АҢДАТПА

Қасымхан Мұхтарұлы Байсеитовтің «8D05306 – Физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған «Кварк-глюонды плазманың кинетикалық және толқындық қасиеттері» диссертациялық жұмысына

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Бұл диссертацияда жүйені бейнелеудің әртүрлі модельдеріне негізделген кварк-глюон плазмасының динамикалық (кинетикалық) және толқындық қасиеттерін зерттеу нәтижелері ұсынылған.

Тақырыптың өзектілігі. Ядролық материяда қалыпты жағдайларда кварктар конфайнмент құбылысына байланысты әрқашан адрондар ішінде болады – оларды бөлек бақылау мүмкін емес. Өте жоғары температурада (жүздеген миллиард градус шамасында) және өте жоғары ядролық тығыздықта адрондар «балқиды», ал кварктар глюондармен бірге адрондық күйді құрайды. Кварктар мен глюондар (күшті өзара әрекеттесудің негізгі бөлшектері) адрондар ішінде емес (протондар, нейтрондар, мезондар және т.б.), «еркін» күшті өзара әрекеттесетін материя ретінде болатын материяның бұл ерекше күйі кварк-глюон плазмасы (КГП) деп аталады. Заттың бұл күйі ғаламда Үлкен жарылыстан кейінгі алғашқы ондаған микросекундта пайда болды. Қазіргі жағдайда кварк-глюон плазмасын CERN-дегі Үлкен адрон коллайдері сияқты аса қуатты бөлшектер үдеткіштерінде алуға болады.

Осылайша, КГП-ның негізгі қасиеттерін зерттеу ғаламның эволюциясының алғашқы кезеңдерін қарастыруға және материяның негізін құрайтын протондардың, нейтрондардың және атом ядроларының қалай пайда болғанын түсінуге бірегей мүмкіндік береді. Сонымен қатар, КГП бөлшектер мен өрістердің дәстүрлі тұжырымдамалары қолдануға келмейтін энергия тығыздығы жоғары материя күйін білдіреді. КГП қасиеттерін зерттеу физиканың жаңа аспектілеріне жарық түсіріп, бөлшектердің таныс қасиеттері жоғалатын материяның құрылымы мен жаңа фазалары туралы түсінігімізді кеңейтуге көмектеседі. Мысалы, КГП-ге жақын күйлер нейтрондық жұлдыздардың ядросында болуы мүмкін. Қазіргі заманғы коллайдерлік эксперименттерде кванттық хромодинамиканы – деконфинементты, фазалық ауысулар және жоғары энергиялар мен тығыздықтағы басқа құбылыстар сияқты ерекше құбылыстарды болжайтын күшті әрекеттесулер теориясын тексеру үшін де пайдалануға болады. КГП зерттеу үшін ең қуатты және бірегей үдеткіштер (RHIC, LHC), күрделі детекторлар және «күшті өзара әрекеттесетін сұйықтықтарды» талдаудың заманауи әдістері жасалуда, және бұл технологиялар медициналық технологиялардан (протон және иондық терапия) бастап жасанды интеллект үшін үлкен деректерді өңдеуге дейін байланысты салаларда қолданылуда. КГП қасиеттерін зерттеу синтез энергиясы, кванттық есептеулер және басқалар сияқты жаңа технологиялар мен материалдарды әзірлеу үшін маңызды салдарға ие. Соңында, КГП қасиеттерін зерттеу ежелгі

жалпы философиялық сұрақты түсіну үшін де өте маңызды: материя неден тұрады, ол экстремалды жағдайларда қандай формаларда өмір сүреді және т.б.

Жалпы алғанда, осы диссертацияда алынған нәтижелер материяның табиғаты туралы іргелі білімнің дамуына ықпал етеді және Әлем эволюциясының алғашқы кезеңдеріндегі физикалық процестер туралы түсінігімізді кеңейтеді.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты, кварк-глюон плазмасының бөлшектерінің өзара әрекеттесу модельдерін зерттеу және әзірлеу, оның динамикалық және басқа да физикалық қасиеттеріне әртүрлі әсерлердің әсерін ескере отырып, өзекті болып табылады.

Осылайша, бұл диссертация кварк-глюон плазмасының динамикалық (кинетикалық) және толқындық қасиеттерін зерттеуге арналған.

Диссертацияның мақсаты - кварк-глюон плазмасының кинетикалық және толқындық қасиеттерін соқтығысу және гидродинамикалық әсерлерді ескеретін әртүрлі өзара әрекеттесу модельдеріне негізделген зерттеу.

Бұл мақсатқа жету үшін келесі **мәселелерді** шешу қажет болды:

1. Әртүрлі КГП модельдері үшін плазманың және оның бетінің диэлектрлік функцияларының (өтімділігінің) аналитикалық өрнектерін талдау.

2. Әртүрлі КГП модельдері үшін плазмадағы толқындардың дисперсия қатынастарын есептеу.

3. Әртүрлі КГП модельдері үшін оның бетіндегі толқындардың дисперсия қатынастарын есептеу.

4. Әртүрлі орта модельдері шеңберінде кварк-глюон плазмасындағы толқындардың таралуын зерттеу.

Зерттеу нысаны: Өте жоғары температура мен тығыздықтағы кварк-глюон плазмасы.

Зерттеу тақырыбы: Әртүрлі өзара әрекеттесу модельдеріне негізделген кварк-глюон плазмасының кинетикалық, гидродинамикалық және толқындық қасиеттері.

Зерттеу әдістері: Бұл мақсатқа жету үшін қажетті есептерді шешу үшін келесі әдістер қолданылды: кинетикалық теңдеулер, сызықтық диэлектрлік жауап функциясы әдісі, дисперсия қатынастары және дифференциалдық, интегралдық және алгебралық теңдеулерді шешудің сандық әдістері. Дисперсиялық қатынасты анықтау арқылы оптикалық сипаттамаларды есептеу үшін тиімді бөлшектердің өзара әрекеттесу модельдері қолданылды.

Жұмыстың жаңалығы. Бұл диссертацияның жаңалығы мен өзіндік ерекшелігі оның келесідей **алғашқы болып**:

• соқтығысу және тұтқыр кварк-глюон плазмасындағы толқындар үшін дисперсия қатынастары алынды;

• ұзын толқын ұзындығы шегіндегі әртүрлі модельдік қарастыру кезінде ортадағы толқындар үшін дисперсия қатынастарының қасиеттері талдалды;

• соқтығысу және тұтқыр кварк-глюон плазмасындағы беттік толқындар үшін дисперсия қатынастары алынды;

• ортаның соқтығысу және тұтқыр модельдеріне негізделген кварк-глюон плазмасындағы толқындардың таралуы зерттелді.

Қорғауға ұсынылған қағидалар:

1. Кварк-глюон плазмасындағы соқтығысулар $\nu = 0$-ден $\nu = 0{,}4\omega_p$-ге дейінгі соқтығысу жиіліктері және $k = 0$-ден $k = 4{,}0\omega_p$-ге дейінгі толқын сандары үшін ортадағы қума толқындар жиілігінің төмендеуіне әкеледі, ал тұтқырлық $\nu = 0$-ден $\nu = 0{,}4\omega_p$-ге дейінгі соқтығысу жиіліктері және $k = 0$-ден $k = 4{,}0\omega_p$-ге дейінгі толқын сандары үшін ортадағы қума толқындар жиілігінің төмендеуіне әкеледі.
2. Жүйедегі бөлшектердің соқтығысу жиілігі артқан сайын, ұзын толқын шегіндегі тербелмелі режимдердің жиілігі төмендейді, бұл плазмадағы зарядтың бөлінуінің қиындықтарына әкеледі. Кварк-глюон плазмасындағы соқтығысулар $\nu = 0$-ден $\nu = 0{,}4\omega_p$-ге дейінгі соқтығысу жиіліктері үшін ұзын толқын шегіндегі ортадағы бойлық толқындар жиілігінің айырмашылығына әкеледі.
3. Кварк-глюон плазмасының бетінде бөлшектердің соқтығысуы мен ортаның тұтқырлығының есепке алуына байланысты қосымша тербеліс түрлері пайда болады: соқтығысу моделінде $k = 0$-ден $k = 1.0m_D$-ге дейінгі толқын сандары үшін $\omega = 0.6m_D$-ден $\omega = 1.4m_D$-ге дейінгі жиіліктегі беттік толқындар пайда болады; тұтқырлықты есепке алғанда $k = 0$-ден $k = 1.0\omega_p$-ге дейінгі толқын сандары үшін $\omega = 1.0\omega_p$-ден $\omega = 1.4\omega_p$-ге дейінгі жиіліктегі беттік толқындардың пайда болуына әкеледі.
4. Соқтығысу және тұтқыр ортадағы $k = 0$-ден $k = 1.0\omega_p$-ге дейінгі толқын сандары диапазонында толқындардың фазалық жылдамдығы сәйкесінше алты және он есе төмендейді, ал соқтығысу және тұтқыр кварк-глюон плазмалық ортасындағы $k = 0$-ден $k = 2.0\omega_p$-ге дейінгі толқын сандары үшін толқындардың топтық жылдамдығы ұзын толқын шегінде кішірек мәнге ие, бұл ұзын толқын шегінде күшті дисперсия құбылысын дәлелдейді.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы. Бұл диссертацияның нәтижелері материяның негізгі қасиеттерін түсіну, алғашқы Ғалам мен астрофизикалық объектілерді модельдеу және практикалық қолдану үшін құнды. КГП динамикалық және толқындық қасиеттеріне ұжымдық әсерлердің әсерін зерттеу тиісті процестерді модельдеу үшін қажетті ортаның физикалық қасиеттерін, сондай-ақ нейтрондық жұлдыздар, ақ және қоңыр ергежейлілер және алып планеталар сияқты астрофизикалық объектілердің эволюциясын түсіну үшін жеткілікті түрде анықтауға мүмкіндік береді. Ультрарелятивистік ауыр ядролардың соқтығысуын зерттеу медицинада, материалтануда және ядролық энергетикада кеңінен қолданылатын заманауи үдеткіш технологияларын (LHC, RHIC) жетілдіруге мүмкіндік береді. Детекторлық технологиялар, үлкен деректерді өңдеу және ультрарелятивистік үдеткіштердегі эксперименттердің ажырамас атрибуттары болып табылатын компьютерлік модельдеу әдістерін әзірлеу жасанды интеллект саласындағы прогреске ықпал етеді.

Автордың жеке үлесі толық диссертациялық жұмысты, зерттеу әдісін таңдауды, есептерді аналитикалық әдістермен шешуді және сандық

есептеулерді Python, c++ және Wolfram Mathematica бағдарлама тілдерінде барлығын өз бетінше орындады. Есептерді тұжырымдау және нәтижелерді талқылау ғылыми жетекшілермен бірлесіп жүргізілді.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі. Диссертацияда белгілі физикалық модельдер мен дәлелденген математикалық әдістер қолданылды. Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі импакт-факторлары бар халықаралық журналдардағы, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылымды бақылау комитеті ұсынған журналдардағы және шетелдік халықаралық ғылыми конференциялар материалдарындағы жарияланымдармен расталады.

Диссертацияны апробациялау. Диссертацияда алынған нәтижелер келесі жерлерде ұсынылды және талқыланды:

- «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясында (2020, Алматы, Қазақстан);
- «Идеал емес плазма физикасы (Non-ideal plasma physics)» халықаралық конференциясында (2020, Мәскеу, Ресей);
- «Плазма физикасы бойынша 47-ші EPS конференциясы (47th EPS Conference on Plasma Physics)» халықаралық конференциясында (2021, Испания);
- «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясында (2021, Алматы, Қазақстан);
- «Идеал емес плазма физикасы бойынша 17-ші халықаралық конференция (17th International Conference on the Physics of Non-Ideal Plasmas, PNP-2021)» халықаралық конференциясында (2021, Дрезден, Германия);
- «Күшті байланысқан кулон жүйелері бойынша халықаралық конференция (International Conference on Strongly Coupled Coulomb Systems, SCCS-2022)» халықаралық конференциясында (2022, Горлиц, Германия);

Статьи в журналах, входящих в Q3 и Q4 квартиль по базе данных Scopus с процентилем CiteScore.

1. Baiseitov K., Blaschke D., Ramazanov T.S. Collective bulk excitations in the QGP: From the weakly non-ideal case to the strong correlation limit // Contrib Plasma Phys. 2023. Т. 63, № 9–10. Б. e202300015. doi.org/10.1002/ctpp.202300015. Q3, CiteScore 2.4, процентиль 37%.

2. Baiseitov K., Moldabekov, Z.A., Blaschke, D., Djienbekov, N., Ramazanov, T.S. Surface waves in a collisional quark-gluon plasma // Phys Part Nucl Lett. 2020. Т. 17, № 6. Б. 803–808. doi.org/10.1134/S1547477120060035. Q4, CiteScore 0.7, процентиль 27%.

3. Baiseitov K., Blaschke D., Kuanyshbaiuly Ye. Phase and group velocities of waves in medium of Quark-gluon plasma // Phys. Sci. Technol. 2024. Т. 11, № 1–2. Б. 102–108. DOI: 10.26577/phst2024v11i1a12. Q4, CiteScore 0.7, процентиль 24%.

ҚР Жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім беру саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдардағы мақалалар.

4. Baiseitov K. Dielectric function of quark-gluon plasma // Bull. NAS RK. 2021. Т. 4, № 338. Б. 15–24. DOI: 10.32014/2021.2518-1726.61.

5. Байсеитов К. Волны в среде вязкостной кварк-глюонной плазмы // Проблемы эволюции открытых систем. – 2024. – Т. 26, №1. – Б. 3–9. DOI: 10.26577/JPEOS.2024.v26.i1-i1.

Халықаралық ынтымақтастық аясында профессор Д. Блашкемен (Вроцлав университеті, Польша), профессор М. Газдицкиймен (CERN, Швейцария), профессор М. Боницпен (Киль, Германия) талқыланды.

Басылымдар. Диссертация материалдары бойынша он бір мақала жарияланды: үшеуі PhD диссертацияларының негізгі нәтижелерін жариялау үшін Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылымды бақылау және қадағалау комитетінің тізіміне енген журналдарда, екеуі Web of Knowledge (Thomson Reuters Clarivate Analytics, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурсына енген импакт-факторы бар халықаралық журналдарда және алты мақала халықаралық ғылыми конференциялар материалдарында жарияланды.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы. Диссертациялық жұмыс ҚР БҒМ ҒК «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» іргелі және қолданбалы зерттеу жұмыстарының (ҒЗЖ) жоспарларына сәйкес келесі тақырыптар бойынша орындалды: «Классикалық, кванттық және ультрарелятивистік плазмадағы күшті корреляцияланған ауыр бөлшектердің динамикасына ояу өрістің әсері» (2020-2022 жж., AP08052503 коды, мемлекеттік тіркеу); «Бәсекеге қабілетті технологияларды дамыту үшін ядролық және радиациялық физика, жоғары энергиялы физика және космология саласындағы кешенді зерттеулер» (2021-2023 жж., BR10965191 коды, мемлекеттік тіркеу); «Қазіргі заманғы энергетика мәселелерін шешу және жаңа функционалды материалдарды алу мақсатында плазмалық физиканың, плазма тәрізді орталардың іргелі және қолданбалы мәселелерін зерттеу» (2022-2024 жж., BR18574080 коды, мемлекеттік тіркеу).

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертация кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан және 147 әдебиеттер тізімінен тұрады. Онда 24 суретті қоса алғанда, 101 бет негізгі компьютерлік мәтін бар.