«*6D072300 – Физика*» мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D) дәрежесін алу үшін диссертациясына

АҢДАТПА

ШАЛЕНОВ ЕРИК ОНГАРОВИЧ

ЭФФЕКТИВТІ ПОТЕНЦИАЛДАР НЕГІЗІНДЕ ТЫҒЫЗ КВАЗИКЛАССИКАЛЫҚ ПЛАЗМАНЫҢ ТРАНСПОРТТЫҚ ЖӘНЕ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Диссертациялық жұмыста тығыз идеалды емес плазманың эффективті әсерлесу потенциалдардың негізінде соқтығысу, транспорттық және оптикалық қасиеттерін есептеу нәтижелері көрсетілген.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі.

Қазіргі уақытта адамзат алдында баламалы энергия көздерін дамытудың өткір проблемасы тұр, біріншіден, болашақта қажеттілігімізді толығымен қанағаттандыратын үлкен энергия қоры және екіншіден, жаһандық жылыну мәселесін шешуге болар еді. Мұндай талаптарға басқарылатын термоядролық синтезді (БТС) іске асыратын қондырғылар жауап береді. Осыған байланысты, соңғы онжылдықта аталған проблемаларды үлкен дәрежеде шешуге мүмкіндік беретін термоядролық энергетиканы дамытуға байланысты қымбат тұратын ірі трансұлттық және ұлттық жобалар (мысалы, ITER, NIF және т.б.) пайда болды.

Тығыз квазиклассикалық плазманың қасиеттерін зерттеу қиындық туғызады, біріншіден, бөлшектердің өзара әрекеттесу модельдерін таңдаудың оңай еместігінен және екіншіден, мұндай жүйелердің қасиеттерін зерттеу үшін қолданыстағы теориялық әдістердің жетілмеуінен (көбінесе жуырырақ аналитикалық) қиынға соғады.

Осылайша, идеалды емес квазиклассикалық плазманың құрылымдық элементтерінің өзара әрекеттесу модельдерін, математикалық модельдеу әдістерін әзірлеу және олардың негізінде қарапайым соқтығысу процестерін, содан кейін жүйенің кинетикалық, транспорттық және оптикалық қасиеттерін зерттеу тек іргелі қызығушылық ғана емес және квазиклассикалық плазмамен байланысты көптеген практикалық қосымшалардың технологияларын дамыту үшін маңызды болып табылады. Соқтығысу процестері плазманың барлық қасиеттерін, оның құрамын, термодинамикасын, транспорттық сипаттамаларын, электродинамикалық қасиеттерін және т. б. анықтайды. Дәстүрлі түрде белгілі бір модель шеңберінде қарапайым процестерді зерттеу серпімді шашырау қимасын алудан басталады, бұл ретте алғашқы бағалауды Борн әдісі жататын қарапайым әдістердің негізінде жүргізуге болады және жүргізу қажет.

Соқтығысулардың қималары соқтығысатын бөлшектердің салыстырмалы жылдамдығының мәніне тікелей байланысты, ол қиманы есептеуге мүмкіндік беретін теңдеулердің өзінде болады, бірақ көп жағдайларда өзара әрекеттесудің

жылдамдыққа тәуелділігі ескерілмейді. Мұндай қойылым мүлдем дұрыс емес және олардың соқтығысуын зерттеу кезінде бөлшектердің өзара әрекеттесуінің динамикалық қасиеттерін қолдану дәйекті болып табылады. Осы диссертациялық жұмыс аясында дифракцияның кванттық механикалық әсерін және бөлшектердің салыстырмалы жылдамдығына байланысты зарядталған бөлшектер өрісінің динамикалық экрандалуын ескеретін идеалды емес квазиклассикалық плазма бөлшектерінің өзара әрекеттесуінің жаңа динамикалық потенциалдары алынған.

Соқтығысу сипаттамалары негізінде тасымалдау процестерін зерттеу идеалды емес плазма физикасының маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Қазіргі уақытта физиканың бұл саласы плазмасы бар техникалық құрылғыларда (магнитті газдық динамикалық және термоэмиссиялық энергия түрлендіргіштері, газразрядты лазерлер, газфазды ядролық реакторлар, ғарыш аппараттары және т.б.), сондай - ақ табиғи жүйелерде-жер мен Ғаламшардың ионосферасында, жұлдызаралық ортада, Күн қойнауында, ғаламшар-алыптар жұлдыздарында тасымалдау процестерінің негізгі рөліне байланысты қарқынды дамуда.

Идеалды емес плазманың оптикалық қасиеттерін зерттеуде қызығушылық нысаналарды күйдіру үшін лазерлерді пайдаланумен, сондай-ақ оптикалық байланыссыз диагностиканың келешегімен негізделген. Оптикалық аспаптар көптеген әртүрлі плазма қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік береді, мысалы, температураны, плазма тығыздығын, плазмалық-шаң түзілімдерінің құрылымын, жекелеген ірі бөлшектердің өлшемдері мен нысандарын және т.б. Оптикалық қасиеттерді зерттеу маңызды теориялық міндет ғана емес, сонымен қатар инерциалды термоядролық синтез плазмасының оптикалық диагностикасы саласында жаңа технологияларды жасап шығаруға әкелуі мүмкін.

Жұмыстың мақсаты

Жұмыстың негізгі мақсаты тығыз идеалды емес плазманың эффективті потенциалдар көмегімен соқтығысу, транспорттық және оптикалық қасиеттерін зерттеу, мысалы: бөлшектің шашырау қимасы, соқтығысу жиілігі, электрөткізгіштік және шағылу коэфициенті.

Зерттеу нысаны – БТС құрылғысын инерциалды ұстап тұру арқылы тығыз квазиклассикалық плазма және кейбір астрофизикалық нысандар болып табылады.

Зерттеу пәні – тығыз идеалды емес плазманың соқтығысу (фазалық шашырау, дифференциалдық, толық және транспорттық шашырау қималары, соқтығысу жиілігі), транспорттық (сутегі плазмасының статистикалық және динамикалық электрөткізгіштігі) және оптикалық (тығыз идеалды емес ксенонды плазмасының шағылу коэфициенті) сипаттамалары.

Тығыз квазиклассикалық плазма бөлшектің әсерлесуінің эффективті потенциалдардың аясында қойылған мақсатқа жету үшін келесідей есептерді шешу қажет:

– Тығыз квазиклассикалық плазма бөлшектің әсерлесуінің динамикалық эффективті моделін құрастыру.

– Соқтығысу процесстерін динамикалық және статистикалық бөлшектің әсерлесуінің эффективті потенциалдарды ескере отырып зерттеу.

– Тығыз квазиклассикалық сутегі плазмасының соқтығысу сипаттамаларын ескере отырып статистикалық және динамикалық электрөткізгіштігін есептеу және анализ жасау.

– Тығыз квазиклассикалық ксенон плазмасының соқтығысу сипаттамаларын ескере отырып шағылу коэффициентін есептеу және анализ жасау.

Қорғауға шығарылатын мәселелер:

– Салыстырмалы жылдамдықтардың мәні жоғары болған кезде динамикалық экрандалуды және дифракция эффектісін ескеретін эффективті әсерлесу потенциалы Дойч потенциалына (өзара әсерлесу заряд пен заряд) немесе электронның атоммен әсерлесуінің экрандалуды ескермейтін потенциалына ұмтылады.

– Динамикалық экрандалуды ескеретін бөлшектің өзара әсерлесуінің эффективті потенциалы соқтығысу сипаттамаларының (фазалық ығысу, шашырау қимасы) мәнінің өсуіне әкеп соғады статикалық экрандалуды ескеретінге қарағанда.

– Электрон-электронды соқтығысуларды қайта нормалау коэффициентін ескеру арқылы ұзын толқынды шегінде динамикалық электрөткізгіштіктің мәні МД модельдеудің нәтижесімен өте келіседі.

– Динамикалық экрандалуды ескеру арқылы шағылу коэффициентің р поляризацияланған эксперименттік мәнімен және МД модельдеудің нәтижесімен жақсы үйлесім береді.

Диссертациялық жұмыстың нәтижесінің ғылыми жаңалығы.

Берілген жұмыста эффективті потенциалдарды пайдалана отырып келесі алғаш рет келесігідей нәтижелер алынды:

– Тығыз квазиклассикалық плазманың динамикалық экрандалу және кванттық механикалық дифракция эффектілерін ескеретін бөлшектің өзара әсерлесуінің динамикалық модельдері құрылды.

– Тығыз квазиклассикалық плазманың эффективті әсерлесу потенциалдар негізінде соқтығысу қасиеттері (фазалық ығысуы, шашырау қимасы) бойынша жаңа мәліметтер алынды.

– Тығыз квазиклассикалық сутегі плазмасының соқтығысу сипаттамалары негізінде динамикалық электрөткізгіштігі зертелінді.

– Тығыз квазиклассикалық ксенон плазмасының соқтығысу сипаттамалары негізінде шағылу коэффициенті зертелінді.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы.

Дисертациялық жұмыста алынған нәтижелер псевдопотенциал теориясын жартылай және толық иондалған плазманың оптикалық және кинетикалық қасиеттері дамытуда және оқытуда үлкен роль атқарады. Жартылай және толық иондалған плазма едәуір елеулі энергетикалық жобаларда, нақты техникалық құрылғыларда, соның бірі (БТС) басқарылатын термоядролық синтезде қолданылады, себебі, қарастырылатын псевдопотенциал моделі адекватты ұжымдық статистикалық немесе динамикалық эффектілер мен кванттық эффектілерді де ескереді.

Жұмыстың теориялық маңызы астрофизикалық нысандардағы (ақ карликтер, күн және т.б.) әртүрлі процестерді зерттегенде алынған нәтижелерді қолдана аламыз. Сонымен бірге берілген жұмыстағы нәтижелер тығыз плазма БТС жайындағы іргелі білімді тереңдетеді.

Жұмыстың нәтижесінің нақтылығы.

Диссертациялық жұмыста белгілі физикалық модельдер және апробациядан өткен математикалық әдістер қолданылған. Компьютерлік модельдеу негізінде алынған нәтижелер Т–матрица әдісі, Борнның бірінші ретті жуықтауы, кездейсоқ фазалық жуықтау (RPA) сияқты әр түрлі теориялық тәсілдемелерімен сәйкес келеді. Энергия жоғалту бойынша есептелген нәтижелер GSI – Дармштадттағы (Германия) ауыр иондар үдеткішінде алынған эксперименттік мәліметтермен жақсы үйлеседі. Жұмыстың нәтижелері молекулалық динамика, кванттық молекулалық динамика (КМД), плазманың электрондық компонентін сипаттауға арналған тығыздық функционалы теориясын қолданатын молекулалық динамика (ТФТКМД), ұяшықтағы бөлшектер әдісі (PIC) секілді компьютерлік модельдеу әдістерінің нәтижелерімен үйлеседі. Жұмыстың нәтижесінің нақтылығы импакт-факторы жоғары журналдарда басылған және Қазақстан Республикасының Білім және Ғылым Министрлігімен ұсынылған басылымдарындағы мақалалармен, жақын және алыс шет елдерде өткен халықаралық ғылыми конференциялардағы жұмыстармен расталған.

Алынған нәтижелердің нақтылығы мен негізділігі. Диссертациялық жұмыста белгілі физикалық модельдер және апробациядан өткен математикалық әдістер қолданылған. Компьютерлік модельдеу негізінде алынған нәтижелер Т-матрицалар әдісі, фазалық функциялар әдісі, Борнның бірінші ретті жуықтауы сияқты әр түрлі теориялық тәсілдермен сәйкес келеді. Жұмыстың нәтижелері эксперименталдық деректермен, сонымен қатар молекулалық динамика (МД) секілді компьютерлік модельдеу әдістерінің нәтижелерімен үйлеседі. Сондай-ақ алынған нәтижелердің нақтылығы мен негізділігі жоғары импакт-факторы жоғары алыс шетел журналдарында басылған және Қазақстан Республикасының Білім және Ғылым Министрлік саласындағы бақылау комитеті ұсынылған басылымдарындағы мақалалармен, жақын және алыс шет елдерде өткен халықаралық ғылыми конференциялардағы жұмыстармен расталған.

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. Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 25 жазба жұмысы жарияланған: 3 мақала ҚР БҒМ БҒСБК тізіміне кіретін журналдарда PhD дәрежесін алу үшін диссертацияның негізгі нәтижелерін жариялау үшін және 5 мақала жоғары импакт факторлы халықаралық информациялық Web of Knowledge (Thomson Reuters, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланд) қорына кіретін журналдарда, 17 жұмыс халықаралық ғылыми конференция жинақтарында, соның ішінде 13 шет ел конференцияларында.

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

– «International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG)» (2015, Iasi, Romania) халықаралық ғылыми конференциясында;

– «15th International Conference on the Physics of Non-Ideal Plasmas (PNP)» (2015, Almaty, Kazakhstan) халықаралық ғылыми конференциясында;

– «21st International Symposium of Heavy - Ion Inertial Fusion (HIF)» (2016, Astana, Kazakhstan) халықаралық ғылыми симпозиумында;

- «XXII Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (ESCAMPIG)» (2016, Bratislava, Slovakia) халықаралық ғылыми конференциясында;

– «International Conference on Strongly Coupled Coulomb Systems (SCCS)» (2017, Kiel, Germany) халықаралық ғылыми конференциясында;

– «The International Conference on Research and Application of Plasmas (PLASMA)» (2017, Warsaw, Poland) халықаралық ғылыми конференциясында;

– «42nd European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS)» (2018, Prague, Czech Republic) халықаралық ғылыми конференциясында;

– «Физиканың заманауи жетістіктері және іргелі физикалық білім беру» (2016, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Казақстан) халықаралық ғылыми конференциясында;

– Студенттер мен жас ғалымдардың «Фараби Әлемі» атты халықаралық конференциясында (2015, 2016, 2017, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан);

– әл-Фараби атындағы ҚазҰУ университетінің плазмалық физика, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасының ғылыми семинарларында және Росток қаласында Росток университетінде;

сонымен қатар, келесідей шетелдік профессорлармен: Райнхольц Х. (Германия), Репке Г. (Германия) халықаралық ынтымақтастық аясында тақыланды.

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:

– «Инерциалды термоядролық синтездің күрделі құрамды плазманың оптикалық қасиеттері және элементар процестері» (2015-2017 жж., мемлекеттік тіркеу №0115РК01037, шифр 3102/ГФ4);

– «Күрделі құрамды магнитоактивті плазманың қасиеттерін компьютерлік моделдеу» (2015-2017 жж., мемлекеттік тіркеу № 0115РК01042, шифр 3087/ГФ4).

– «Магнитті белсенді күрделі құрамды плазмадағы тозаңды-дыбысты солитондарды зерттеу» (2018-2020 жж., мемлекеттік тіркеу №0118РК00609, шифр АР05132665/ГФ);

– «Плазма және плазма тектес орталардың физикасының іргелі мәселелерін зерттеу» (2018-2020 жж., шифр BR05236730/ГФ4).

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытынды және 255 қолданылған әдебиеттер тізімінен, 115 негізгі компьютерлік мәтіннен, 49 суреттен тұрады.