

АНДАТПА

«6D060400 – Физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған Исмагамбетова Томирис Нұрланқызы
«Кванттық идеал емес плазманың құрылымдық және термодинамикалық қасиеттері» диссертациялық жұмысына

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыста бөлшектердің өзара әрекеттесуінің тиімді модельдеріне негізделген кванттық идеал емес плазманың құрылымдық және термодинамикалық қасиеттерін зерттеу нәтижелері ұсынылған.

Тақырыптың өзектілігі.

Тығыз плазмада, сондай-ақ экстремалды орта шарттарында бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесуді зерттеу фундаментальды тұрғыдан (алып планеталар мен жұлдыздардың, сонымен қатар жоғары температуралы тығыз зат (Warm Dense Matter, WDM) физикасын түсіну үшін) және практикалық қосымшалар үшін, мысалы, инерциялық басқарылатын термоядролық синтез үшін (ИТС – Inertial confinement fusion, ICF) үлкен маңыздылыққа ие. Құрамындағы бөлшектердің өзара әрекеттесуі ықпалды рөл атқаратын плазманы тығыз плазма деп анықтауға болады. Тығыз плазмадағы бөлшектер арасындағы қашықтық де Бройль толқын ұзындығымен пара-пар болатындай кеміген кезде, өзара әрекеттесетін бөлшектердің кванттық табиғатын ескеру маңызды болып табылады. Яғни, плазманың кем дегенде бір компоненті (иондарға қарағанда массасының аз болу себебінен бұл әдетте электрондар) азғындалуға ұшырайды және мұндай плазма кванттық немесе азғындалған деп аталады.

Кванттық плазманы зерттеуге арналған жердегі эксперименттер Э. Лоуренс атындағы Ливермор ұлттық зертханасында (Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL, АҚШ) орналасқан NIF (The National Ignition Facility – лазерлік термоядролық реакциялардың ұлттық кешені), Сандия ұлттық зертханаларында (Sandia National Laboratories, SNL, АҚШ) орналасқан магниттелген Z-пинч және Z-машина (Z Pulsed Power Facility), Гельмгольц атындағы ауыр иондарды зерттейтін зерттеу орталығында (GSI Helmholtz, Дармштадт, Германия) орналасқан FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research), IMP-Ланчжоу және X-FEL (European X-Ray Free-Electron Laser Facility – Еуропалық бос электронды рентгендік лазер), Гамбургтегі (Германия) DESY (German electron Synchrotron – неміс электронды синхротрон) сынды эксперименттік қондырғыларда жүзеге асырылады.

Демек, плазма құрылымына және оның басқа да физикалық қасиеттеріне әсер ететін плазма компоненттерінің (яғни, электрондар мен иондардың) әртүрлі кванттық және механикалық эффектілерін ескере отырып, кванттық плазма бөлшектерінің өзара әрекеттесу модельдерін әзірлеу және зерттеу өзекті мәселе болып отыр.

Бұл жұмыстың негізгі идеясы кванттық идеал емес плазманың құрылымдық және термодинамикалық қасиеттерін зерттеуге негізделген.

Диссертациялық жұмыс ҚР БҒМ ҒК «ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» негізінде жүргізілетін іргелі ғылыми-зерттеу жұмыстарының (ҒЗЖ) жоспарларына сүйене отырып, келесі тақырыптар бойынша жүзеге асырылды: «Ауыр иондардан тұратын идеал емес және көп компонентті тығыз плазманың құрылымдық, транспорттық және термодинамикалық қасиеттерін зерттеу» (2020-2022 жж., шифры: АР08856650, мемлекеттік тіркеу №: 0120РК00575); «Плазманың қасиеттерін және термоядролық энергетикалық реакторлардағы плазмалық белдіктің камераішілік материалдармен әсерлесуін зерттеу» (2020-2022 жж., шифры: АР09259081, мемлекеттік тіркеу №: 0121РК00295); «Бөлшектердің өзара әсерлесу модельдеріне негізделген идеал емес комплексті плазманың фундаменталды қасиеттерін зерттеу» (2018-2020 жж., шифры: АР05134366, мемлекеттік тіркеу №: 0118РК00603); «Бөлшектердің өзара әсерлесу модельдері және идеал емес плазманың фундаменталды қасиеттері» (2015-2017 жж., шифры: 3086/ГФ4, мемлекеттік тіркеу №: 0115рк01046); «Инерциялды термоядролық энергетикалық реактордағы тығыз плазманың релаксациялық және транспорттық қасиеттері» (2013-2015 жж., шифры: 1573/ГФ3, мемлекеттік тіркеу №: 0113РК00392); «Псевдопотенциалды модельдердің негізінде комплексті плазманың қасиеттерін зерттеу» (2012-2014 жж., шифры: 1116/ГФ, мемлекеттік тіркеу №: 0112РК00977).

Жұмыстың мақсаты – идеал емес кванттық сутегі плазмасының құрылымдық және термодинамикалық қасиеттерін өрісті экрандау және кванттық-механикалық эффектілерді ескере отырып, әртүрлі әсерлесу модельдеріне негізделе зерттеу.

Мақсатқа қол жеткізу үшін келесідей **міндеттерді** орындау қажет:

1. Өзара әсерлесудің әртүрлі тиімді потенциалдары үшін аналитикалық өрнектерді алу.

2. Экрандалған тиімді потенциал әдісі аясында идеал емес сутегі плазмасының радиалды таралу функцияларын есептеу.

3. Есептелген радиалды таралу функциялары негізінде идеал емес сутегі плазмасының термодинамикалық қасиеттерін (корреляциялық энергияны және идеалды газ қысымына түзетуді) анықтау.

Зерттеу объекті – кванттық идеал емес сутегі плазмасы.

Зерттеу пәні – радиалды таралу функциялары, термодинамикалық функциялар (ішкі энергия және күй теңдеуі).

Зерттеу әдістері. Алға қойылған мақсаттарға қол жеткізу үшін қажетті есептерді шешуде келесі әдістер қолданылды: сызықтық диэлектрлік жауап беру функциялары әдісі, радиалды таралу функцияларын есептеу үшін интегралдық теңдеулер әдісі. Жүйенің радиалды функцияларын анықтау арқылы термодинамикалық сипаттамаларды есептеу үшін бөлшектердің өзара әсерлесуінің тиімді модельдері қолданылды.

Жұмыстың жаңашылығы. Диссертациялық жұмыстың жаңашылығы мен өзіндік ерекшелігі – алғыш рет:

– электрондармен экрандалу және иондардың дифракциясының кванттық эффектілерінің әсерін ескере отырып, кванттық плазмадағы иондардың өзара әсерлесуінің тиімді потенциалы алынды;

– алынған ион-иондық потенциал негізінде кванттық сутегі плазмасының құрылымдық және термодинамикалық қасиеттеріне иондардың дифракциясының кванттық эффектілерінің үлесі анықталды;

– сутегі плазмасындағы бөлшектердің өзара әсерлесуінің экрандалған тиімді потенциалы аясында спиндік бағдарланудың термодинамикалық қасиеттерге әсері зерттелді.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері ғалам эволюциясын түсіну үшін де, практикалық қосымшалар үшін де өте құнды. Толқындық табиғатын көрсететін бөлшектер арасындағы өзара әсерлесуді зерттеу лазерлерді, иондық үдеткіштерді, сонымен қатар рентген сәулелерін қолдана отырып, соққылы-толқындық сығылу әдісімен алынған кванттық плазманың қасиеттерін түсіну үшін маңызды. Қысқа қашықтықта ион-иондық соқтығысулар кезінде, плазмада орын алатын процестерді қарастыру үшін ион-нысанның толқындық сипатын ескеру қажет. Мұндағы күрделі мәселе – иондардың идеал еместігін электрондардың ішінара немесе толық азғындалуын есепке алу арқылы анықтау болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін иондардың өзара әсерлесуінің тиімді потенциалын қолдану ұсынылды. Бөлшектердің кванттық эффектілерінің плазманың құрылымдық және термодинамикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу ИТС-дегі процестерді модельдеу және нысаналарды жобалау үшін қажетті динамикалық және тасымалдау қасиеттерін анықтауға, сондай-ақ нейтронды жұлдыздар, ақ және қоңыр ергежейлілер, сонымен қатар алып планеталар сияқты астрофизикалық объектілердің эволюциясын түсінуге мүмкіндік береді.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

1. Иондардың өзара әсерлесу потенциалындағы дифракцияның кванттық эффектілері оның Юкава потенциалымен салыстырғанда электрондармен экрандалуының әлсіреуіне әкеледі, ал азғындалған электронды бұлттың поляризациясы потенциал мәнінің нөлге дейін төмендеуіне әкеледі.

2. Иондар дифракциясының кванттық эффектілерінің сутегі плазмасының термодинамикалық сипаттамаларына, атап айтқанда корреляциялық энергияға және қысымды түзетуге қосқан үлесі $6 \cdot 10^{25} \text{ см}^{-3} \leq n_e \leq 1.6 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-3}$ тығыздық (тығыздық параметрі $0.01 \leq r_s \leq 0.3$) пен $10^2 \text{ К} < T_i < 5.9 \cdot 10^7 \text{ К}$ температура диапазонында (байланыс параметрі $2 < \Gamma_i < 600$) 4%-дан аспайды.

3. $3 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3} < n_e < 10^{24} \text{ см}^{-3}$ тығыздық пен $10^4 \text{ К} < T_i < 10^6 \text{ К}$ температура диапазонындағы электрондардың спиндерінің параллель бағдарлануы электрондық компоненттің қысымына идеалсыздықты түзетуге +1,07% максималды оң үлес қосады, ал параллельге бағдарлану жағдайында теріс үлеске -3,2% әкеледі.

Автордың жеке үлесі – диссертациялық жұмыстың барлық көлемін, зерттеу әдісін таңдауды, есептерді шешуді және сандық есептеулерді автор өз бетінше орындады. Тапсырма қою, алынған нәтижелерді талқылау ғылыми жетекшілермен бірлесіп жүргізілді.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі.

Диссертациялық жұмыста белгілі физикалық модельдер мен апробацияланған математикалық әдістер қолданылды. Сондай-ақ, алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі шет елдердің импакт-факторлары бар журналдарында және ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда және жақын және алыс шет елдердің халықаралық ғылыми конференцияларының еңбектерінде жарияланған жарияланымдармен расталады.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс деректері бойынша 22 баспа жұмысы жарияланды: PhD дәрежесін алуға арналған диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелерін жариялау үшін 3 мақала ҚР БҒМ БҒСБК тізіміндегі журналдарда, 4 мақала Web of Knowledge (Thomson Reuters Clarivate Analytics, АҚШ) Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурсына кіретін импакт-факторы бар алыс шетел журналдарында; 15 жұмыс халықаралық ғылыми конференциялар жинақтарында, оның ішінде 11-і шетелдік конференция материалдарында.

Диссертациялық жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 6 бөлімнен, қорытындыдан және 186 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады, және 35 суретті қоса есептегенде, негізгі компьютерлік мәтіннің 111 бетін қамтиды.