«*6D060400 – Физика*» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациясына

АҢДАТПА

ЕРИМБЕТОВА ЛАЗЗАТ ТАСТАНБЕКОВНА

ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМАНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗІНДІК КЕЛІСІЛГЕН МОДЕЛІ

Диссертациялық жұмыста тозаңды плазманың статикалық және динамикалық қасиеттері ұсынылған өлшемдері шектеулі тозаң бөлшектерінің өзара әрекеттесуінің тиімді потенциалы негізінде зерттелінді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі.

Тозаңды плазма немесе тозаң деп аталатын макроскопиялық өлшемдегі бөлшектері бар плазма бірнеше онжылдықтар бойы ғалымдардың назарын аударады. Бұл қызығушылықтың пайда болуы тозаңды плазманың бір жағынан ғарыш кеңістігінде кең таралғандығынан, ал екінші жағынан технологиялық қондырғыларда жұмыс денесі болып табылуында. Бұдан басқа, тозаңды плазма зертханалық жағдайларда оның әртүрлі қасиеттерін зерттеу мақсатында зерттеу объектісі ретінде әдейі жасалынады. Осының барлығы қазіргі уақытта тозаңды плазмада өтілетін үрдістердің теориялық, эксперименттік тұрғыдан, сондай-ақ компьютерлік үлгілеу әдістерінің көмегімен қарқынды зерттелуіне алып келеді.

Басқарылатын термоядролық синтезді жүзеге асыруда туындайтын ерекше атап өтетін басты мәселелердің бірі ол жоғары температуралы плазманы қыздыру және ұстап тұру. Жоғары температуралы плазманың реактордың қабырғаларымен байланысын болдырмау мүмкін емес және де оны толық болдырмау мүмкін емес десекте болады. Бұл байланыс термоядролық қондырғының ішінде бірінші қабырға материалынан тұратын тозаң компоненттерінің пайда болуына әкеледі. Қабырға аймағында тозаңның пайда болуы бірінші қабырға мен жоғары температураға дейін қыздырылған плазма арасындағы жылу алмасу үрдістеріне дереу әсер етеді, бұл плазманы ұстап тұру үрдісіне әсер етеді, демек, тозаң компоненттерінің пайда болуының плазмаға әсері және реактор қабырғалары материалының физикалық қасиеттеріне әсері, оның термодинамикалық қасиеттері мен электродинамикалық сипаттамаларын зерттеу, осындай *өзекті* мәселені шешу қажеттілігіне әкеледі.

Тозаңды плазманың бірегей қасиеттерінің болуы плазмадағы тозаңды бөлшектердің үлкен электрлік зарядқа ие болуымен түсіндіріледі. Сонымен,

қатаң айтқанда, тозаң плазмасы физикалық қасиеттері өте көп үрдістер мен құбылыстар санымен анықталатын ашық жүйе болып табылады. Сондықтан тозаң плазмасы әдебиетте жиі кешенді деп аталады. Тозаң плазмасын зерттеу басталған сәттен бастап оны әртүрлі сыртқы жағдайлар шартында түсінуде айтарлықтай прогреске қол жеткізгеніне қарамастан, алынған нәтижелердің бір қатары әлі де физикалық интерпретацияны қажет етеді, бұл өз кезегінде осы саланың одан әрі дамуын ынталандырады.

Тозаң плазмасының жақын арада кең практикалық қолдану табатынын көпшілік мойындалған, бірақ та ол, сонымен қатар, тозаң бөлшектерінің динамикасын жоғары жылдамдықты бейнекамераның көмегімен экспериментте тіркеуге болатынымен, ал ол көптеген зарядталған бөлшектер жүйелері үшін әзірленген теориялық тәсілдерді тікелей тестілеуге мүмкіндік беретінімен қызықты.

Жоғарыда баяндалғанның негізінде диссертациялық жұмыс өзекті болып табылу себебі тозаңды плазманың статикалық және динамикалық қасиеттерінің өзіндік келісілген теориясын құруға арналған, тозаң бөлшектерінің заряды, олардың өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы секілді сипаттамаларды анықтау үшін және олардың негізінде корреляциялық функциялар мен термодинамикалық потенциалдарды, сондай-ақ моменттер әдісі аясында тозаңды жүйелердің динамикалық және құрылымдық факторлары мен диэлектрлік сипаттамаларын есептеуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың мақсаты

Жұмыстың негізгі мақсаты тозаң плазмасының статикалық және динамикалық қасиеттерінің өздігінен келісілген теориясын құру болып табылады, ол тозаң бөлшектерінің көлемін біртіндеп есепке алады. Бұл бірыңғай тәсіл негізінде әртүрлі бірлескен құбылыстарды сипаттауға мүмкіндік береді, тозаң бөлшектерінің таралу үрдісі кезінде қайта зарядталуын ескеретін тозаң-акустикалық толқындар спектрі.

Зерттеу нысаны – өлшемдері шектеулі тозаңдары бар тозаңды плазма болып табылады.

Зерттеу пәні тозаң компоненттерінің статикалық және динамикалық сипаттамалары, бөлшектердің өзара әрекеттесу потенциалы, таралудың радиалды функциялары және статикалық құрылымдық факторлар, термодинамикалық функциялар, динамикалық құрылымдық фактор және оның моменттері, дисперсия және тозаң-акустикалық толқындардың өшу декременті секілді.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесідей **есептерді** шешу қажет:

– Тозаң бөлшектері зарядының буферлік плазма параметрлеріне тәуелділігін зерттеу;

– Плазмада өлшемдері шектеулі, зарядталған тозаңдардың өзара әрекеттесуінің тиімді потенциалдарын құру және талдау;

– Интегралды теңдеулер әдісімен тозаң бөлшектерінің корреляциялық функцияларын есептеу (гиперцепті жақындаудағы Орнштейн-Церник теңдеуі және оның жалпыланулары);

– Алынған корреляциялық функциялар негізінде плазманың тозаң компоненттерінің термодинамикалық қасиеттерін анықтау;

– Моменттер әдісін қолдану арқылы плазманың қатты байланысқан тозаңды компоненттерінің динамикалық құрылымдық факторларын алу, дисперсиясын және тозаң-акустикалық толқындардың өшу декрементін есептеу.

Қорғауға шығарылатын мәселелер:

– Сызықтық диэлектрлік үн теориясы аясында тозаң бөлшектерінің өлшемін ескеретін өзара әрекеттесу потенциалы, экрандау параметрінің кіші мәндерінде $\kappa \ll 1$ Юкава потенциалымен дерлік сәйкес келеді, ал оның өсуімен жүйелі түрде жоғары жатады;

– Статикалық құрылымдық фактор қисығындағы бірінші максимумның орны байланыс параметрі $\Gamma = 20 \div 100$ интервалында ұлғайған кезде және экрандау параметрі $\kappa = 1 \div 3$ интервалында азайған кезде ~ 10 пайызға аз толқындық сандарға қарай ығысады, ал тозаңдық бөлшектер қаптама тығыздығы $\eta = 10^{-8} \div 10^{-1}$ интервалы ретке өзгерген кезде бірінші шың орны іс жүзінде өзгеріссіз қалады;

– Қатты байланыстағы тозаң компоненттерінің изотермиялық қысылуында тозаң бөлшектерінің қайта зарядталу құбылысын ескеретін, тозаң-акустикалық толқындардың спектрі, тозаң қаптама тығыздығының параметрі $\eta = 10^{-9} \div 10^{-5}$ интервалында өзгерген кезде өз түрін сапалы өзгертеді, яғни максимумның болуы толқын санына байланысты монотонды өсуімен алмасатындай етіледі;

– Тозаң-акустикалық толқындардың спектрінде байланыстың үлкен параметрлерінде ротондық минимум пайда болады, оның жағдайы статикалық құрылымдық фактордың қисығында бірінші максимумның жағдайына сәйкес келеді, бұл Фейнманның гипотезасын, яғни олардың өзара кері тәуелділігі туралығын тікелей растайды. Осыған сәйкес ротон минимумының толқындық саны тозаң қаптама тығыздығының $\eta = 10^{-8} \div 10^{-1}$ интервалдағы әртүрлі өзгеруі кезінде өзгеріссіз қалады.

Диссертациялық жұмыстың нәтижесінің ғылыми жаңалығы. Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы, бұл жұмыста **алғаш рет**:

– Плазманың классикалық электродинамикасы аясында тозаңды плазмадағы бөлшектердің өзара әрекеттесу моделі әзірленді, ол тозаңның өлшемдерінің шектеулігін және өрістің экрандалу құбылысын есепке алады, бұл тозаңды бөлшектердің бетінде шекаралық шартты дұрыс ескеруге мүмкіндік береді;

– Статикалық құрылымдық фактордың қисықтарындағы бірінші шыңның орны тозаң бөлшектерінің қаптау тығыздығына байланысты емес екендігі және де ол байланыс пен экрандау параметрлерімен анықталатыны орнады;

– Тозаң компоненттерінің изотермиялық сығылуында тозаң бөлшектерін қатты байланысқан тозаң компонентінде қайта зарядтау үрдістері ескерілді, бұл тозаң-акустикалық толқындар спектрінің сапалы түрде өзгеруіне әкеледі, тіпті өте кішкентай өлшемдегі тозаң бөлшектері үшін;

– Моменттер әдісінің көмегімен ротон минимумы мен статикалық құрылымдық фактор қисығының бірінші максимум жағдайы арасындағы байланыс орнатылған.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы.

Диссертациялық жұмыста плазманың өлшемдері шектеулі тозаңды компоненттерінің статикалық және динамикалық сипаттамаларының реттік теориясы дамыған. Құрылған өзіндік келісілген модель жүйенің тепе-тең қасиеттерін дұрыс сипаттайды және параметрлері әртүрлі астрофизикалық объектілерге, токамактардың қабырға аймағындағы термоядролық синтез жағдайларына, сондай-ақ Халықаралық ғарыш станциясындағы эксперименттерге сәйкес келетін идеалды емес тозаң компоненттердің күй теңдеуін және оның корреляциялық энергиясын есептеу үшін пайдалануға мүмкін береді. Динамикалық құрылымдық факторлар мен тозаң-акустикалық толқындардың спектрлері плазмалық ортаның диагностикасын жүргізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Осылайша, жоғарыда аталған барлық нәтижелер тозаң плазмасында болып жатқан түрлі үрдістерді зерттеуге байланысты мәселелерді шешу үшін практикалық және теориялық маңызы бар.

Жұмыстың нәтижесінің нақтылығы. Диссертациялық жұмыста белгілі физикалық модельдер мен апробацияланған математикалық әдістер қолданылды. Компьютерлік модельдеу негізінде алынған нәтижелер молекулалық динамика әдісі, Монте-Карло әдісі сияқты әртүрлі теориялық тәсілдермен келісіледі. Идеалды емес жүйелердің статистикалық физикасының

әртүрлі тәсілдерін қолдану кезінде, мысалы, басқа тәсілдердің авторларымен корреляциялық функцияны есептеу кезінде интегралды теңдеулер әдісі және Монте-Карло әдісімен моделдеу тым үлкен емес қаптама тығыздығында жақсы келісілген нәтижелер береді. Айтарлықтай үлкен емес қаптама тығыздығы мәндерінде Орнштейн-Церникадағы гиперцепті және базалық гиперцепті жақындаулардағы теңдеулері арқылы таралудың радиалды функциясын есептеген бойынша іс жүзінде сәйкес келетін нәтижелерді береді.

Алынған нәтижелер қойылған мақсаттардың ішкі логикасымен негізделген ішкі бірлікпен сипатталады және сенімді болып табылады, өйткені күшті өзара бөлшектік әрекеттесетін жүйелер үшін әзірленген плазма физикасының белгілі және сынақтан өткізілген әдістеріне негізделген.

Сондай-ақ алынған нәтижелердің анықтығы мен негізділігі жоғары импакт-факторлы алыс шетел журналдарында және ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, сондай-ақ жақын және алыс шетелдердің халықаралық ғылыми конференцияларының еңбектерінде жарияланымдармен расталады.

Автордың өзінің тигізген үлесі бүкіл диссертациялық жұмыс, зерттеу әдісін таңдау, есепті шығару мен сандық есептеулер автордың өзімен жасалды. Есепті таңдау мен зерттеу нәтижелерін талдау ғылыми жетекшілермен бірге жүргізілді.

Басылымдар. Диссертация материалы бойынша 30 жазба жұмысы жарияланған: 5 жоғары импакт факторлы халықаралық информациялық Web of Knowledge (Thomson Reuters, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланд) қорына кіретін журналдарда, 14 ҚР БҒМ БҒСБК тізіміне кіретін журналдарда, 11 халықаралық ғылыми конференция жинақтарында, соның ішінде 6 шет ел конференцияларында.

Апробацияланған диссертациялық жұмыстар. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесі конференцияларда талқыланды:

– плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасының ғылыми семинарларында, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ.

– ҚР ҰҒА академигі М. М. Әбділдиннің 75 жылдығына арналған "Заманауи физиканың өзекті мәселелері" атты халықаралық конференциясында Алматы, 2013;

– "Физиканың заманауи жетістіктері және іргелі физикалық білім беру" атты 8-ші Халықаралық ғылыми конференция, 9-11 қазан 2013 жыл, Алматы, Қазақстан;

– "Физика және жаңа технологиялардың қазіргі заманғы мәселелері" атты халықаралық конференциясында, 2014 жылғы 21-22 ақпан;

– International Conference “Strongly Coupled Coulomb Systems”, Santa Fe, USA, 2014;

– 14th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, 26-29 May, 2015, Auburn, Alabama, USA;

– International Conference on the Physics of Non-ideal Plasmas – 15, 2015 (Almaty, Kazakhstan);

– VIII International Conference on Plasma Physics and Plasma Technology, September 14-18, 2015, Minsk, Belarus, Contributed Papers;

– 42nd IEEE International Conference on Plasma Science, 2015, Belek, Turkey;

– 42nd European Physical Society Conference on Plasma Physics, Lisbon, Portugal, 2015;

– 43rd IEEE International Conference Plasma Science, June 19-23, 2016, Banff, Alberta, Canada;

– II, III және IV Халықаралық Фараби оқулары, 2015, 2016 және 2017 жж физика-техникалық факультетінің "Плазма физикасындағы бейсызық және корреляциялық құбылыстар" ғылыми семинарында, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ;

– "Физиканың заманауи жетістіктері және іргелі физикалық білім беру" атты 9-шы Халықаралық ғылыми конференциясы Қазақстан, Алматы, 12-14 қазан, 2016;

– International Conference on Strongly Coupled Coulomb Systems, 2017 (Kiel, Germany);

– 16th International Conference on the Physics of Non-ideal Plasmas – Saint-Malo, France, 2018.

Диссертацияның тақырыбының ғылыми жұмыстардың жоспарымен байланысы. Диссертациялық жұмыс ҚР БҒМ БҒСБК-нің фундаментальды ғылыми-зерттеу «Ғылыми зерттеулерді гранттық түрде қаржыландыру» бағдарламасы жоспарларымен сәйкестігінше келесідей тақырыптар бойынша жасалынды:

– «Бөлшектердің ұсынылған әсерлесу моделі бойынша тозаңды плазманың қасиеттерін зерттеу» (2012-2014 жж., мемлекеттік тіркеу 0112РК00935, шифрі 1129/ГФ);

– «Шекті өлшемдегі бөлшектері бар тозаңды плазманың статистикалық қасиеттерінің өзіндік келісілген моделі» (2015-2017 жж., мемлекеттік тіркеу 0115РК01051, шифрі 3120/ГФ4);

– «Тығыз кулондық жүйелердің динамикалық және оптикалық қасиеттерін зерттеу» (2015-2017 жж., мемлекеттік тіркеу № 0115РК01050, шифрі 3119/ГФ4)

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытынды және 178 қолданылған әдебиеттер тізімінен, 125 негізгі компьютерлік мәтіннен, 92 суреттен және 1 кестеден тұрады.