«*6D060400 – Физика*» мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D) дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

ҮСЕНОВ ЕРБОЛАТ АБУТАЛИПҰЛЫ

АТМОСФЕРАЛЫҚ ЖӘНЕ ТӨМЕН ҚЫСЫМДАҒЫ ТӨМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛЫ КОМПЛЕКСТІ ПЛАЗМА ДИАГНОСТИКАСЫ

Диссертациялық жұмыста сиретілген газдардағы және атмосфералық қысымдағы төмен температуралы комплексті плазманың түрлі қасиеттерінің диагностикасының және эксперименталдық зерттеулерінің нәтижелері келтірілген.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі.

Плазма дегеніміз оң және теріс зарядтардың тығыздығы іс жүзінде бірдей болатын сирек немесе толық иондалған газ және ол алып жатқан аймақтың сызықтық өлшемдері бөлшектердің экрандалуына байланысты белгілі бір арақашықтықтан (Дебай радиусы) үлкен болуы шарт. Дебай радиусы әр аттас зарядтардың бір бірін өзара экрандау нәтижесінде пайда болатын экрандалу арақашықтығы.

Плазма диагностикасы - мақсаты плазманың локальды немесе жалпы, нақты немесе уақыт бойынша орташаланған параметрлерін: формасы мен құрылымын, электрондар, атомдар, бірнеше зарядты иондардың, молекулалардың, қозған бөлшектердің құрамын, орташа кинетикалық энергиясын, температурасын анықтауғ араналған зерттеулер мен әдістердің жиынтығы.

Дәстүрлі түрде «күрделі плазма» термині бірнеше жүздеген нанометрден бірнеше ондаған микрометрге дейін мөлшердегі заттардың конденсацияланған күйінің жоғары дисперсті зарядталған бөлшектерін қамтитын сирек кездесетін газдардың қалыпты плазмасын анықтау үшін пайдаланылады. Сондай-ақ, әдебиеттерде «тозаңды плазма» (dusty plasma) атауы кеңінен таралған. Алайда, соңғы онжылдықта «күрделі плазма» анықтамасын қолдану ауқымы айтарлықтай кеңейді. Бұл факт төмен температуралы атмосфералық разряд плазма саласындағы генерациялау әдістерінің және жаңа зерттеулердің дамуымен түсіндіріледі. Тепе-тең емес, «салқын» плазманың алудың диэлектрлік тосқауыл разряды, плазмалық ағындар, беттік разрядтар, микроразрядтар секілді жаңа әдістерінің дамуы және олардың медицина, агротехника, жаңа материалдар технологиясы бойынша зерттеулерде қарқынды түрде қолданылуы атмосфералық қысымдағы плазма күрделі құрамға ие және комплексті болып табылатынын көрсетеді.

Комплексті плазма қарапайым плазмадан құрамында өздігінен пайда болатын немесе жасанды түрде енгізілетін плазманың қосымша

компоненттерінің (нано және микро бөлшектер, химиялық белсенді радикалдар және иондар және т.б.) болуымен ерекшеленеді. Қатты беттермен өзара әрекеттесуге түсетін плазманы да комплексті плазма деп айтуға болады. Бұл диссертациялық жұмыста төмен температуралы плазма диагностикасының әдістері төмен қысымдарда және атмосфералық қысымдарда зерттелген.

Плазмада тозаңды бөлшектің болуы - бөлшектердің мөлшеріне және қоршаған плазманың жергілікті параметрлеріне байланысты тозаңның заряды секілді жаңа плазма параметрінің пайда болуына әкеледі. Тозаңды бөлшектер плазмада өте үлкен зарядқа ие болуы мүмкін. Мысалы, төмен газ қысымындағы тозаңды плазмадағы өлшемдері бірнеше микронды құрайтын бөлшектердің теріс заряды 10^3 - 10^5 элементар зарядқа жетеді. Тозаңды бөлшектердің массасы мен зарядының үлкендігінің әсерінен, тозаңды бөлшектер плазмадағы қалыпты кеңістіктік және уақыттық масштабтардың қатты өзгеруіне алып келеді. Сондықтан тозаңды плазманың негізгі параметрлерін анықтау және диагностика жасау ондағы физикалық процестерді түсіну мен технологиялық қолданысын жақсарту бағытындағы ең маңызды және **өзекті тапсырмалардың** бірі болып табылады.

Атмосфералық қысымдағы комплексті плазма, және соның ішінде диэлектрлік тосқауылдық разряд (ДТР) әлі толықтай зерттелмеген сала болып табылады және қазіргі таңда осы салаға ғылыми деген қауымдастықтың қызығушылығы арту үстінде. Құрамында түрлі метастабильді атомдардың, азот пен оттегінің активті иондары мен радикалдарының, су буының болуына және олардың материалдар мен тірі биологиялық объектілердің беткі қабатымен үнемі әрекеттесетіндігіне байланысты атмосфералық қысымдағы төмен температуралы плазма құрамы күрделі комплексті орта болып табылады. Жоғарыда айтылған себептерге байланысты физика-химиялық үрдістерді терең түсіну және технологиялық процесстерді оңтайландыру үшін бүгінгі күні атмосфералық қысымдағы күрделі композициялы плазмасын зерттеу және диагностикалау маңызды міндеттердің бірі болып отыр.

Жұмыстың мақсаты.

Жұмыстың негізгі мақсаты сиретілген газдардағы және атмосфералық қысымдағы төмен температуралы комплексті плазманы зерттеу, диагностика жасау және алынған нәтиж

елер негізінде жаңа әдістер жасақтау.

Зерттеу нысаны. Жоғары жиілікті (ЖЖ) газ разрядының, солғын разрядтың плазмасы, плазмалық - кулондық кристалл, ДТР - тың фондық және комплексті плазмасы.

Зерттеу пәні. Комплексті плазмадағы зарядталған бөлшектердің температурасы мен концентрациясы, плазма потенциалы, ЖЖ разрядтың өздік ығысу потенциалы, зонд маңындағы тозаң бөлшектерінен таза аймақ өлшемдері, тозаң заряды, бөлшектредің жылдамдық бойынша таралуы, статикалық және динамикалық вольт-амперлік сипаттама, эмиссиялық спектрлер, ДТР құрылымы.

Айтылған мақсаттарға жету үшін келесі **міндеттерді** шешу қажет:

– солғын разрядтың төмен температуралы комплексті плазмасындағы электрлік зонд маңындағы құбылыстарды зерттеу және тозаңды бөлшектерден бос аймақ өлшемдерінің негізінде фондық пазманың парметрлерін анықтау.

– ЖЖ инертті газдар қоспасындағы разрядтың электрондық құраушысының температурасын анықтау және тозаңды бөлшектердің фондық плазма қасиеттеріне әсерін зерттеу, микрогравитациялық жағдайдағы плазмалық - кулондық кристалдардағы шаң бөлшектерінің қалыптасу және зарядталу үрдісін зерттеу.

– наноөлшемді тозаңды бөлшектері бар комплексті плазма параметрлерін анықтау үшін қарапайым зондтық диагностика әдісін жетілдіру және осы әдіспен ассиметриялық ЖЖ разрядтағы тозаңды бөлшектердің циклдық өсу үрдісін зерттеу.

– ДТР төмен температуралы плазмасы мен атмосфералық қысымдағы плазмалық ағынның құрылымдық, электрлік және оптикалық қасиеттерін зерттеу және разряд режимдері мен плазма құрамын анықтау.

Қорғауға шығарылатын мәселелер:

- зонд айналасындағы тозаңды бөлшектерден бос аймақ өлшемдерін берілген потенциалдың плазма потенциалына қатысты кемуін (абсолют мәні бойынша) эксперименталдық зерттеу солғын разрядтың оң бағанындағы комплексті плазмасының электрондарының температурасы мен концентрациясын анықтауға мүмкіндік береді;

- негізгі гелий газына аргонның аз мөлшерін 97% He + 3% қатынасында қосу плазмадағы электрондық температураның төмендеуіне алып келеді, ал тозаңды құраушының болуы керісінше электронның температурасының артуына ықпал етеді;

- комплексті плазмадағы нанобөлшектердің циклдік өсуі электрон концентрациясының төмендеуіне және электрондардың температурасы мен плазма потенциалының айтарлықтай артуына алып әкеледі;

Диссертациялық жұмыстың нәтижесінің ғылыми жаңалығы.

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

- электр зондының маңындағы тозаңды бөлшектерден бос аймақ өлшемдернің негізінде фондық плазма параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін жаңа әдіс жасалды.

- электрлік зонд кернеуін "кешенді" тәсілмен өзгерту арқылы нанобөлшектері бар ЖЖ ассиметриялық разрядтың электрондар температурасы, концентрациясы және плазма потенциалы анықталды.

- микрогравитация жағдайындағы плазмалық кулондық кристаллдардағы шашыраған бөлшектер заряды бағаланды.

- атмосфералық қысымдағы көлемдік диэлектрлік тосқауылдық разряд пен плазмалық ағынның құрылымдық қасиеттерінің эксперименталдық шарттарға тәуелділігі толығырақ және нақты түрде зерттелді.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер комплексті плазма физикасы мен төмен температуралы плазма физикасын дамыту үшін маңызды. Олар төмен температуралы плазмадағы тозаң бөлшектерінің реттелген құрылымдарын құру, бөлшектердің зарядталу процесін зерттеу, материалдардың бетімен өзара әрекеттесу кезінде плазма қасиеттерін егжей-тегжейлі зерделеу, әртүрлі материалдардың, биологиялық объектілердің төмен температуралық плазмасын өңдеу үшін ғылыми-технологиялық негіздерді әзірлеу үшін өте пайдалы болады.

Төмен қысымдағы комплексті плазмаға диагностика жасаудың жаңа әдістері әртүрлі газдардағы электр разрядының зертханалық қондырғыларында, газ фазасындағы қаптау және бедерлеу, микроэлектроникадағы субстраттардың беттерін тазалау және активациялау үшін, вакуум-плазмалық қондырғыларда және түрлі наноқұрылымды плазмалық ортада синтездеу қондырғыларында фондық плазма параметрлерін анықтау үшін пайдалы болуы мүмкін.

Жұмыстың нәтижесінің сенімділігі мен негізділігі.

Диссертациялық жұмыста Ленгмюр зонды, плазманың электрлік қасиеттерін зерттеу әдістері (ток және кернеу осцилографиясы, өзіндік ығысу кернеуін өлшеу) және оптикалық диагностика әдістері (оптикалық эмиссиялық спектроскопия, жоғары жылдамдықты суретке түсіру) секілді белгілі және аппробациядан өткен эксперименталдық әдістер қолданылған. Зондты айналасындағы тозаңды бөлшектерден бос аймақты зерттеуге негізделген буферлік плазма параметрлерін диагностикалау үшін ұсынылған жаңа әдісті қолдану нәтижесінде алынған нәтижелер классикалық зонд әдісінің нәтижелерімен өзара сәйкестікте. Сондай-ақ, тозаңды бөлшектерден бос аймақтың өлшемін теориялық есептеу экспериментпен жақсы келіседі. Зонд кернеуінің «күрделі таралуы» әдісімен алынған нанобөлшектердің өсуі кезінде плазма параметрлерінің қасиеттерін зерттеудің нәтижелері өзіндік кернеуді өлшеу нәтижелерімен жақсы байланысады. Сондай-ақ, нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі импакт-факторы жоғары шетелдік журналдарда және ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, сондай-ақ алыс және жақын шет елдердегі халықаралық ғылыми конференцияларда жарияланымдарымен расталады.

Автордың өзінің қосқан үлесі: диссертацияның толық көлемін жазуды, зерттеу әдісін таңдауды, эксперименталды қондырғыларды жинақтауды, түзетуді және модернизациялауды, алынған эксперименттерді және алынған мәліметтерді талдауды автордың өзі дербес жүзеге асырған. Міндеттер мен тапсырмаларды белгілеу және нәтижелерді сараптау ғылыми жетекшілермен бірлесіп жүргізілді.

Жарияланымдар.

Диссертация материалы бойынша 24 жазба жұмысы жарияланған: 3 жоғары импакт факторлы халықаралық информациялық Web of Knowledge (Thomson Reuters, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланд) қорына кіретін журналдарда, 5 ҚР БҒМ БҒСБК тізіміне кіретін журналдарда, 15 халықаралық ғылыми конференция жинақтарында. Сонымен қатар, 1 Қазақстан Республикасының өнертабысқа патенті алынған.

Диссертациялық жұмыстың аппробациядан өтуі:

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесі конференцияларда талқыланды:

– ICPDP-2014 7-ші Халықаралық тозаңды плазма физикасы конференциясында (2014, Нью-Дели, Үндістан);

– «ESCAMPIG-XXII» иондалған газдардың атомдық және молекулалық физикасы бойынша 22-ші Еурофизикалық конференцияда (2014, Грейфсвальд, Германия);

– «SCCS-2014» қатты байланысқан Кулондық жүйелердің физикасы бойынша халықаралық конференцияда (2014 ж., Нью-Мексико штаты, АҚШ);

– «Төмен температуралы плазма диагностикасындағы шекаралар» FLTPD-2015 халықаралық конференциясы (2015, Porquerols, Франция);

– Тозаңды плазма физикасы бойынша 14-ші халықаралық семинарда (2015, Аубурн, Алабама, АҚШ);

– «PPPT-8» плазмалық физика және плазмалық қосымшалар бойынша VIII халықаралық конференциясында (2015, Минск қаласы, Беларусь);

– Иондалған газдардың феноменіне арналған «ICPIG» 23-ші халықаралық конференциясында (2015, Яссы, Румыния);

– «PNP-15» идеал емес плазма физикасы бойынша 15-ші Халықаралық конференцияда (2015, Алматы қ.);

– «ФАРАБИ ӘЛЕМИ» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясында (2015, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы);

– «EPS-XXXXII» Плазма физикасына арналған Еуропалық физикалық қоғамның 42-ші Конференциясында (2015, Лиссабон, Португалия);

– «Физикадағы заманауи жетістіктер және физикалық білім» 9-шы халықаралық ғылыми конференциясында (2016, Алматы);

– «ESCAMPIG-XXIII» иондалған газдардың атомдық және молекулалық физикасы бойынша 23-ші еурофизикалық конференциясында (2016, Братислава, Словакия);

– Иондалған газдардағы құбылыстарға араналған 24-ші халықаралық конференциясында «ICPIG» (2017, Эшторил, Португалия);

– «ICPDP-2017» тозаңды плазма физикасы бойынша VIII халықаралық конференциясында (2017, Прага, Чехия);

– «SCCS-2017» қатты байланыстағы Кулондық жүйелерідің физикасы бойынша халықаралық конференциясында (2017, Киль қ., Германия);

– Плазма физикасы бойынша Еуропалық физикалық қоғамның «EPS-XXXXIV» (2017, Белфаст, Ирландия) 44-ші конференциясында;

– ESCAMPIG-XXIV иондалған газдардың атомдық және молекулалық физикасы бойынша 24-ші еурофизикалық конференцияда (2018, Глазго, Шотландия, Ұлыбритания Біріккен Корольдігі).

– тозаңды плазма физикасы бойынша 15-ші Халықаралық семинарда (2015, Балтимор, Мэриленд, АҚШ);

– плазма физикасы және плазма технологисы бойынша халықаралық симпозиумда (2018, Прага, Чехия);

Диссертация тақырыбының ғылыми жобалар жоспарларымен байланысы.

Диссертация Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым комитетінің «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» атты іргелі ғылыми-зерттеу жұмыстарының (ҒЗТКЖ) жоспарына сәйкес келесі тақырыптар бойынша жүзеге асырылды:

– «Тозаңның қалыптасуы мен ондағы процесстердің қабырға маңындағы тозаңды бөлшектердің термоядролық энергетикалық реакторлардың жұмыс режимдеріне әсері» (2015-2017 жж., шифр 3112 / GF4);

– «Атмосфералық қысымдағы салқын плазманың материалдардың бетіне қасиеттері мен әсерлерін зерттеу» (2015-2017 жж., шифр 3220 / GF4);

– «Атмосфералық қысымдағы салқын плазмамен өңдеу арқылы өсімдіктердің өсуін және дәнді дақылдардың өнімділігін арттырудың ғылыми-технологиялық негіздерін жасау» (2018-2020 жж., IRN AP05134280);

Диссертацияның көлемі мен құрылымы.

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 бөлімнен, қорытындыдан және 136 қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Мәтіннің көлемі 124 компьетрелік бетті құрайды, оның ішінде 78 сурет және 1 кесте бар.