 and others.

Conformity of research to priority directions of development of science and technologies of the Republic of Uzbekistan. The dissertation was carried out in accordance with the priority directions of science and technologies development: II. “Energetics, energy and resource saving”.

Review of international scientific researches on dissertation subject. Investigations of the processes of production of pions and delta resonances in hadron- and nucleus-nucleus collisions at high energies are held at the Joint Institute for Nuclear Research (JINR, Dubna, Russia), Center of Heavy Ions (GSI, Darmstadt, Germany), Brookhaven National Laboratory (Brookhaven, USA), Center of European Nuclear Research (CERN, Geneva, Switzerland), Lawrence Berkeley Laboratory of University of California (California, USA), Department of Natural Sciences of the University of Belgrade (Belgrade, Serbia), Institute of High Energy Physics of Tbilisi State University (Tbilisi, Georgia) and other research centers, which are the members of the International collaborations, involved in high energy physics experiments.

The above international centers of high energy physics and international collaborations involved in their experiments studied extensively the rapidity, transverse momentum and energy distributions of pions and $\Delta(1232)$ production in hadron-nucleus and nucleus-nucleus collisions at incident energies of the order of a few GeV per nucleon. The several important results were obtained, including: the rapidity distributions of pions produced in relativistic nuclear collisions were shown to have a Gaussian bell-like shapes; it was discovered that transverse momentum as well as the center-of-mass energy spectra of pions demonstrate the two slope structures, corresponding to two different temperatures; the contribution of the low temperature part to transverse momentum as well as center-of-mass energy spectrum of pions was dominant being of the order of 80-90%, while that of the high temperature part was about 10-20% (Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia; Center of European Nuclear Research, Geneva, Switzerland; Department of Natural Sciences of the University of Belgrade, Belgrade, Serbia; Institute of High Energy Physics of Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia); it was found out that the main fraction of pions produced in central heavy ion collisions at energies of the order of several GeV/nucleon come from decay of baryon resonances, excited during the early compression phase of a collision (which decay into pions and nucleons in the later expansion phase); it was observed that the mass and width of the $\Delta(1232)$'s produced in nuclear medium in relativistic hadron-nucleus and nucleus-nucleus collisions modify as compared to those of $\Delta(1232)$'s produced in nucleon-nucleon collisions (Center of Heavy Ions, Darmstadt, Germany); the modification of $\Delta(1232)$ properties in dense hadron matter created in central heavy ion collisions was interpreted in terms of thermal and isobar models, and also related to the values of hadronic density, temperature,

and various non-nucleon degrees of freedom in nuclear matter (Center of Heavy Ions, Darmstadt, Germany).

The following fundamental investigations are held nowadays on the processes and mechanisms of pion and delta resonance production in relativistic nuclear collisions: search for the pion bose-condensate and effects of pion identity; construction of the realistic potential of pion-nucleon interaction at high energies; investigations of the influence of the dense nuclear (hadron) matter on the properties of pions and $\Delta(1232)$ resonances; study of the role of $\Delta(1232)$ resonances in the processes of pion production.

Degree of study of the problem. To date, leading international scientists carried out a large number of the experimental and theoretical investigations devoted to the processes and mechanisms of pion and delta resonance production in relativistic nuclear collisions, although some important problems still remain unsolved.

The Serbian scientists (L. Simic, S. Backovic, D. Salihagic) investigated the collision centrality dependencies of the rapidity spectra of the negative pions in nucleus-nucleus collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ (at Joint Institute for Nuclear Research experiments, Russia, Serbia). However, due to quite low statistics of the experimental material, they could not make unambiguous conclusions about the changes of the widths and centers of the rapidity distributions of the negative pions with the changes in the collision centrality and mass numbers of the colliding nuclei. The Uzbek and Russian scientists (M.M. Muminov, R.N. Bekmirzaev, S.A. Sharipova, E.N. Kladnitskaya) investigated qualitatively the dependencies of the rapidity distributions of the negative pions on their transverse momentum range in nucleus-nucleus collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ (at Joint Institute for Nuclear Research experiments, Russia, Uzbekistan). However, not sufficient statistics of the experimental material did not allow them to make quantitative conclusions on the dependencies of the rapidity spectra of pions on their transverse momenta and mass numbers of the colliding nuclei.

The Indian scientists (G. Sau, B. De, and S. Bhattacharyya) proposed Grand Combinational Model (GCM) for the systematic description of the center-of-mass (cm) rapidity distributions of different particles produced in central heavy ion collisions at high energies. Using GSM, they described successfully the cm rapidity distributions of the produced particles, including pions, in central PbPb collisions and central AuAu collisions at high energies (at the experiments of the Center of European Nuclear Research, Switzerland; Brookhaven National Laboratory, USA). However, they could not give the plausible physical interpretations of the parameters, used in the phenomenological Grand Combinational Model.

The European scientists (D. Pelte, M.A. Lisa, E.L. Hjort, B. Hong) studied intensively the delta resonance production and modification of delta properties in central heavy-ion collisions at incident energies $1-2 \text{ A GeV}$, revealing that the decays of baryon resonances give the largest contribution to pion production at these energies. However, the mass distributions of the delta resonances could not

be reconstructed in relativistic nucleus-nucleus collisions at Joint Institute for Nuclear Research (Dubna, Russia) experiments with the 2-m propane and 1-m hydrogen bubble chambers, except the work of the Serbian scientists (D. Krpic, S. Backovic, L. Simic), where production of baryon resonances was analyzed successfully in carbon-carbon collisions at 4.2 GeV/c per nucleon.

In the works of Serbian scientists (S. Backovic, L. Simic), Georgian researchers (L.V. Chkhaidze, T. Djoberava, L. Kharkhelauri, M. Mosidze), and German scientist (R. Brockmann), the temperatures were extracted from the transverse momentum and center-of-mass energy spectra of pions for different sets of colliding nuclei at various energies. However, practically no collision centrality of these temperatures (slopes of pion spectra) could be revealed from analysis of the whole range of the transverse momentum and center-of-mass energy distributions of pions in the analyzed collisions.

Connection of dissertational research with the plans of scientific-research works of the scientific research institution, where the dissertation was conducted is reflected in the following projects, implemented within the framework of the fundamental research topics of Physical-technical institute of Uzbek Academy of Sciences: F2-F029 “Investigation of the nuclear matter structure and collective effects at interactions of hadrons and nuclei with nuclei at high energies” (2007-2011); F2-F-0-42438 “Investigation of multiparticle states in interactions of hadrons and nuclei with nuclei at high energies” (2012-2016).

The aim of the investigation is to establish the regularities of production of the negative pions and $\Delta^0(1232)$ resonances in $p^{12}\text{C}$, $d^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c and reveal the role of the $\Delta^0(1232)$ resonances in production of the negative pions in the above collisions and in ${}^{16}\text{Op}$ collisions at 3.25 A GeV/c and $\pi^{-12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/c.

The tasks of the research:

extraction of the separate classes of inelastic interactions in the set of $p(\text{C}_3\text{H}_8)$ collisions at 4.2 GeV/c, $\pi^-(\text{C}_3\text{H}_8)$ interactions at 40 GeV/c, $d(\text{C}_3\text{H}_8)$, $\alpha(\text{C}_3\text{H}_8)$, and $\text{C}(\text{C}_3\text{H}_8)$ interactions at 4.2 A GeV/c;

accounting for the loss of particles with short tracks and those emitted under large angles with respect to the object plane of the chamber in $p^{12}\text{C}$, $d^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c, ${}^{16}\text{Op}$ collisions at 3.25 A GeV/c, $\pi^{-12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/c;

reconstruction of the mass distributions of $\Delta^0(1232)$ resonances, analyzing the angles between outgoing π^- mesons and protons, in $p^{12}\text{C}$, $d^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c, ${}^{16}\text{Op}$ collisions at 3.25 A GeV/c, $\pi^{-12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/c;

selection and analysis of the peripheral, semicentral and central collision events in the analyzed set of collisions;

analysis of the transverse momentum and rapidity distributions of the negative pions in the minimum bias, peripheral, semicentral and central collision events in the analyzed collisions by fitting these spectra by the theoretical (model) functions;

interpretation of the obtained results on the dependencies of the transverse momentum and rapidity distributions of the negative pions on the collision centrality and mass numbers of the colliding nuclei.

Object of research is the nuclear processes, induced by hadrons and nuclei at high energies.

Subject of research is the processes of pion and $\Delta^0(1232)$ resonance production in relativistic nuclear collisions.

Methods of research. An inclusive approach to the formation of particles in nuclear interactions at high energies using the methods of mathematical statistics; the experimental methods of analysis of film information, obtained from bubble chambers, irradiated by the beams of relativistic hadrons and nuclei in the strong magnetic field.

The scientific novelty of the dissertation research is expressed by the following results, obtained for the first time:

the masses and widths of the $\Delta^0(1232)$ resonances in the minimum bias $p^{12}\text{C}$, $d^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$, ${}^{16}\text{Op}$ collisions at $3.25 \text{ A GeV}/c$, $\pi^{-12}\text{C}$ interactions at $40 \text{ GeV}/c$ were determined from fitting the reconstructed $\Delta^0(1232)$ mass distributions by the relativistic Breit-Wigner function;

it was estimated that in $p^{12}\text{C}$, $d^{12}\text{C}$, $\alpha^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ and in ${}^{16}\text{Op}$ collisions at $3.25 \text{ A GeV}/c$ around (40-50)% of the produced negative pions come from decay of $\Delta^0(1232)$ resonances, whereas in $\pi^{-12}\text{C}$ interactions at $40 \text{ GeV}/c$ only about 6% of the negative pions originate from $\Delta^0(1232)$ decays;

it was obtained that the average decrease in the mass of the $\Delta^0(1232)$ resonances in the analyzed collisions agrees within the uncertainties with the average binding energy of the nucleons of the fragmenting nuclei, suggesting that the $\Delta^0(1232)$ resonances are produced mainly on the bound nucleons at the collective excitations of the fragmenting nuclei;

the widths of the experimental rapidity spectra of the negative pions were found to decrease by $(8 \pm 2)\%$, $(5 \pm 1)\%$, and $(15 \pm 2)\%$ in going from peripheral to central $d^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions, respectively, and the centers of the experimental rapidity distributions of π^- mesons were found to shift by -0.32 ± 0.04 and -0.44 ± 0.02 units towards target fragmentation region while going from peripheral to central $d^{12}\text{C}$ and ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions, respectively;

the collision centrality as well as the system-size dependencies of the temperatures of soft and hard parts of the experimental transverse momentum distributions of the negative pions in ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ were established and the differences between extracted temperatures of both the soft and hard components of p_t distributions of π^- -mesons in the studied collision systems were found to increase with an increase in collision centrality;

the temperature of the soft p_t component of the negative pions in ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ (${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$) collisions was found to increase (decrease) with increasing of the collision centrality, and the temperature of the hard p_t component of π^- -mesons in

$^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ ($^4\text{He}^{12}\text{C}$) collisions was found to increase (decrease) consistently with an increase in collision centrality;

the temperature of the soft p_t component for π^- -mesons was found to decrease consistently with an increase in collision system-size in the semicentral and central nucleus-nucleus collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$, and the temperature of the hard p_t component of π^- -mesons was found to increase consistently with an increase in system-size in central collisions.

Practical results of the investigation are as follows:

the method of reconstruction of the mass distributions of the $\Delta^0(1232)$ resonances produced in relativistic hadron- and nucleus-nucleus collisions, based on analysis of the angles between outgoing protons and negative pions, was developed;

the physical interpretation of the parameters of the Grand Combinational Model (GCM), used for description of rapidity distributions of hadrons in central nucleus-nucleus collisions at high energies, was obtained;

the method of the separate analysis of the “soft” and “hard” components of the transverse momentum distributions of hadrons for studying of their dependencies on the collision centrality was applied for the first time.

Reliability of the obtained results. Reliability of the obtained results is ensured by the quite high statistics of the data on nuclear collisions used in this work, reliable identification of the particles by their mass and charge, quite good precision in measuring the momenta and emission angles of the secondary particles, satisfactory agreement between the experimental and model data.

Scientific and practical significance of the results of research. The scientific significance of the results of the dissertation is given by that the new fundamental results on $\Delta^0(1232)$ resonance production in the studied collisions complement the world data base on production of particles in nuclear collisions at intermediate and high energies, and the established dependencies of the slopes (temperatures) of the transverse momentum distributions of the negative pions on the collision centrality in the analyzed collisions can be applied to obtain the information about the properties of the excited dense nuclear matter.

The practical significance of the dissertation results is given by that they can be used to reconstruct the mass distributions of unstable resonance particles produced in high-energy nucleus-nucleus collisions, to check the adequacy of the new models and approaches used to describe the relativistic nucleus-nucleus collisions, and to plan the new experiments at the modern heavy ion facilities.

Application of the results of dissertation. Based on the results obtained from analysis of production of the negative pions and $\Delta^0(1232)$ resonances in the studied collisions:

for determining the dependence of the transverse momentum and rapidity distributions of the negative pions on the collision centrality and masses of the colliding nuclei in nucleus-nucleus collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ (results were published in international scientific journals: Physical Review C, 2015; International Journal of Modern Physics E, 2015; International Journal of Modern Physics E, 2014; Physical Review C, 2013; Physical Review C, 2012; The

European Physical Journal A, 2011; Central European Journal of Physics, 2011) the dissertant received the prestigious international award of the World Academy of Sciences (TWAS, Italy) in the field of physics and mathematics in 2016;

the new results on production and properties of delta resonances were used by international scientists in the international journals (Physical Review C, 2009; Physical Review C, 2011; Progress in Particle and Nuclear Physics, 2018; The Euroschool on Exotic Beams, 2018; Indian Journal of Physics, 2017) to test the new theoretical approaches and find the regularities of production of baryon resonances in elementary and heavy ion collisions in wide range of incident energies; to analyze Δ^0 production in peripheral CTa collisions; to analyze the results on the collective flow of protons and pions in relativistic nuclear collisions. Usage of these results allowed the international researchers to interpret the results on the collective flow of protons and pions and modification of the delta parameters in the dense nuclear medium in relativistic nuclear collisions;

for obtaining the mass distributions of the $\Delta^0(1232)$ resonances in pC and dC collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$, determining the kinematic properties and role of the $\Delta^0(1232)$ resonances in production of the negative pions (results were published in international scientific journals: Physical Review C, 2012; Physics of Atomic Nuclei, 2012; Physical Review C, 2013; International Journal of Modern Physics E, 2013; Physics of Atomic Nuclei, 2013) the dissertant was conferred twice (in 2012 and 2013) the award of the Comission of the Development of Science and Technologies in the South (COMSATS, Pakistan).

Approbation of the work. The results of the present dissertation were tested and presented at 8 international and republican conferences.

Publication of the results. On the theme of dissertation, 33 scientific works were published, out of which 20 in the international journals, recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing of the main scientific results of the doctoral dissertation.

The structure and volume of dissertation. The dissertation consists of an introduction, six chapters, conclusion, and a bibliography. The volume of the dissertation is 217 pages.

MAIN CONTENTS OF DISSERTATION

In Introduction, the analysis of the main results, obtained in the last years on production of pions and $\Delta(1232)$ resonances in hadron-nucleus and nucleus-nucleus collisions at high energies and the aim and the main problems considered in the dissertation work are presented.

In the first chapter of the dissertation titled “**Brief review of works on pion production, experimental material and methodological procedures**” the brief review of works on pion production, the main characteristics of the 2 meter propane (C_3H_8) bubble chamber and of the beams are presented, and a brief description of a methodology of treatment and analysis of the film information is given. The brief description of the Synchrophasotron and Accelerator complex of Laboratory of High Energies (Dubna, Russia) is also presented. Statistics of the measured events for the considered types of collisions and incident momenta, mean experimental multiplicities per collision event of the negative pions and participant protons, and cross sections of inelastic collisions are shown in table 1.

Table 1
Mean experimental multiplicities per collision event of the negative pions and participant protons, experimental statistics and cross sections of inelastic collisions

Collision type and incident Momentum	$\langle n(\pi^-) \rangle$	$\langle n(p_{\text{partic.}}) \rangle$	The number of inelastic collision events	Cross section of inelastic collisions (mb)
$p^{12}C, 4.2 \text{ GeV}/c$	0.36 ± 0.01	1.83 ± 0.04	6 736	265 ± 15
$d^{12}C, 4.2 A \text{ GeV}/c$	0.66 ± 0.01	1.94 ± 0.06	7 071	400 ± 20
$^4He^{12}C, 4.2 A \text{ GeV}/c$	1.02 ± 0.01	2.83 ± 0.02	11 692	450 ± 20
$^{12}C^{12}C, 4.2 A \text{ GeV}/c$	1.45 ± 0.01	4.35 ± 0.02	20 528	830 ± 50
$^{12}C^{181}Ta, 4.2 A \text{ GeV}/c$	3.50 ± 0.10	13.3 ± 0.20	2 420	3445 ± 40
$^{16}O^{12}C, 3.25 A \text{ GeV}/c$	0.30 ± 0.01	$1.93 \pm 0.02^*$	13 500	334 ± 6
$\pi^{-12}C, 40 \text{ GeV}/c$	3.22 ± 0.02	$1.00 \pm 0.01^*$	16 865	179 ± 2

*Here the mean multiplicities of all protons are given

The second chapter of the dissertation titled “**Description of theoretical models and approaches**” is devoted to description of the theoretical models and phenomenological approaches used to describe adequately the kinematical spectra of hadrons, including pions, produced in relativistic nuclear collisions. The brief description of the Modified FRITIOF Model and Quark Gluon String Model (adapted to intermediate energies), used for comparison with the experimental results of the present dissertation, is also presented.

The Standard Thermal Model of freeze-out with the cms predicts that the scaled cm kinetic energy spectra of hadrons in the limit $E_k \gg T$ can be described as

$$\frac{dN}{N p E dE_k} = A \cdot \exp\left(-\frac{E_k}{T}\right), \quad (1)$$

where p , E , and E_k are the momentum, total energy, and kinetic energy of a hadron in the center-of-mass system of colliding nuclei. The above relation (1) is referred to as the one-temperature simple exponential function. In case of two temperatures, T_1 and T_2 , the above expression becomes

$$\frac{dN}{N p E dE_k} = A_1 \cdot \exp\left(-\frac{E_k}{T_1}\right) + A_2 \cdot \exp\left(-\frac{E_k}{T_2}\right), \quad (2)$$

referred to as the two-temperature simple exponential function.

The Hagedorn Thermodynamic Model allows for a set of fireballs to be displaced from each other in the rapidity space. In this model, particles with different momenta freeze-out within a volume which is of universal magnitude when assessed in the rest frame for any given momentum. This model predicts that the p_t distribution of particles can be expressed as

$$\frac{dN}{dp_t} = A \cdot p_t \cdot m_t \cdot K_1\left(\frac{m_t}{T}\right) \approx A \cdot p_t \cdot (m_t T)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T}\right), \quad (3)$$

which, in case of two temperatures, can be written as

$$\frac{dN}{dp_t} \approx A_1 \cdot p_t \cdot (m_t T)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_1}\right) + A_2 \cdot p_t \cdot (m_t T)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_2}\right), \quad (4)$$

where K_1 is the MacDonald Function, $m_t = \sqrt{m^2 + p_t^2}$ is the transverse mass, and the above approximations (3) and (4) are valid for $m_t \gg T$. Using the Hagedorn Thermodynamic Model, the normalized transverse momentum (p_t) distribution of hadrons can be described using the expression

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A \cdot (m_t T)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T}\right), \quad (5)$$

where N , depending on the choice of normalization, is either the total number of inelastic events or the total number of respective hadrons, $m_t = \sqrt{m^2 + p_t^2}$ is the transverse mass, T is the spectral temperature, and A is the fitting constant. This expression (5) is referred as the one-temperature Hagedorn function throughout the present work. Correspondingly, in case of two temperatures, T_1 and T_2 , the above formula is modified as

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A_1 \cdot (m_t T_1)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_1}\right) + A_2 \cdot (m_t T_2)^{1/2} \exp\left(-\frac{m_t}{T_2}\right), \quad (6)$$

According to The Boltzmann Model, the transverse momentum spectra of hadrons can be fitted using m_t Boltzmann distribution function given by

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A m_t \exp\left(-\frac{m_t}{T}\right), \quad (7)$$

referred to as the one-temperature Boltzmann function in the present work. In case of two temperatures, T_1 and T_2 , the above formula is modified as

$$\frac{dN}{N p_t dp_t} = A_1 \cdot m_t \exp\left(-\frac{m_t}{T_1}\right) + A_2 \cdot m_t \exp\left(-\frac{m_t}{T_2}\right), \quad (8)$$

referred as the two-temperature Boltzmann function in the present dissertation.

Analysis of rapidity distributions of pions produced in nucleus–nucleus in wide range of collision energies showed that they followed a Gaussian shape. The experimental rapidity spectra of pions in nucleus–collisions can be fitted satisfactorily by Gaussian distribution function given by

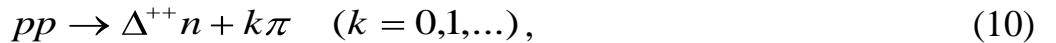
$$F(y) = \frac{A_0}{\sigma} \exp\left(\frac{-(y - y_0)^2}{2 \sigma^2}\right), \quad (9)$$

where σ is the standard deviation, referred to as a width of distribution in the present work, y_0 – the center of Gaussian distribution, and A_0 is the fitting constant.

Since impact parameter is not directly measurable, we used the number of participant protons N_p to characterize the collision centrality in the present dissertation work. We defined the peripheral collision events to be those in which $N_p \leq \langle n_{partprot} \rangle$, and the central collisions as the collision events with $N_p \geq 2\langle n_{partprot} \rangle$, where $\langle n_{partprot} \rangle$ is the mean multiplicity per event of participant protons. Consequently, the semicentral collision events were defined as those in which $\langle n_{partprot} \rangle < N_p < 2\langle n_{partprot} \rangle$.

The third chapter of the dissertation titled “**Production of $\Delta^0(1232)$ resonances**” is devoted to an analysis of $\Delta^0(1232)$ resonance production in $p+^{12}\text{C}$, $d+^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He}+^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$, ${}^{16}\text{Op}$ collisions at $3.25 \text{ A GeV}/c$, and $\pi^{-} {}^{12}\text{C}$ interactions at $40 \text{ GeV}/c$. The invariant mass distributions of the $\Delta^0(1232)$ resonances, produced in the above collisions were reconstructed successfully, using the method of analysis of the angles between outgoing protons and negative pions in the collision events.

In the model of independent nucleus-nucleus interactions, the Δ resonances are mainly produced in the reaction $NN \rightarrow \Delta N$, which competes with the process of direct pion production: $NN \rightarrow NN\pi$, $NN \rightarrow NN\pi\pi$. In this simple model Δ^{++} resonances are produced via reaction



with the subsequent decay $\Delta^{++} \rightarrow p\pi^+$ and Δ^0 – in reaction

$$NN \rightarrow \Delta^0 N + k\pi \quad (k = 0,1,\dots), \quad (11)$$

with the later decay $\Delta^0 \rightarrow p\pi^-$. To analyze Δ^{++} and Δ^0 production, the observed final particles – protons and charged pions are used.

The distribution of differences $D(M)$ between the experimental and background invariant mass distributions of the $p\pi$ pairs was approximated by a relativistic Breit-Wigner function

$$b(M) = C \frac{\Gamma M M_\Delta}{(M^2 - M_{\Delta}^2)^2 + \Gamma^2 M_{\Delta}^2}, \quad (12)$$

where M_Δ and Γ are the mass and width of the resonance, and C – the normalization coefficient.

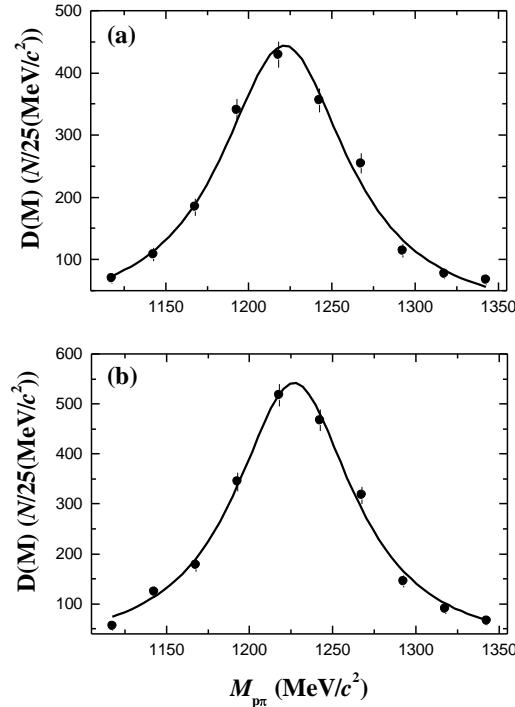


Fig. 1. The difference (●) between the experimental invariant mass distribution and background distribution for $p\pi^+$ (a) and $p\pi^-$ (b) pairs in $\pi^{-12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/ c and the corresponding Breit-Wigner fits (solid lines)

As an example, the difference between the experimental invariant mass distribution and background distribution for $p\pi^+$ and $p\pi^-$ pairs in $\pi^{-12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/ c and the corresponding Breit-Wigner fits are shown in fig. 1. The masses and widths of the $\Delta^0(1232)$ resonances, fractions of π^- mesons coming from $\Delta^0(1232)$ decay extracted in the above collisions are presented in table 2. For a comparison, the average mass shift (relative to the corresponding value ($M = 1232$

MeV/c^2 , $\Gamma=115 \text{ MeV}/c^2$) of the $\Delta(1232)$ resonance produced in nucleon-nucleon collisions) and width of the Δ resonance, obtained by FOPI collaboration in near-central Ni+Ni and Au+Au collisions at energies between 1 and 2 A GeV, are given in table 3. As seen from tables 2 and 3, compared to the light carbon and oxygen involved collisions, the mass and width of the Δ resonance produced in near central heavy ion (Ni+Ni and Au+Au) collisions decrease more significantly. This is most probably due to the dense nuclear matter, created in near central heavy ion collisions, in which the properties of Δ resonance can change significantly.

Table 2

The masses and widths of $\Delta^0(1232)$ resonances, fractions ($R(\Delta^0/\pi^-)$) of π^- -mesons coming from $\Delta^0(1232)$ decay, in p , d , α , ^{12}C (^{12}C) and $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c, ^{16}Op collisions at 3.25 A GeV/c, and in π^- - ^{12}C interactions at 40 GeV/c

Reaction, p_0	M (MeV/c 2)	Γ (MeV/c 2)	$R(\Delta^0/\pi^-)$ (%)
$d^{12}\text{C}$, 4.2 A GeV/c	1230 ± 4 $^{+3}_{-6}$	90 ± 14 $^{+19}_{-24}$	30 ± 2 $^{+6}_{-7}$
$p^{12}\text{C}$, 4.2 GeV/c	1222 ± 5 $^{+10}_{-14}$	89 ± 14 $^{+32}_{-43}$	39 ± 3 $^{+10}_{-7}$
π^- - ^{12}C , 40 GeV/c	1226 ± 3	87 ± 7	6 ± 1
^{16}Op , 3.25 A GeV/c	1224 ± 4	96 ± 10	41 ± 4
$\alpha^{12}\text{C}$, 4.2 A GeV/c	1227 ± 2	103 ± 6	48 ± 3
$^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, 4.2 A GeV/c	1230 ± 4	93 ± 8	50 ± 5
$^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$, 4.2 A GeV/c	1224 ± 1	86 ± 5	64 ± 4

Table 3

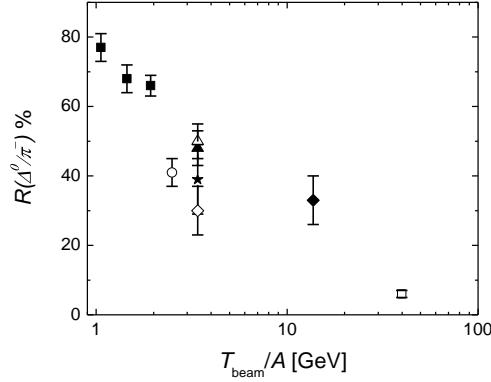
The average mass shift and width of the Δ resonance in near-central Ni+Ni and Au+Au collisions at energies between 1 and 2 A GeV

Type	$\langle \Delta m_\Delta \rangle$ (MeV/c 2)	$\langle \Gamma_\Delta \rangle$ (MeV/c 2)
Ni+Ni, 1.06 A GeV	-59 ± 10	48 ± 5
Ni+Ni, 1.45 A GeV	-52 ± 10	49 ± 5
Ni+Ni, 1.93 A GeV	-59 ± 10	48 ± 5
Au+Au, 1.06 A GeV	-78 ± 10	44 ± 5

As observed from table 2, the average decrease in the mass of the $\Delta^0(1232)$ resonances in the analyzed collisions agrees within the uncertainties with the average binding energy of the nucleons of the fragmenting nuclei.

Comparison of the above mentioned fractions of π^- -mesons coming from $\Delta^0(1232)$ decays in p , d (^{12}C), $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, $\alpha^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c, ^{16}Op collisions at 3.25 A GeV/c, and in π^- - ^{12}C interactions at 40 GeV/c with those obtained in central heavy ion collisions is presented in fig. 2. As observed from fig. 2, around (40-50)% of the produced negative pions in $d^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, $\alpha^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c, and in ^{16}Op collisions at 3.25 A GeV/c come

from decay of $\Delta^0(1232)$ resonances, whereas only about 6% of the negative pions in $\pi^-{}^{12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/c originate from $\Delta^0(1232)$ decays. This is due to the fact that at such high energies as 40 GeV the production probability of other heavier resonances and ρ^0 , ω^0 , and f^0 mesons increases considerably compared to the incident energies of the order of several GeV/nucleon.



(◊) – for $d{}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c ($T_{\text{beam}} \approx 3.4$ A GeV); (★) – for $p{}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 GeV/c ($T_{\text{beam}} \approx 3.4$ A GeV); (○) – for ${}^{16}\text{O}p$ collisions at 3.25 A GeV/c ($T_p \approx 2.5$ GeV in oxygen nucleus rest frame); (■) – for central NiNi collisions at 1.06, 1.45, and 1.93 A GeV; (◆) – for central ${}^{28}\text{SiPb}$ collisions at $p_{\text{lab}} = 14.6$ A GeV ($T_{\text{beam}} \approx 13.7$ A GeV); (▲) and (△) – for ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ and ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ collisions respectively at 4.2 A GeV/c ($T_{\text{beam}} \approx 3.4$ A GeV); (□) – for $\pi^-{}^{12}\text{C}$ collisions at 40 GeV/c ($T_{\text{beam}} \approx 39.9$ GeV)

Fig. 2. Dependence of the obtained fractions of π^- -mesons coming from Δ^0 decay on beam kinetic energy per nucleon

In the fourth chapter of the dissertation titled “**Rapidity distributions of negative pions in AA collisions at 4.2 A GeV/c**” we investigated the dependencies of the experimental rapidity distributions of the negative pions, produced in $d+{}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at a momentum of 4.2 GeV/c per nucleon, as well as the dependencies of average transverse momenta of negative pions on their rapidity, on the mass numbers of projectile and target nuclei and the degree of collision centrality. Also the phenomenological analysis of the rapidity distributions of the negative pions in ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c using the phenomenological Grand Combinational Model (GCM) was made. The experimental rapidity distributions of the negative pions in $d+{}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c and the corresponding QGSM spectra along with the fits by the Gaussian function given in Eq. (9) are presented in fig. 3. The mean kinematical characteristics of negative pions and participant protons in $d+{}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 GeV/c per nucleon are shown in table 4.

The parameters extracted from fitting the experimental and QGSM spectra for the central and peripheral collisions are given in table 5. In general, as can be seen from $\chi^2/\text{n.d.f.}$ values in table 5, all the spectra are fitted quite satisfactorily (except QGSM spectra) by the Gaussian function given in Eq. (9). As follows from

table 5, the widths of the experimental rapidity spectra of negative pions decrease by $(8 \pm 2)\%$, $(5 \pm 1)\%$, and $(15 \pm 2)\%$ in going from peripheral to central $d+^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions, respectively. The centers of the experimental rapidity distributions of π^- mesons shift by -0.32 ± 0.04 and -0.44 ± 0.02 units towards target fragmentation region while going from peripheral to central $d+^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions, respectively. Such shifts of centers of rapidity spectra of π^- mesons in $d+^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions are caused by increase in rescattering effects in target nuclei, which are heavier than projectile nuclei, as the collision centrality increases.

Table 4

Mean multiplicities per event of negative pions and participant protons and the average values of rapidity and transverse momentum of π^- -mesons in $d+^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 GeV/c per nucleon. The mean rapidities are calculated in cms of nucleon–nucleon collisions at 4.2 GeV/c

Type		$\langle n(\pi^-) \rangle$	$\langle n_{part,prot.} \rangle$	$\langle y_{\text{cms}} \rangle$	$\langle p_t(\pi^-) \rangle$, GeV/c
$d+^{12}\text{C}$	Exper.	0.66 ± 0.01	1.95 ± 0.02	-0.12 ± 0.01	0.252 ± 0.003
	QGSM	0.64 ± 0.01	1.86 ± 0.01	-0.17 ± 0.01	0.222 ± 0.002
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$	Exper	1.45 ± 0.01	4.35 ± 0.02	-0.016 ± 0.005	0.242 ± 0.001
	QGSM	1.59 ± 0.01	4.00 ± 0.02	0.007 ± 0.005	0.219 ± 0.001
$^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$	Exper	3.50 ± 0.10	13.3 ± 0.2	-0.34 ± 0.01	0.217 ± 0.002
	QGSM	5.16 ± 0.09	14.4 ± 0.2	-0.38 ± 0.01	0.191 ± 0.001

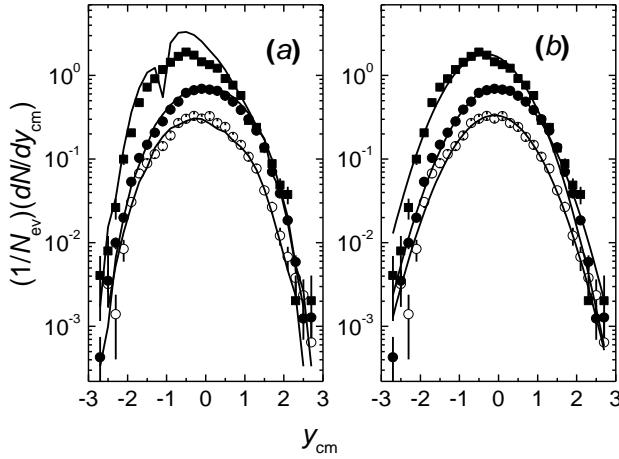


Fig. 3. The experimental rapidity distributions of negative pions in $d+^{12}\text{C}$ (\circ), $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ (\bullet), and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ (\blacksquare) collisions at 4.2 A GeV/c. The corresponding QGSM spectra (a) and fits by the Gaussian function (b) are given by the solid lines. All the spectra are obtained in cms of nucleon–nucleon collisions at 4.2 GeV/c. The distributions are normalized per one inelastic collision event

Due to the symmetry of the colliding systems, it seems appropriate to compare the widths extracted in central $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c with the corresponding widths obtained in central Pb + Pb collisions at 20 A and 30 A

GeV (see table 6). As observed from tables 5 and 6, the width for π^- in central ^{12}C + ^{12}C collisions is slightly smaller than the corresponding widths for the negative pions in central Pb + Pb collisions, which agrees with a weak increase of the width with an increase in incident energy per nucleon.

Table 5

Parameters obtained from fitting the rapidity spectra of negative pions in central and peripheral $d+^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 GeV/c per nucleon by Gaussian function given in Eq. (9)

Type		A_0	σ	y_0	$\chi^2/\text{n.d.f.}$
$d+^{12}\text{C}$ Central	Exper.	0.52±0.02	0.74±0.02	-0.29±0.03	1.26
	QGSM	0.55±0.01	0.77±0.01	-0.32±0.02	1.99
$d+^{12}\text{C}$ Peripheral	Exper	0.178±0.004	0.80±0.01	0.03±0.02	0.86
	QGSM	0.176±0.003	0.80±0.01	-0.10±0.01	2.79
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ Central	Exper	1.44±0.02	0.774±0.006	-0.021±0.009	2.52
	QGSM	1.63±0.02	0.794±0.006	0.009±0.009	2.97
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ Peripheral	Exper.	0.274±0.003	0.813±0.006	-0.008±0.009	2.76
	QGSM	0.289±0.004	0.797±0.006	-0.006±0.009	7.32
$^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ Central	Exper	3.10±0.07	0.68±0.01	-0.52±0.01	3.63
	QGSM	4.02±0.09	0.66±0.01	-0.48±0.01	21.06
$^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ Peripheral	Exper	0.59±0.01	0.81±0.01	-0.08±0.02	2.82
	QGSM	0.70±0.01	0.78±0.01	-0.09±0.02	7.19

Table 6

The widths of the rapidity spectra of the negative pions and charged kaons in central Pb + Pb collisions at 20 A and 30 A GeV extracted from fitting with the Gaussian function by the NA49 Collaboration

Type	Central Pb+Pb collisions	
	20 A GeV	30 A GeV
π^-	0.837 ± 0.007	0.885 ± 0.007
K^+	0.601 ± 0.012	0.722 ± 0.026
K^-	0.642 ± 0.035	0.710 ± 0.032

Grand Combinational Model (GCM) predicts that for the symmetric collisions with identical colliding nuclei, the rapidity distribution of the produced particles can be fitted well by the function

$$\left. \frac{dN}{N_{ev} dy} \right|_{AA \rightarrow QX} = C(AA)^{\beta y + \gamma y^2} \left(1 + \exp \frac{|y| - y_0}{\Delta} \right)^{-1}, \quad (13)$$

which is the final expression for the symmetric collision systems in GCM, and β and γ are the parameters to be extracted separately for each set of colliding nuclei and cm energy.

The experimental cm rapidity distributions along with the two types ($\beta = 0$, $\Delta=0.55$ are fixed and with the fixed parameter $\beta = 0$ only) of fits by the expression in Eq. (13) are shown in fig. 4. It should be noted that the curves of these two types of fits mostly overlap in fig. 4. As seen from fig. 4, the experimental and model cm rapidity distributions of the negative pions are described quite satisfactorily by the function in (13). It is necessary to mention that all the χ^2 fits of the present work were conducted by including the statistical uncertainties.

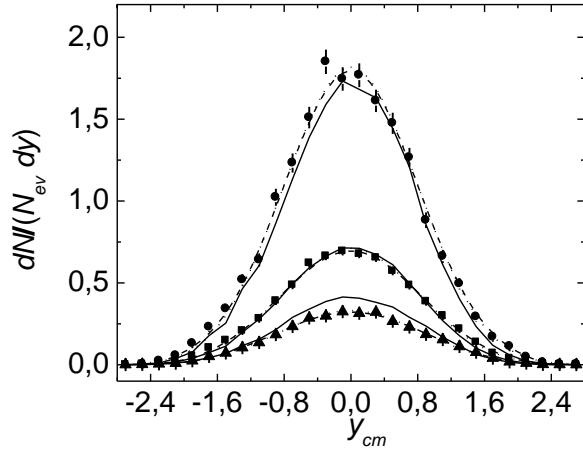


Fig. 4. The experimental cm rapidity distributions of the negative pions in central (●), peripheral (▲), and minimum bias (■) $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ GeV along with the modified FRITIOF calculations (solid curves), and fits by the function in (13) for the fixed parameters $\beta = 0$, $\Delta=0.55$ (dotted curves) and for the fixed parameter $\beta = 0$ only (dashed curves). All the spectra are normalized per one inelastic collision event

Parameters of approximation by the expression in (13) of the cm rapidity distributions of the negative pions in minimum bias, central, and peripheral $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ GeV ($\beta = 0$ is fixed) are presented in table 7. Parameters extracted by G. Sau *et al.* from approximation by the expression in (13) of the cm experimental rapidity distributions of the negative pions in central Pb+Pb collisions at various SPS and AGS energies ($\beta = 0$, $\Delta \approx 0.55$) are shown in table 8. It is seen from comparison of tables 7 and 8 that the value of γ proved to be consistently lower (\sim more than four times, on the average) in central $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ GeV as compared to central Pb+Pb collisions at various SPS and AGS energies $\sqrt{s_{nn}} \geq 6.3$ GeV. This decreasing trend of γ with the decrease in $\sqrt{s_{nn}}$ can also be seen for central Pb+Pb collisions in table 8.

The observed cm energy dependence of the parameter γ for pions in fig. 5 suggests its approximate ($\gamma \rightarrow 0$ as $\sqrt{s_{nn}} \rightarrow \infty$) asymptotic behavior. As seen from fig. 6, the gap between γ 's, extracted for pions and for the charged kaons and ϕ mesons, reduced quite prominently with the increase in $\sqrt{s_{nn}}$ from 6.3 to 12.3

GeV, and the γ 's for the charged kaons and ϕ tended to approach that for the negative pions as $\sqrt{s_{nn}}$ increased.

Table 7
Parameters of approximation by the expression in (13) of the cm rapidity distributions of the negative pions in minimum bias, central, and peripheral $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ GeV ($\beta = 0$ is fixed)

Collision Type	Type	C	γ	y_0	Δ	$\chi^2/n.d.f.$
Minimum bias	Experiment	0.69 ± 0.01	-0.140 ± 0.003	2.22 ± 0.05	0.22 ± 0.03	2.72
	Mod. FRITIOF	0.72 ± 0.01	-0.152 ± 0.005	2.08 ± 0.08	0.33 ± 0.04	4.70
Central ~ (0–10)%	Experiment	1.80 ± 0.03	-0.155 ± 0.004	2.33 ± 0.05	0.11 ± 0.04	1.12
	Mod. FRITIOF	1.73 ± 0.02	-0.166 ± 0.008	2.26 ± 0.13	0.31 ± 0.10	1.74
Peripheral ~ (40–100)%	Experiment	0.32 ± 0.01	-0.127 ± 0.008	2.10 ± 0.11	0.26 ± 0.06	0.94
	Mod. FRITIOF	0.41 ± 0.01	-0.147 ± 0.007	2.03 ± 0.09	0.29 ± 0.04	1.72

Table 8
Parameters extracted by G. Sau *et al.* from approximation by the expression in (13) of the cm experimental rapidity distributions of the negative pions in central Pb+Pb collisions at various SPS and AGS energies ($\beta = 0$, $\Delta \approx 0.55$)

$\sqrt{s_{nn}}$ (GeV)	6.3	7.6	8.7	12.3
γ	-0.044 ± 0.0003	-0.037 ± 0.0003	-0.035 ± 0.0003	-0.027 ± 0.0002

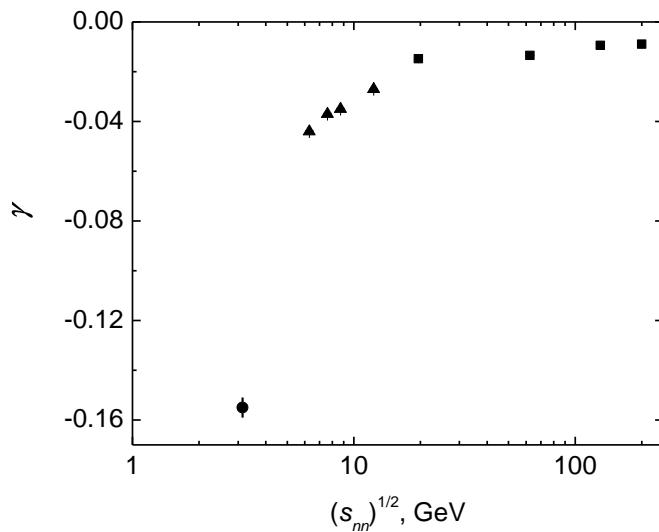


Fig. 5. Center-of-mass energy dependence of the parameter γ for pions, extracted in the present work in central $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ (●), central Pb+Pb [G. Sau *et al.*] (▲), and central Au+Au [G. Sau *et al.*] (■) collisions. The data presented correspond to ~ (0–10)% collision centrality

The differences in fig. 6 between γ for ϕ mesons and γ 's for the other particles can be explained by that the ϕ meson ($s\bar{s}$) requires production of both the strange quark and its antiparticle (much heavier than light u and d quarks), which are not available in the colliding nucleons. It can easily be verified that, for $\gamma \leq 0$ and finite rapidities, the factor $(AA)^{\gamma y^2}$ reaches its maximum value 1 at $\gamma=0$. Hence, it can be conjectured that $\gamma \geq 0$ could possibly be related to the complete dehadronization of all the constituent nucleons of a collision system as a result of head-on collision of two identical nuclei, when the whole colliding system undergoes transformation into the state of deconfined quarks and gluons (QGP) and attains its highest possible energy density.

Figure 5 shows a large gap between the values of γ for central $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ GeV and central Pb+Pb collisions at $\sqrt{s_{nn}} \geq 6.3$ GeV. This is in line with the lattice QCD calculations, predicting the threshold energy density for deconfinement phase transition to be reached already at $\sqrt{s_{nn}} \approx 5$ GeV.

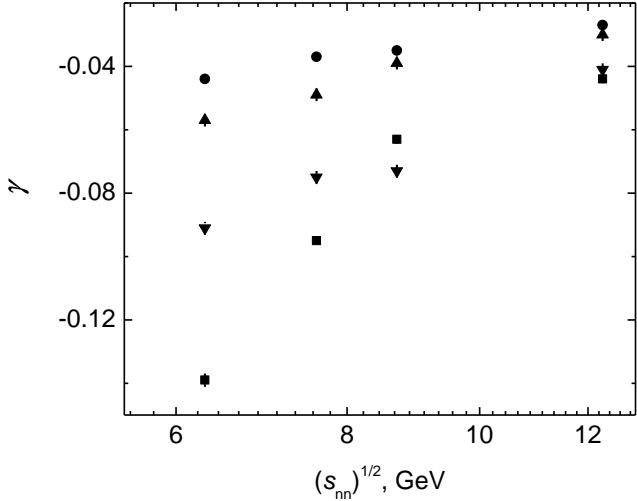


Fig. 6. Center-of-mass energy dependence of the parameter γ extracted [G. Sauet *et al.*] for the negative pions (\bullet), K^+ (\blacktriangle), K^- (\blacktriangledown), and ϕ mesons (\blacksquare) from their experimental cm rapidity distributions in central Pb+Pb collisions at AGS and SPS energies

The fifth chapter of the dissertation titled “**Spectral temperatures of negative pions in AA collisions at 4.2 A GeV/c**” is devoted to investigation of the spectral temperatures of the negative pions produced in $d^{12}\text{C}$, $^4\text{He}^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c. The rapidity and angular dependencies of the spectral temperatures of the negative pions in $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c were also explored. In fig. 7, the transverse momentum spectra of π^- mesons in $^4\text{He}^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c are presented along with the fits by the one-

temperature and two-temperature Hagedorn function. As can be seen from this figure, the two-temperature Hagedorn function fits very well the experimental p_t spectra. On the other hand, one-temperature Hagedorn function fails to fit so well the experimental spectra, especially it underestimates noticeably the experimental spectra in region $p_t > 0.8 \text{ GeV}/c$. The two temperature shape of the pion spectra was observed also in other experiments in collisions of different sets of nuclei at various energies in the past.

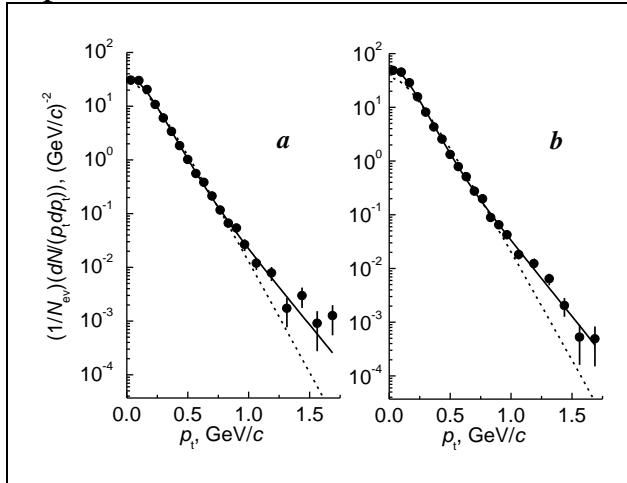


Fig. 7. Experimental p_t distributions (\bullet) of π^- mesons in ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ (a) and ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ (b) collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ and the corresponding fits by the one-temperature (dashed curve) and two-temperature (solid curve) Hagedorn function given in Eqs. (5) and (6), respectively

Table 9

Spectral temperatures (T) of π^- mesons and their relative contributions (R) extracted in the present work, compared to those obtained by S. Backovic *et al.* in minimum bias $d{}^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$

Type		T_1 , MeV	R_1 , %	T_2 , MeV	R_2 , %	$\chi^2 / n.d.f.$
$d{}^{12}\text{C}$	Present work	83 ± 6	89 ± 16	155 ± 21	11 ± 11	0.37
	Backovic <i>et al.</i>	89 ± 4	91 ± 7	190 ± 33	9 ± 7	0.57
${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$	Present work	84 ± 5	89 ± 14	149 ± 17	11 ± 10	0.73
	Backovic <i>et al.</i>	94 ± 6	85 ± 11	173 ± 22	15 ± 11	0.54
${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$	Present work	78 ± 4	87 ± 14	146 ± 9	13 ± 6	0.69
	Backovic <i>et al.</i>	83 ± 3	79 ± 6	145 ± 7	21 ± 6	0.72

Spectral temperatures (T_1 , T_2) of π^- mesons and their relative contributions (R_1 , R_2) extracted in the present work from fitting p_t spectra by two-temperature Hagedorn function are presented in table 9. The corresponding results obtained by S. Backovic *et al.* from fitting non-invariant cm energy spectra of negative pions by two-temperature Maxwell–Boltzmann distribution function are also shown for a comparison in this table. It is seen from table 9 that the dominant contribution ($R_1 \sim 90\%$) to the total p_t spectra of π^- mesons comes from spectral temperature $T_1 \sim 78\text{--}84 \text{ MeV}$, while $T_2 \sim 146\text{--}155 \text{ MeV}$ account for the remaining part ($R_2 \sim 10\%$) of p_t spectra. It is observed from table 9 that the values of T_1 and T_2 obtained by S.

Backovic *et al.* from analysis of non-invariant cm energy spectra of π^- mesons are consistently higher (except for T_2 in $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions) than the corresponding spectral temperatures deduced from p_t spectra of π^- in the present analysis. This could be due to the influence of longitudinal motion on energy spectra of π^- mesons, whereas p_t spectra are Lorentz invariant with respect to longitudinal boosts.

In the sixth chapter of the dissertation titled “**Centrality and A dependencies of p_t distributions of negative pions in AA collisions at 4.2 A GeV/c**” we analyzed the dependencies of the slopes (spectral temperatures) of the transverse momentum distributions of the negative pions in nucleus-nucleus collisions at 4.2 A GeV/c on the collision centrality and mass numbers of the colliding nuclei. Fractions of the central, semicentral, and peripheral $^4\text{He}+\text{C}$, $^{12}\text{C}+\text{C}$ and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collision events, relative to the total inelastic cross section, selected using the method described in Chapter II, both in the experiment and QGSM are presented in table 10.

Table 10

Fractions of peripheral, semicentral, and central $^4\text{He}+\text{C}$, $^{12}\text{C}+\text{C}$, and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c per nucleon, relative to the total inelastic cross section

Type	Peripheral collisions		Semicentral collisions		Central collisions (%)	
	Experiment	QGSM	Experiment	QGSM	Experiment	QGSM
$^4\text{He}+\text{C}$	54 ± 1	54 ± 1	37 ± 1	38 ± 1	9 ± 1	8 ± 1
$^{12}\text{C}+\text{C}$	58 ± 1	62 ± 1	31 ± 1	30 ± 1	11 ± 1	8 ± 1
$^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$	60 ± 2	56 ± 1	24 ± 1	29 ± 1	16 ± 1	15 ± 1

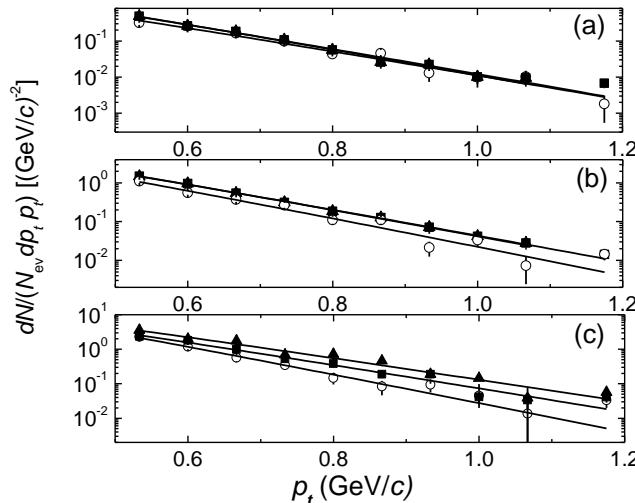


Fig. 8. Hard component of the experimental transverse momentum distributions of the negative pions in peripheral (a), semicentral (b), and central (c) – $^4\text{He}+\text{C}$ (\circ), $^{12}\text{C}+\text{C}$ (\blacksquare), and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ (\blacktriangle) collisions at 4.2 A GeV/c along with the corresponding fits (solid lines) by one temperature Hagedorn function in p_t range 0.5 – 1.2 GeV/c

Practically no collision centrality dependence of the extracted temperatures T_1 and T_2 was observed in ${}^4\text{He}+{}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$ and ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$, which was likely due to interplay between the temperatures of the soft and hard components of the pion p_t spectra while performing combined two temperature model fits in region $p_t=0.1-1.2 \text{ GeV}/c$, and partly due to significant fitting errors of T_1 and T_2 . We, therefore, studied the centrality as well as the system-size dependencies of the shapes (spectral temperatures) of p_t distributions of π^- mesons by fitting separately their soft ($p_t = 0.1 - 0.5 \text{ GeV}/c$) and hard ($p_t = 0.5 - 1.2 \text{ GeV}/c$) p_t components by the one temperature Hagedorn and one temperature Boltzmann functions, given in Eqs. (5) and (7), respectively.

Figure 8 presents hard components of the experimental p_t distributions of the negative pions in peripheral, semicentral, and central ${}^4\text{He}+{}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ along with the corresponding fits by the one temperature Hagedorn function in p_t range $0.5 - 1.2 \text{ GeV}/c$. Table 11 presents the parameters extracted from fitting by the one temperature Hagedorn and one temperature Boltzmann functions of the experimental p_t distributions of the negative pions in peripheral, semicentral, and central ${}^4\text{He}+{}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ in the fitting ranges $p_t = 0.1 - 0.5 \text{ GeV}/c$ and $p_t = 0.5 - 1.2 \text{ GeV}/c$.

The dependencies of the temperatures of the soft and hard p_t components of the negative pions on the collision system-size $((A_p A_t)^{1/2})$ are demonstrated in fig. 9.

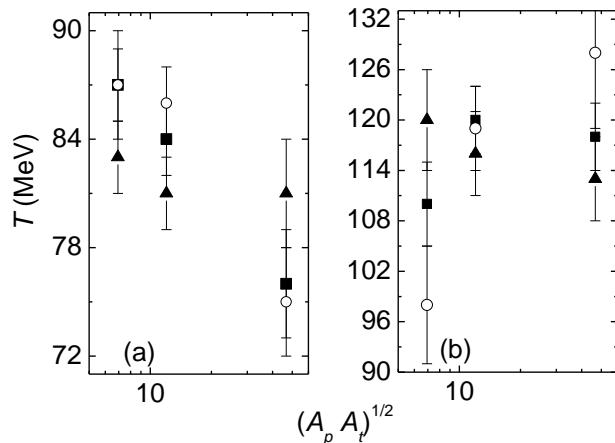


Fig. 9. Collision system-size dependence of the temperature of the soft (a) and hard (b) component of the experimental transverse momentum distributions of the negative pions in peripheral (\blacktriangle), semicentral (\blacksquare), and central (\circ) nucleus–nucleus collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$, extracted from fitting by one temperature Hagedorn function in p_t range $0.1 - 0.5 \text{ GeV}/c$ and $0.5 - 1.2 \text{ GeV}/c$, respectively (A_p and A_t are the mass numbers of the projectile and target nuclei, respectively.)

As seen from table 11, the temperatures of the soft as well as hard components of p_t distributions of the negative pions in peripheral collisions are very close to each other for collision systems under consideration. On the whole, the gap between the temperatures of the soft p_t component in $^4\text{He} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ collisions increased with an increase in collision centrality.

Table 11

Parameters extracted from fitting by one temperature Hagedorn and one temperature Boltzmann functions of the experimental transverse momentum distributions of the negative pions in peripheral, semicentral, and central $^4\text{He} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ in the fitting ranges

$$p_t = 0.1 - 0.5 \text{ GeV}/c \text{ and } p_t = 0.5 - 1.2 \text{ GeV}/c$$

Type			Fitting Range					
			p _t = 0.1 – 0.5 GeV/c			p _t = 0.5 – 1.2 GeV/c		
Fit. funct.	Centr. Type	Coll. Type	A	T (MeV)	χ ² /n.d.f.	A	T (MeV)	χ ² /n.d.f.
Hag.	Periph.	HeC	1173	83 ± 2	0.36	140	120 ± 6	0.97
		CC	1467	81 ± 2	1.59	210	116 ± 5	1.08
		CTa	2894	81 ± 3	3.41	249	113 ± 5	0.57
	Semicen.	HeC	2207	87 ± 2	0.85	657	110 ± 5	2.22
		CC	3819	84 ± 2	2.73	573	120 ± 4	0.28
		CTa	13710	76 ± 3	1.90	624	118 ± 4	0.19
	Centr.	HeC	3908	87 ± 3	0.44	2506	98 ± 7	0.93
		CC	6230	86 ± 2	1.05	1023	119 ± 5	1.88
		CTa	20167	75 ± 3	5.06	980	128 ± 9	0.71
Bolt.	Periph.	HeC	1019	74 ± 2	0.78	93	111 ± 5	0.91
		CC	1258	72 ± 2	2.51	140	108 ± 4	1.14
		CTa	2496	72 ± 2	4.30	164	105 ± 4	0.58
	Semicen.	HeC	1951	76 ± 2	1.55	423	102 ± 4	2.22
		CC	3315	74 ± 2	3.95	381	111 ± 3	0.35
		CTa	11373	68 ± 2	2.63	417	109 ± 4	0.22
	Centr.	HeC	3449	76 ± 2	0.67	1575	92 ± 6	0.97
		CC	5482	75 ± 2	1.77	683	110 ± 4	1.87
		CTa	16722	67 ± 2	6.09	670	118 ± 8	0.71

We observed that the T of soft p_t component for $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ collisions decreases noticeably in going from peripheral to semicentral and central collisions. In contrast to $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ collisions, quite opposite trend in behavior of centrality dependence of T of soft p_t component in $^4\text{He} + ^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ collisions could be interpreted as due to the much smaller system-size and, hence, much lesser probability of multiple rescatterings of pions after the chemical freeze-out stage. We found that the temperature of the hard p_t component for $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ collisions increased consistently with an increase in collision centrality. The consistent increase of T of hard p_t component in $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ collisions can be explained either by the early fast component of the collective flow resulting from the high pressure,

built up in a core of collision zone, in central collisions or by an increase of probability of the semi(hard) scatterings with an increase in collision centrality.

As observed from fig. 9a, the temperatures of soft p_t component for semicentral and central collisions decrease consistently with an increase in system size ($(A_p A_t)^{1/2}$), or, in other words, with an increase in the number of participant nucleons in collision systems. On the other hand, the temperature of the soft p_t component for peripheral collisions does not change appreciably with an increase in collision system-size.

As observed from fig. 9b, the T of hard p_t component in central collisions increases consistently with an increase in system size. This can be understood in terms of the semi(hard) nucleon-nucleon collisions. This is because the probability of the semi(hard) nucleon-nucleon collisions increases significantly as the number of binary collisions increases quite prominently in going from central ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C}$ to central ${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C}$ collisions, and further to central ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ collisions.

CONCLUSION

According to the results of the research carried out on the theme of the doctoral (DSc) dissertation “Production of negative pions and $\Delta^0(1232)$ resonances in p, d, ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$ (${}^{12}\text{C}$) and ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c”, the following conclusions are presented:

1. For the first time, the masses and widths of the $\Delta^0(1232)$ resonances in the minimum bias $p + {}^{12}\text{C}$, $d + {}^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c, ${}^{16}\text{O}p$ collisions at 3.25 A GeV/c, $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/c were determined from fitting the reconstructed $\Delta^0(1232)$ mass distributions by the relativistic Breit-Wigner function.

2. It was estimated that in $p + {}^{12}\text{C}$, $d + {}^{12}\text{C}$, $\alpha + {}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c and in ${}^{16}\text{O}p$ collisions at 3.25 A GeV/c around (40-50)% of the produced negative pions come from decay of $\Delta^0(1232)$ resonances, whereas in $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/c only about 6% of the negative pions originate from $\Delta^0(1232)$ decays.

3. It was found that the average decrease in the mass of the $\Delta^0(1232)$ resonances in the analyzed collisions agrees within the uncertainties with the average binding energy of the nucleons of the fragmenting nuclei, suggesting that the $\Delta^0(1232)$ resonances are mainly produced on the bound nucleons at the collective excitations of the fragmenting nuclei in the analyzed minimum bias collisions.

4. It was obtained that the widths of the experimental rapidity spectra of the negative pions decrease by $(8 \pm 2)\%$, $(5 \pm 1)\%$, and $(15 \pm 2)\%$ in going from peripheral to central $d + {}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C} + {}^{181}\text{Ta}$ collisions, respectively, and the centers of the experimental rapidity distributions of π^- mesons shift by -0.32 ± 0.04

and -0.44 ± 0.02 units towards target fragmentation region while going from peripheral to central $d^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions, respectively.

5. The approximate asymptotic ($\gamma \rightarrow 0$ as $\sqrt{s_{nn}} \rightarrow \infty$) behavior of the center-of-mass (cm) energy dependence of the parameter γ was obtained from comparison of the Grand Combinational Model (GCM) parameter γ extracted from fitting the cm rapidity distributions of the negative pions in central $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions with the corresponding parameters γ extracted earlier for pions produced in central PbPb and AuAu collisions at high energies.

6. A large gap was observed between the values of the parameter γ of GCM for central $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ GeV) and central PbPb collisions ($\sqrt{s_{nn}} \geq 6.3$ GeV), which was shown to be in line with the theoretical calculation that the critical energy density for transition of a nuclear matter into the phase of deconfined quarks and gluons should occur at $\sqrt{s_{nn}} \approx 5$ GeV.

7. For the first time, the dependencies of the temperatures of the soft ($p_t = 0.1\text{--}0.5$ GeV/c) and hard ($p_t = 0.5\text{--}1.2$ GeV/c) p_t components of the negative pions on the collision centrality and collision system-size were established in $^4\text{He}^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 A GeV/c, and the differences between the extracted temperatures of both soft and hard components of p_t distributions of π^- were found to increase with an increase in collision centrality in the studied collision systems.

8. The temperature of the soft p_t component of the negative pions in $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ ($^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$) collisions was found to increase (decrease) consistently with increasing of the collision centrality, and the temperature of the hard p_t component of π^- in $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ ($^4\text{He}^{12}\text{C}$) collisions was found to increase (decrease) consistently with an increase in collision centrality.

9. The temperature of the soft p_t component for π^- mesons was found to decrease consistently with an increase in collision system-size in the semicentral and central nucleus–nucleus collisions at 4.2 A GeV/c, and the temperature of the hard p_t component of the negative pions was found to increase consistently with an increase in collision system-size in central collisions.

The observed decrease of the temperature of soft p_t component in semicentral and central collisions in going from $^4\text{He}^{12}\text{C}$ to $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ and further to $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ collisions could be interpreted as follows: with an increase in system-size, the pions have to undergo more and more rescatterings on nucleons of the surrounding medium until they reach the final kinetic freeze-out stage, where the system is cooled down appreciably. Increase of the temperature of hard p_t component in central collisions could be interpreted by an increase in pressure, built up in a core of collision zone (and, hence, by an increase of T of “hot” pions emitted from this core at initial collision stage) or by an increase in probability of the “hard” nucleon-nucleon collisions with an increase in collision system-size in central nucleus–nucleus collisions.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ,
АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ И НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**ОБРАЗОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ И $\Delta^0(1232)$ -
РЕЗОНАНСОВ В p , d , ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}({}^{12}\text{C})$ - И ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -СОУДАРЕНИЯХ
ПРИ 4.2 А ГЭВ/с**

01.04.08- Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ускорительная техника.

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
доктора (DSc) физико-математических наук**

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора наук (Doctor of Science) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2018.2.DSc/ФМ92.

Докторская диссертация выполнена в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце».

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, английский, русский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.inp.uz) и на Информационно-образовательном портале “Ziyonet”(www.ziyonet.uz).

Научный консультант:

Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Муминов Толиб Мусаевич
доктор физико-математических наук, профессор,
академик Академии наук Республики Узбекистан

Бекмирзаев Рахматулла Нурмуродович
доктор физико-математических наук, профессор

Бозоров Эркин Хожиевич
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация:

**Институт ядерной физики Министерства
энергетики Республики Казахстан**

Защита диссертации состоится «_____» 2018 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FMT/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (100214, г. Ташкент, поселок Улугбек, ИЯФ; тел.: (+99871) 289-31-18; факс: (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz.

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной (регистрационный номер______). (100214, г. Ташкент, поселок Улугбек, ИЯФ; тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «_____» 2018 г.
(протокол рассылки № _____ от _____ 2018 г.).

М.Ю. Ташметов
Председатель Научного совета по присуждению
учёной степени, д.ф.-м.н.

Р. Ярмухамедов
Ученый секретарь Научного совета по присуждению
учёной степени, д.ф.-м.н., профессор

И. Нуритдинов
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению учёной
степени, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время экспериментальные и теоретические исследования ядро-ядерных соударений при высоких энергиях имеют важное значение для решения актуальных фундаментальных проблем современной физики. Ядро-ядерные соударения позволяют сконцентрировать очень высокую энергию в очень малом объёме пространства в течение очень короткого периода времени. Изучение этой сверхплотной материи входит в число приоритетных задач, которыми занимается современная фундаментальная ядерная физика высоких энергий. Центральные AuAu- и PbPb-столкновения, где ядра до соударений ускоряются практически до скорости света, генерируют температуры, более чем в 100 000 раз превышающие температуру в центре Солнца, и позволяют исследователям изучать материю в состоянии кварк-глюонной плазмы. В этой связи актуальными становятся исследования динамики центральных ядро-ядерных соударений при высоких энергиях.

В нашей Республике уделяется большое внимание развитию ядерной физики, в частности экспериментальных и теоретических работ в области физики атомного ядра и элементарных частиц, а также проведению фундаментальных исследований в этом направлении на мировом уровне. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны и её дальнейшего практического применения, отражены в Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.

В настоящее время данные о динамике ядро-ядерных соударений, в основном, извлекаются из анализа измеренных распределений поперечного импульса и быстротных спектров адронов. Наибольшая доля энергии, расходуемой на образование частиц в ядерных столкновениях при высоких энергиях, тратится на рождение пионов. Поэтому знание свойств образования пионов необходимо для восстановления глобальной картины области соударения ядер и понимания динамики процесса столкновения ядер. Температуры, извлекаемые из распределений поперечных импульсов или поперечных масс (энергий) пионов важны для описания состояния ядерной материи после расширения очень плотной и горячей материи, образованной в центральных соударениях тяжёлых ионов при высоких энергиях. Дельта резонансы играют доминантную роль в образовании пионов при первичных энергиях порядка 1–10 ГэВ/нуклон. Как было получено из анализа соударений релятивистских тяжёлых ионов, дельта резонансы образуются на ранней «горячей» стадии «сжатия» процесса соударения ядер. В поздней стадии «расширения», эти резонансы распадаются на нуклоны и пионы, когда соударяющаяся система уже значительно охлаждена. Было показано, что кинематика дельта-распада является ответственной за образование максимума в области малых поперечных импульсов в распределениях по p_t пионов в адрон-ядерных и ядро-ядерных соударениях при первичных энергиях пучка от 1 до 15 ГэВ на нуклон.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, предусмотренным в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4512 «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии» от 1 марта 2013 года, № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.» от 2 февраля 2017 года, Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-2789 «О мерах по дальнейшемусовершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 18 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертационное исследование проведено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан: II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

Обзор международных научных исследований по теме диссертации.

Исследования процессов образования пионов и дельта-резонансов в адрон- и ядро-ядерных соударениях при высоких энергиях проводятся в Объединённом Институте ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна, Россия), Центре тяжёлых ионов (ЦТИ, Дармштадт, Германия), Брукхейвенской национальной лаборатории (Брукхейвен, США), Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Женева, Швейцария), Лоуренс Берклиевской лаборатории Калифорнийского университета (Калифорния, США), Факультете естественных наук Белградского университета (Белград, Сербия), Институте физики высоких энергии Тбилисского государственного университета (Тбилиси, Грузия) и других исследовательских центрах, являющихся членами Международных коллaborаций по физике ядерных соударений при высоких энергиях.

Международные коллaborации, участвующие в экспериментах в вышеуказанных исследовательских центрах, проводили интенсивные исследования распределений по поперечным импульсам, быстротам и энергиям пионов, а также образованию $\Delta(1232)$ -резонансов в адрон-ядерных и ядро-ядерных соударениях при первичных энергиях порядка нескольких ГэВ на нуклон. Получен ряд важных результатов, в частности: показано, что быстротные распределения пионов имеют форму Гауссового распределения; получено, что распределения поперечных импульсов, а также энергии пионов в системе-центра-масс (сцм) имеют два наклона, соответствующие двум температурам; вклад низкотемпературной части в спектр пионов был доминирующим (порядка 80-90%), тогда как вклад высокотемпературной компоненты спектра был порядка 10-20% (Объединённый Институт ядерных исследований, Дубна, Россия; Европейский центр ядерных исследований, Женева, Швейцария; Факультет естественных наук Белградского университета, Белград, Сербия; Институт физики высоких энергии Тбилисского государственного университета, Грузия); установлено, что

основная часть пионов, образованных в центральных соударениях тяжёлых ионов при энергиях порядка нескольких ГэВ на нуклон, происходит от распадов барионных резонансов, возбужденных в ранней стадии «сжатия» соударения; получено, что масса и ширина $\Delta(1232)$ -резонансов, образованных в ядерной среде в центральных соударениях тяжёлых ионов, модифицируются значительно в сравнении с таковыми $\Delta(1232)$ -резонансов, образованных в столкновениях свободных нуклонов (Центр тяжёлых ионов, Дармштадт, Германия); модификация свойств $\Delta(1232)$ в плотной адронной среде, образующейся в центральных соударениях тяжёлых ионов, интерпретировалась в рамках термальной и изобарной моделей, связывалась со значениями адронной плотности, температуры и различными ненуклонными степенями свободы в ядерной материи (Центр тяжёлых ионов, Дармштадт, Германия).

По процессам и механизмам образования пионов и дельта-резонансов в релятивистских ядерных соударениях ведутся следующие фундаментальные исследования: поиск пионного бозе-конденсата и эффектов тождественности пионов; построение реалистического потенциала пион-нуклонного взаимодействия при высоких энергиях; исследование влияния плотной ядерной (адронной) среды на свойства пионов и $\Delta(1232)$ -резонансов; изучение роли $\Delta(1232)$ -резонансов в процессах образования пионов.

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день ведущие международные учёные провели множество теоретических и экспериментальных исследований, посвящённых процессам и механизмам образования пионов и дельта-резонансов в релятивистских ядерных столкновениях, хотя некоторые важные проблемы остаются до сих пор нерешёнными.

Сербские учёные (L. Simic, S. Backovic, D. Salihagic) исследовали зависимости быстротных распределений отрицательных пионов в ядро-ядерных соударениях при $4.2 A$ ГэВ/с от центральности соударений (в экспериментах Объединённого Института ядерных исследований, Россия, Сербия). Однако, из-за малой статистики экспериментального материала, они не смогли сделать однозначного заключения об изменении ширины и сдвиге центра быстротных распределений отрицательных пионов с изменениями центральности соударения и массовых чисел сталкивающихся ядер. Узбекские и российские учёные (М.М. Муминов, Р.Н. Бекмирзаев, С.А. Шарипова, Е.Н. Кладницкая) исследовали качественную зависимость быстротных распределений отрицательных пионов от значений их поперечных импульсов в ядро-ядерных соударениях при $4.2 A$ ГэВ/с (в экспериментах Объединённого Института ядерных исследований, Россия, Узбекистан). Однако, недостаточная статистика экспериментального материала не позволила им сделать количественные выводы о зависимостях быстротных распределений пионов от их поперечного импульса и масс сталкивающихся ядер.

Индийские учёные (G. Sau, B. De, S. Bhattacharya) предложили Большую комбинационную модель (GCM) для систематического описания в

системе центра масс (сцм) быстротных распределений различных частиц, включая пионов, образованных в центральных соударениях тяжёлых ионов при высоких энергиях. Используя эту модель, они успешно описали быстротные распределения различных частиц, включая пионов, образованных в центральных PbPb-столкновениях (в экспериментах Европейского центра ядерных исследований, Швейцария) и центральных AuAu-соударениях (в экспериментах Релятивистского коллайдера тяжёлых ионов, Брукхейвен, США) при высоких энергиях. Однако они не смогли дать физическую интерпретацию для параметров, использованных в Большой комбинационной модели.

Европейские учёные (D. Pelte, M.A. Lisa, E.L. Hjort, B. Hong) изучали интенсивно образование дельта-резонансов и модификацию их свойств в центральных соударениях тяжёлых ионов при первичных энергиях 1-2 A ГэВ, обнаружив, что распады барионных резонансов дают основной вклад в образование пионов при этих энергиях. Однако, массовые распределения дельта-резонансов не были реконструированы в релятивистских адрон-ядерных и ядро-ядерных соударениях в экспериментах Объединённого Института ядерных исследований (Дубна, Россия) на 2-метровой пропановой и 1-метровой водородной пузырьковых камерах, за исключением работы сербских учёных (D. Krpic, S. Backovic, L. Simic), где было успешно исследовано образование барионных резонансов в углерод-углеродных соударениях при импульсе 4.2 ГэВ/с на нуклон.

В работах сербских учёных (S. Backovic, L. Simic), грузинских исследователей (Л.В. Чхайдзе, Т. Джобава, Л. Хархелаури, М. Мосидзе) и немецкого учёного (R. Brockmann) были извлечены температуры из распределений по поперечным импульсам и энергиям пионов, образованных в столкновениях различных ядер при высоких энергиях. Однако, практически никакой зависимости этих температур (наклонов пионных спектров) от центральности соударения обнаружено не было в результате анализа распределений во всей области поперечных импульсов и энергий пионов в исследованных соударениях.

Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках планов научных проектов по фундаментальным исследованиям Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз по темам: Ф2-ФА-Ф029 “Исследование ядерной структуры и коллективных эффектов во взаимодействиях адронов и ядер с ядрами при высоких энергиях” (2007-2011); Ф2-ФА-0-42438 “Исследование многочастичных состояний во взаимодействиях адронов и ядер с ядрами при высоких энергиях” (2012-2016).

Целью исследования является установление закономерностей образования отрицательных пионов и $\Delta^0(1232)$ -резонансов в $p^{12}\text{C}$ -, $d^{12}\text{C}$ -, ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с и определение роли $\Delta^0(1232)$ -резонансов в образовании отрицательных пионов в вышеуказанных

соударениях, ^{16}O -взаимодействиях при 3.25 A ГэВ/c и $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/c .

Задачи исследования:

извлечь отдельные классы неупругих соударений из набора $p(\text{C}_3\text{H}_8)$ -соударений при 4.2 ГэВ/c , $\pi^-(\text{C}_3\text{H}_8)$ -взаимодействий при 40 ГэВ/c , $d(\text{C}_3\text{H}_8)$ - $\alpha(\text{C}_3\text{H}_8)$ - и $\text{C}(\text{C}_3\text{H}_8)$ -соударений при 4.2 A ГэВ/c ;

учесть потери частиц с короткими треками и частиц, вылетающих под большими углами к плоскости объектива камеры в $p^{12}\text{C}$ - $, d^{12}\text{C}$ - $, ^4\text{He}^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/c , ^{16}O -соударениях при 3.25 A ГэВ/c , $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/c ;

получить массовые распределения $\Delta^0(1232)$ -резонансов, анализируя углы между вылетающими π^- -мезонами и протонами, в $p^{12}\text{C}$ - $, d^{12}\text{C}$ - $, ^4\text{He}^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/c , ^{16}O -соударениях при 3.25 A ГэВ/c , $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/c ;

отобрать и исследовать периферические, полуцентральные и центральные соударения в анализируемом наборе адрон- и ядро-ядерных соударений;

исследовать распределения по поперечному импульсу, быстроте отрицательных пионов во всех, периферических, полуцентральных и центральных событиях соударений в исследованном наборе столкновений путём фитирования соответствующих спектров теоретическими (модельными) функциями;

интерпретировать полученные результаты по зависимостям распределений поперечных импульсов и быстрот отрицательных пионов от центральности соударений и массовых чисел сталкивающихся ядер в исследованном наборе соударений.

Объектом исследования являются ядерные процессы, вызванные адронами и ядрами при высоких энергиях.

Предметом исследования являются процессы образования отрицательных пионов и $\Delta^0(1232)$ -резонансов в релятивистских ядерных соударениях.

Методы исследования. Инклузивный подход к образованию частиц в ядерных взаимодействиях с использованием методов математической статистики; экспериментальные методы анализа фильмовой информации, полученной с пузырьковых камер, облученных пучками релятивистских адронов и ядер в сильном магнитном поле.

Научная новизна исследования заключается в следующих результатах, полученных впервые:

получены массы и ширины $\Delta^0(1232)$ -резонансов в $p^{12}\text{C}$ - $, d^{12}\text{C}$ - $, ^4\text{He}^{12}\text{C}$ - $, ^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/c , ^{16}O -соударениях при 3.25 A ГэВ/c , $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/c путём фитирования реконструированных массовых распределений $\Delta^0(1232)$ -резонансов релятивистской формулой Брейта-Вигнера;

получено, что в $p^{12}\text{C}$ - $, d^{12}\text{C}$ - $, \alpha^{12}\text{C}$ - и $^{12}\text{C}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/c и ^{16}O -соударениях при 3.25 A ГэВ/c около (40-50)% отрицательных

пионов образуются от распадов $\Delta^0(1232)$ -резонансов, а в $\pi^-{}^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с эта доля составляет приблизительно 6%;

показано, что среднее уменьшение массы $\Delta^0(1232)$ -резонансов в исследованных соударениях согласуется в пределах ошибок со средней энергией связи нуклонов фрагментирующих ядер, указывающее на то, что $\Delta^0(1232)$ -резонансы, в основном, образуются на связанных нуклонах ядер при их (ядер) коллективном возбуждении;

установлено, что ширины спектров быстротных распределений отрицательных пионов уменьшаются на $(8 \pm 2)\%$, $(5 \pm 1)\%$ и $(15 \pm 2)\%$, соответственно, при переходе от периферических к центральным $d{}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - и ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениям, соответственно, а центры экспериментальных быстротных распределений π^- -мезонов смещаются на -0.32 ± 0.04 и -0.44 ± 0.02 единиц, соответственно, по направлению к области фрагментации мишени при переходе от периферических к центральным $d{}^{12}\text{C}$ - и ${}^2\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениям, соответственно;

установлены зависимости от центральности соударений и размеров системы сталкивающихся ядер температур «мягкой» и «жёсткой» компонент экспериментальных распределений по поперечным импульсам отрицательных пионов в ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ -, ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - и ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с и показано, что разница между извлечёнными температурами обеих компонент p_t распределений π^- -мезонов увеличивается с увеличением центральности соударения;

установлено, что температура «мягкой» p_t компоненты отрицательных пионов в ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ (${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$)-соударениях увеличивается (уменьшается) с ростом центральности соударения, а температура «жёсткой» p_t компоненты π^- -мезонов в ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ (${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$)-соударениях увеличивается (уменьшается) систематически с ростом центральности соударения;

показано, что температура «мягкой» p_t компоненты π^- -мезонов уменьшается систематически с ростом размера соударяющейся системы в полуцентральных и центральных ядро-ядерных соударениях при 4.2 A ГэВ/с, а температура «жёсткой» p_t компоненты π^- -мезонов увеличивается систематически с ростом размера сталкивающейся системы в центральных соударениях.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан метод реконструкции массовых распределений $\Delta^0(1232)$ -резонансов на основе анализа углов между вылетающими отрицательными пионами и протонами в релятивистских адрон- и ядро-ядерных соударениях;

дана физическая интерпретация параметров Большой комбинационной модели (GCM), использующейся для описания быстротных распределений адронов, образующихся в центральных ядро-ядерных соударениях при высоких энергиях;

впервые применён метод раздельного анализа «мягкой» и «жёсткой» компонент распределений поперечного импульса адронов для установления

зависимостей этих распределений от центральности соударения в адрон- и ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях.

Достоверность результатов исследования обеспечивается достаточно высокой статистикой данных по ядерным соударениям, использованных в этой работе, надёжной идентификацией частиц по массе и заряду, достаточно хорошей точностью измерения импульсов и углов вылета вторичных частиц, удовлетворительным согласием между экспериментальными и модельными данными.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования определяется тем, что новые фундаментальные результаты по образованию $\Delta^0(1232)$ -резонансов в изученных соударениях пополняют мировую базу данных по образованию частиц в ядерных соударениях при промежуточных и высоких энергиях, а установленные зависимости температур (наклонов) распределений поперечного импульса отрицательных пионов от центральности соударения в исследованных столкновениях могут быть использованы в совокупности с результатами других экспериментов для определения энергетической зависимости свойств высоковозбуждённой плотной ядерной материи.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в том, что применённая в данной работе методика может быть использована для реконструкции массовых распределений нестабильных резонансов, образующихся в ядро-ядерных соударениях при высоких энергиях, а полученные результаты могут быть применены для проверки годности новых теоретических моделей и подходов для описания релятивистских ядро-ядерных соударений и планировании новых экспериментов на современных ускорителях тяжёлых ионов.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов анализа образования отрицательных пионов и $\Delta^0(1232)$ -резонансов в исследованных соударениях:

за установление зависимостей распределений поперечных импульсов и быстрот отрицательных пионов от степени центральности соударения и масс сталкивающихся ядер в ядро-ядерных соударениях при 4.2 A ГэВ/с (результаты опубликованы в зарубежных научных журналах: Physical Review C, 2015; International Journal of Modern Physics E, 2015; International Journal of Modern Physics E, 2014; Physical Review C, 2013; Physical Review C, 2012; The European Physical Journal A, 2011; Central European Journal of Physics, 2011) в 2016 г. диссидентант стал лауреатом престижной награды Международной Академии наук (TWAS, Италия) в области физико-математических наук;

полученные результаты по образованию и свойствам дельта-резонансов использованы международными исследователями (ссылки в зарубежных научных журналах Physical Review C, 2009; Physical Review C, 2011; Progress in Particle and Nuclear Physics, 2018; The Euroschool on Exotic Beams, 2018; Indian Journal of Physics, 2017) для проверки новых теоретических подходов и установления закономерностей рождения барионных резонансов в элементарных соударениях и столкновениях тяжёлых ионов в широком

интервале первичных энергий; для анализа образования Δ^0 -резонансов в периферических СTa-соударениях. Использование этих результатов позволило интерпретировать данные по коллективному потоку протонов и пионов и модификации параметров дельта-резонансов в плотной ядерной среде в соударениях релятивистских ядер;

за получение массовых распределений $\Delta^0(1232)$ -резонансов, образованных в $p^{12}\text{C}$ - и $d^{12}\text{C}$ -соударениях при импульсе $4.2 \text{ A ГэВ}/c$, определение кинематических характеристик $\Delta^0(1232)$ -резонансов и их роли в рождении отрицательных пионов (результаты опубликованы в зарубежных научных журналах: Physical Review C, 2012; Physics of Atomic Nuclei, 2012; Physical Review C, 2013; International Journal of Modern Physics E, 2013; Physics of Atomic Nuclei, 2013) диссертант удостоен дважды (в 2012 и 2013 гг.) награды Международной комиссии по науке и технологиям для устойчивого развития на Юге (COMSATS, Пакистан).

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 8 международных и республиканских конференциях.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 33 научные работы, в том числе 20 научных статей, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторской диссертации.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 217 страниц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по теме докторской диссертации «Образование отрицательных пионов и $\Delta^0(1232)$ -резонансов в p , d , ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}({}^{12}\text{C})$ - и ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с », представлены следующие выводы.

1. Впервые определены массы и ширины (массовых распределений) $\Delta^0(1232)$ -резонансов, образованных в $p{}^{12}\text{C}$ - $,$ $d{}^{12}\text{C}$ - $,$ ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - $,$ ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с , ${}^{16}\text{O}p$ -соударениях при 3.25 A ГэВ/с , $\pi^{-}{}^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с , путём фитирования полученных массовых распределений $\Delta^0(1232)$ -резонансов релятивистской формулой Брейта-Вигнера.

2. Получено, что в $p{}^{12}\text{C}$ - $,$ $d{}^{12}\text{C}$ - $,$ $\alpha{}^{12}\text{C}$ - и ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с и ${}^{16}\text{O}p$ -соударениях при 3.25 A ГэВ/с около (40-50)% отрицательных пионов образуются от распадов $\Delta^0(1232)$ -резонансов, а в $\pi^{-}{}^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с эта доля составляет приблизительно 6%

3. Показано, что среднее уменьшение массы $\Delta^0(1232)$ -резонансов в исследованных соударениях согласуется в пределах ошибок со средней энергией связи нуклонов фрагментирующих ядер, указывающее на то, что $\Delta^0(1232)$ -резонансы в основном образуются на связанных нуклонах ядер при их (ядер) коллективном возбуждении в исследованных соударениях.

4. Установлено, что ширины спектров быстротных распределений отрицательных пионов уменьшаются на $(8 \pm 2)\%$, $(5 \pm 1)\%$ и $(15 \pm 2)\%$, соответственно, при переходе от периферических к центральным $d{}^{12}\text{C}$ - $,$ ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - и ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениям, соответственно, а центры экспериментальных быстротных распределений π^- -мезонов смещаются на -0.32 ± 0.04 и -0.44 ± 0.02 единиц, соответственно, по направлению к области фрагментации мишени при переходе от периферических к центральным $d{}^{12}\text{C}$ - и ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениям, соответственно.

5. Установлено асимптотическое ($\gamma \rightarrow 0$ при $\sqrt{s_{nn}} \rightarrow \infty$) поведение зависимости параметра γ феноменологической модели GCM (Большая Комбинационная Модель) от энергии столкновения в системе центра масс на основе сравнения параметра γ , полученного в настоящей диссертации для быстротных распределений отрицательных пионов в центральных ${}^2\text{C}{}^{12}\text{C}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14 \text{ ГэВ}$), и параметрами γ , полученными ранее для пионов, образованных в центральных PbPb- и AuAu-соударениях при высоких энергиях.

6. Обнаружен разрыв между параметром γ , полученным в настоящей диссертации для быстротных распределений отрицательных пионов в центральных ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ -соударениях при 4.2 A ГэВ/с ($\sqrt{s_{nn}} = 3.14 \text{ ГэВ}$), и параметрами γ , полученными для пионов, образованных в центральных PbPb-

соударениях при энергиях SPS и AGS ($\sqrt{s_{nn}} \geq 6.3$ ГэВ), который согласуется с теоретическим расчётом энергии столкновения ($\sqrt{s_{nn}} \approx 5$ ГэВ) для фазового перехода адронной материи в состояние кварк-глюонной плазмы.

7. Установлены зависимости температур «мягкой» ($p_t=0.1\text{--}0.5$ ГэВ/ c) и «жёсткой» ($p_t=0.5\text{--}1.2$ ГэВ/ c) компонент экспериментальных распределений по поперечным импульсам отрицательных пионов в ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - и ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениях при $4.2 A$ ГэВ/ c от центральности соударений и размеров системы сталкивающихся ядер и показано, что разница между извлечёнными температурами обеих «мягкой» и «жёсткой» компонент p_t распределений π^- -мезонов увеличивается с увеличением центральности соударения.

8. Показано, что температура «мягкой» p_t компоненты отрицательных пионов в ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ (${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$)-соударениях увеличивается (уменьшается) с ростом центральности соударения, а температура «жёсткой» p_t компоненты π^- -мезонов в ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ (${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$)-соударениях увеличивается (уменьшается) систематически с ростом центральности соударения.

9. Установлено, что температура «мягкой» p_t компоненты π^- -мезонов уменьшается систематически с ростом размера соударяющейся системы в полуцентральных и центральных ядро-ядерных соударениях при $4.2 A$ ГэВ/ c , а температура «жёсткой» p_t компоненты π^- -мезонов увеличивается систематически с ростом размера сталкивающейся системы в центральных соударениях.

Обнаруженное уменьшение температуры T «мягкой» p_t компоненты π^- -мезонов в полуцентральных и центральных соударениях при переходе от ${}^4\text{He}{}^{12}\text{C}$ - к ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ - и далее к ${}^{12}\text{C}{}^{181}\text{Ta}$ -соударениям можно объяснить следующим: при увеличении размера соударяющейся системы увеличивается число перерассеяний пионов на нуклонах окружающей ядерной среды до конечной стадии их (пионов) кинетического «размораживания», когда система уже заметно «охлаждена». Установленное увеличение температуры T «жёсткой» p_t компоненты π^- -мезонов в центральных соударениях может быть объяснено ростом давления, достигаемого в зоне соударения (и, следовательно, увеличением T «горячих» пионов, испускаемых из этой зоны в начальной стадии соударения) или увеличением вероятности «жёстких» нуклон-нуклонных соударений с ростом размера сталкивающейся системы в центральных ядро-ядерных столкновениях.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
LIST OF PUBLISHED WORKS
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

I бўлим (Part I; Часть I)

1. *Olimov Kh.K., Lutpullaev S.L., Olimov K., Gulamov K.G., Olimov J.K.* Production of Δ^0 and Δ^{++} resonances in collisions of ${}^4\text{He}$ nuclei with carbon nuclei at 4.2 GeV/c per nucleon // Physical Review C. – American Physical Society (USA), 2007. – Vol. 75. – id.067901. – 4 p. (№ 1. Web of Science; IF=3.820).
2. *Olimov Kh.K.* Production of baryon resonances in $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ interactions at 40 GeV/c // Physical Review C. – American Physical Society (USA), 2007. –Vol. 76. – id.055202. – 7 p. (№ 1. Web of Science; IF=3.820).
3. *Olimov Kh.K.* Production of baryon resonances in collisions of ${}^4\text{He}$ nuclei with carbon nuclei at 4.2 GeV/c per nucleon // Physics of Atomic Nuclei. – Pleiades Publishing (USA), 2008. – Vol. 71, N 1. – pp. 93-97. (№ 1. Web of Science; IF=0.411).
4. *Olimov Kh.K.* Production of delta isobars on tantalum nuclei in CTa-collisions at a projectile momentum of 4.2 GeV/c per nucleon // Physics of Atomic Nuclei. – Pleiades Publishing (USA), 2010. – Vol. 73, N 3. – pp. 433-442. (№ 1. Web of Science; IF=0.411).
5. *Olimov Kh.K., Lutpullaev S.L., Yuldashev B.S., Huseynaliyev Y.H., Olimov A.K.* Production of $\Delta(1232)$ resonances on oxygen nuclei in ${}^{16}\text{O}+\text{p}$ collisions at a momentum of 3.25 GeV/c per nucleon // The European Physical Journal A. – Springer Verlag (Germany), 2010. – Vol. 44. – pp. 43-54. (№ 1. Web of Science; IF=2.373).
6. *Olimov Kh.K., Haseeb M.Q., Olimov A.K., Khan I.* Analysis of $\Delta^0(1232)$ production in collisions of protons with carbon nuclei at 4.2 GeV/c // Central European Journal of Physics. – Springer Verlag (Germany), 2011. – Vol. 9. – pp. 1393-1409. (№ 1. Web of Science; IF=0.765).
7. *Olimov Kh.K., Haseeb M.Q.* Production of $\Delta^0(1232)$ -resonances in $\text{p}+{}^{12}\text{C}$ collisions at a momentum of 4.2 GeV/c // The European Physical Journal A. – Springer Verlag, 2011. –Vol. 47. – id.79. – p. 16. (№ 1. Web of Science; IF=2.373).
8. *Olimov Kh.K., Haseeb M.Q., Khan I.* Comparison of characteristics of $\Delta^0(1232)$ produced in $\text{p}{}^{12}\text{C}$ and $\text{d}{}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c // Physics of Atomic Nuclei. – Pleiades Publishing (USA), 2012. – Vol. 75, N. 4. – pp. 479-487. (№ 1. Web of Science; IF=0.411).
9. *Olimov Kh.K., Haseeb M.Q., Khan I., Olimov A.K., Glagolev V.V.* $\Delta^0(1232)$ production in $\text{d}+{}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c. // Physical Review C. – American Physical Society (USA), 2012. – Vol. 85. – id.014907. – 14 p. (№ 1. Web of Science; IF=3.820).

10. *Olimov Kh.K.*, Haseeb M.Q., Hadi S.A. Rapidity and angular dependences of spectral temperatures of negative pions produced in $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c // International Journal of Modern Physics E. – World Scientific (Singapore), 2013. –Vol. 22, N. 4. – id.1350020. – 14 p. (№ 1. Web of Science; IF=1.198).
11. Khan I., *Olimov Kh.K.* Spectral temperatures of $\Delta^0(1232)$ resonances produced in $p^{12}\text{C}$ and $d^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 GeV/c per nucleon // Physics of Atomic Nuclei. – Pleiades Publishing (USA), 2013. – Vol. 76, N. 7. – pp. 883-887. (№ 1. Web of Science; IF=0.411).
12. *Olimov Kh.K.*, Haseeb M.Q. On spectral temperatures of negative pions produced in $d^{12}\text{C}$, $^4\text{He}^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c. //Physics of Atomic Nuclei. – Pleiades Publishing (USA), 2013. – Vol. 76, N. 5. – pp. 595-601. (№ 1. Web of Science; IF=0.411).
13. *Olimov Kh.K.*, Iqbal A., Glagolev V.V., Haseeb M.Q. Analysis of rapidity spectra of negative pions in $d+^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$, and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2 GeV/c per nucleon // Physical Review C. – American Physical Society (USA), 2013. – Vol. 88. – id.064903. – 11 p. (№ 1. Web of Science; IF=3.820).
14. *Olimov Kh.K.*, Hadi S.A., Haseeb M.Q. Centrality Dependence of Rapidity Spectra of Negative Pions in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ Collisions at 4.2 GeV/c per Nucleon // Physics of Atomic Nuclei.– Pleiades Publishing (USA), 2014. – Vol. 77, N. 5. – pp. 613-622. (№ 1. Web of Science; IF=0.411).
15. Iqbal A., *Olimov Kh.K.*, Khan I., Yuldashev B.S., Haseeb M.Q. On centrality and rapidity dependences of transverse momentum spectra of negative pions in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 GeV/c per nucleon // International Journal of Modern Physics E. – World Scientific (Singapore), 2014. –Vol. 23, N. 9. – id.1450047. – 19 p. (№ 1. Web of Science; IF=1.198).
16. *Olimov Kh.K.*, Iqbal A., Lutpullaev S.L., Khan I., Glagolev V.V., Haseeb M.Q. On transverse momentum spectra of negative pions in $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ collisions at 4.2A GeV/c per nucleon // International Journal of Modern Physics E. – World Scientific (Singapore), 2014. –Vol. 23, N. 12. –id.1450084. – 22 p. (№ 1. Web of Science; IF=1.198).
17. *Olimov Kh.K.*, Iqbal A., Lutpullaev S.L., Hadi S.A., Glagolev V.V., Yuldashev B.S., Haseeb M.Q. Centrality dependences of soft and hard components of p_t distributions of negative pions in $^4\text{He}+^{12}\text{C}$ collisions at 4.2 A GeV/c // International Journal of Modern Physics E. – World Scientific (Singapore), 2015. – Vol. 24, N. 5. – id.1550036. – 24 p. (№ 1. Web of Science; IF=1.198).
18. *Olimov Kh. K.*, Ali Q., Haseeb M.Q., Arif A., Lutpullaev S.L., Yuldashev B.S. Phenomenological analysis of rapidity distributions of negative pions in central $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14$ GeV // International Journal of Modern Physics E. – World Scientific (Singapore), 2015. – Vol. 24, N. 7. – id.1550049. – 21 p. (№ 1. Web of Science; IF=1.198).
19. *Olimov Kh. K.*, Olimov K., Gulamov K. G., Olimov A.K., Lutpullaev S.L., Yuldashev B.S., Haseeb M.Q. Partial inelasticity coefficients of negative pions in p , d , α , $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ and p , $^{12}\text{C}+^{181}\text{Ta}$ at 4.2 GeV/c per nucleon // International

Journal of Modern Physics E. – World Scientific (Singapore), 2015. – Vol. 24, N. 10. – id.1550070. – 9 p. (№ 1. Web of Science; IF=1.198).

20. *Olimov Kh.K.*, Iqbal A., Haseeb M.Q., Lutpullaev S.L., Yuldashev B.S. Centrality and system-size dependencies of temperatures of soft and hard components of p_t distributions of negative pions in $^4\text{He} + ^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ and $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$ Collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14 \text{ GeV}$ // Physical Review C. – American Physical Society (USA), 2015. – Vol. 92, N. 2. – id.024909. – 16 p. (№ 1. Web of Science; IF=3.820).

II бўлим (Part II; Часть II)

21. *Olimov Kh.K.*, Lutpullaev S.L., Olimov K., Petrov V.I., Gulamov K.G., Olimov J.K., Yuldashev B.S. The comparative analysis of production of the cumulative π^+ and π^- mesons in interactions of protons and nuclei with nuclei at high energies // “Nuclear and Radiation Physics”: Book of Abstracts of the VI International Conference June 4-7, 2007. – Almaty (Kazakhstan), 2007. – pp. 75-77.
22. Huseynaliyev Y.H., Suleymanov M.K., Khan. I., Olimov K., *Olimov Kh.K.* Production of Δ^0 -isobar in multi-nucleon $\pi^- + ^{12}\text{C}$ interactions at the momentum of 40 GeV/c // “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts of the VII International Conference September 22-25, 2009. – Tashkent, 2009. – pp. 73-74.
23. *Olimov Kh.K.* Production of baryon resonances on tantalum nuclei in CTa-collisions at the momentum of 4.2 GeV/c per nucleon // “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts of the VII International Conference September 22-25, 2009. – Tashkent, 2009. – p. 81.
24. *Olimov Kh.K.*, Sattarov A.R., Huseynaliev Y.H. Production of Δ^0 -isobars on oxygen nuclei in ^{16}O -interactions at the momentum of 3.25 GeV/c per nucleon // “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts of the VII International Conference September 22-25, 2009. – Tashkent, 2009. – p. 20.
25. *Olimov Kh.K.*, Lutpullaev S.L., Yuldashev A.A., Olimov A.K., Huseynaliyev Y.H. Production of Δ -resonances in ^{16}O interactions at a momentum of 3.25 GeV/c per nucleon // “Modern Problems of Nuclear Physics”: Proceedings of the VII International Conference September 22-25, 2009. – Tashkent, 2010. - pp. 269-279. (published in Uzbek Journal of Physics. – 2010. – Vol.12, N 4-6. – pp. 269-279.)
26. *Olimov Kh.K.*, Olimov K. Correlations in azimuthal plane in production of cumulative pions in relativistic hadron-nucleus and nucleus-nucleus collisions // “Fundamental and applied problems of physics”: Proceedings of the international conference, dedicated to 80th anniversary of academician M. S. Saidov (in Russian) 24-25 November, 2010. – Tashkent, 2010. – pp. 36-38.

27. *Olimov Kh.K.*, Khan I. About spectral temperatures of $\Delta^0(1232)$ produced in $p^{12}\text{C}$ and $d^{12}\text{C}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ // “Nuclear Science and Its Applications”: Book of Abstracts of the VI Eurasian Conference September 25-28, 2012. – Samarkand, 2012. – pp. 135-137.
28. *Olimov Kh.K.*, Haseeb M.Q. Spectral temperatures of π^- mesons produced in $d^{12}\text{C}$ ${}^4\text{He}^{12}\text{C}$, and ${}^{12}\text{C}{}^{12}\text{C}$ collisions at $4.2 \text{ A GeV}/c$ // “Nuclear Science and Its Applications”: Book of Abstracts of the VI Eurasian Conference September 25-28, 2012. – Samarkand, 2012. – pp. 137-139.
29. Лутпуллаев С.Л., *Олимов Х.К.*, Олимов К., Петров В.И. Образование Δ^0 -и Δ^{++} -изобар в адрон- и ядро-ядерных соударениях при высоких энергиях // “Фундаментальные и прикладные вопросы физики”: Сборник обзорных статей республиканской конференции, посвящённой 100-летию академика С.А. Азимова 6–7 ноября, 2014. – Ташкент, 2014. – с. 9-21.
30. *Olimov Kh.*, Lutpullaev S., Kanokova Sh., Yuldashev B. Phenomenological Analysis of Rapidity Distributions of Negative Pions in Symmetric ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$ Collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14 \text{ GeV}$ // “Fundamental and Applied Problems of Physics”: Proceedings of the International Conference November 5-6, 2015. – Tashkent, 2015. – pp. 4-9.
31. *Olimov Kh.*, Lutpullaev S., Kanokova Sh., Yuldashev B. System-size and centrality dependencies of temperatures of soft and hard components of p_t distributions of negative pions in ${}^4\text{He}+{}^{12}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$ and ${}^{12}\text{C}+{}^{181}\text{Ta}$ collisions at $\sqrt{s_{nn}} = 3.14 \text{ GeV}$ // “Fundamental and Applied Problems of Physics”: Proceedings of the International Conference November 5-6, 2015. – Tashkent, 2015. – pp. 10-14.
32. *Olimov Kh.K.*, Lutpullaev S.L., Olimov K., Yuldashev B.S., Gulamov K.G. Recent results on relativistic hadron-nucleus and nucleus-nucleus collisions obtained from bubble chamber experiments // “New Tendencies of Developing Fundamental and Applied Physics: Problems, Achievements, Prospectives”: Proceedings of the International Symposium November 10-11, 2016. – Tashkent, 2016. – pp. 10-12.
33. *Olimov Kh.K.* Recent results on investigation of relativistic hadron-nucleus and nucleus-nucleus collisions // “Fundamental and Applied Problems of Physics”: International Conference Tashkent (Conference Programme, Plenary Section), June 13-14, 2017. – Tashkent, 2017. – p. 3.

Талабгор

Х.К. Олимов

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди (19.02.2018 йил)