

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

АҢДАТПА

ӘБДІРАХМАНОВ АСАН РАМАЗАНҰЛЫ

СЫРТҚЫ МАГНИТ ӨРІСІНДЕГІ ПЛАЗМАЛЫ-ТОЗАҢДЫ ҚҰРЫЛЫМНЫҢ ҚАСИЕТІ

Диссертациялық жұмыс төмен қысымдағы біртекті және біртекті емес магнит өрістеріндегі солғын разряд стратасындағы плазмалы-тозаңды құрылымдарының құрылымдық және динамикалық қасиеттерін эксперименттік зерттеуге арналған.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі.

Әдетте "заттың төртінші күйі" деп аталатын плазмалық күй көрінетін Ғаламдағы материяның ең көп таралған түрі болып табылады. Атомдарға немесе газ молекулалары қоспасына жылу (қыздыру), тұрақты немесе айнымалы электр өрісі сынды сыртқы энергия көзі берілген кезде, атомнан электрон босап, көшкінді ионизация процесін тудырады. Бұл процестің нәтижесінде бейтарап атомдар мен молекулалардан, сондай-ақ теріс зарядталған электрондар мен оң зарядталған иондардан тұратын газ тәрізді жүйе пайда болады. Бұндай жүйе электромагниттік өрістердің пайда болуына және өзара әрекеттесу нәтижесінде плазманың сұйық, газға да тән қасиеттерге ие болуға мүмкіндік береді.

Бұл диссертацияда плазма физикасының жеке зерттеу объектісі болып табылатын тозаңды плазма қарастырылады. Тозаңды плазма (комплектті плазма, коллоидты плазма) - бұл иондардан, электрондардан, бейтарап бөлшектерден және зарядталған қатты бөлшектерден (яғни тозаңды бөлшектер) тұратын төрт компонентті жүйе. Зертханалық жағдайда тозаңды бөлшектің өлшемі нанометрден микрометрге дейінгі, ал ғарыш кеңістігінде бірнеше метрге дейінгі диапазонды қамтиды. Сондықтан тозаң компонентін плазманың басқа компоненттерімен салыстырғанда макроскопиялық деп санауға болады.

Қазіргі таңда тозаңды (комплектті) плазмасының зертханалық жағдайдағы зерттеу жұмыстары магнит өрісінің әсері жоқ кездегі зарядталған микробөлшектердің динамикасын зерттеуге бағытталған. Бұл зерттеулердің басым көпшілігінде нөлдік ретті тепе-теңдік шарты, яғни микробөлшектердің плазмада левитациялануы үшін төмен бағытталған гравитациялық және оны компенсациялауға жеткілікті күштер (мысалы электрлік күштер) арасындағы бәсекелестік шартымен анықталады. Тепе-теңдік шарты сақталғаннан кейін бөлшектердің динамикасы бөлшектер арасындағы электростатикалық күштермен (мысалы, кулондық экрандалу), бейтарап атомдар және иондар тарапынан елірту күштерімен анықталады. Алайда, магнит өрісі болған кезде

зарядқа тәуелді тозаңды бөлшектерге әсер ететін барлық күштердің шамасы өзгеруі мүмкін. Сонымен қатар, тозаңды бөлшектердің зарядталу механизмі, магнит өрісі әсерінен иондар мен электрондардың динамикасы үстемдік ету салдарынан өзгереді. Сондай-ақ, магнит өрісінің жеткілікті үлкен шамасы кезінде тозаңды бөлшектерге әсер ететін тікелей магниттік күш, әсер етуші басқа күштермен пара-пар болады.

1996 жылы Нагоя университетінің ғылыми тобы электронды циклотронды резонанс (ЭЦР) негізінде магниттелген цилиндрлік разряд плазмасындағы тозаңды бөлшектердің динамикасына $\vec{E} \times \vec{B}$ дрейфінен туындаған иондардың азимуттық ағынының әсерін зерттеу үшін эксперимент және сандық талдау жүргізді. Эксперимент барысында магнит өрісінің шамасы 870 Гаусс кезде және төменгі қысымда, кремний диоксиді бөлшектері мен микронды өлшемді тозаңды бөлшектер азимуттық иондық елірту күші салдарынан плазма көлемінен шығарылуына алып келетіні байқалынды. Алынған нәтижелер микроэлектронды технологиялық қондырғылардағы тозаңды бөлшектердің транспорттық сипаттамаларын магниттік күштердің көмегімен басқара отырып, жұмыс аймағынан басқаруға болатынын көрсетті.

Сонымен қатар, зертханалық жағдайда магнит өрісіндегі радиожиилікті, индукциялы, магнетронды және разрядтың басқа түрлеріндегі тозаңды бөлшектердің қасиеті зерттелініп келеді. Бірақ, қазіргі таңда магнит өрісіндегі солғын разряд негізіндегі тозаңды плазма жеткілікті зерттелмеген. Бұл диссертациялық жұмыста төменгі қысымдағы солғын разрядта түзілген тозаңды плазмағы сыртқы магнит өрісінің әсері зерттелді. Жоғарыда келтірілген іргелі және қолданбалы мәселелер ұсынылған тақырыптың *өзектілігін* көрсетеді.

Жұмыстың мақсаты.

Сыртқы магнит өрісіндегі солғын разряд негізіндегі тозаңды плазманың құрылымдық және кинетикалық қасиеттерін эксперименттік зерттеу.

Зерттеу нысаны. Төмен температуралы солғын разряд негізіндегі тозаңды плазма

Зерттеу пәні. біртекті және біртекті емес магнит өрістеріндегі стратификацияланған солғын разрядтағы плазмалы-тозаңды құрылымдарының динамикасы.

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

- сыртқы магнит өрісінің тозаңды плазмаға әсерін зерттеу үшін эксперименттік қондырғыны жобалау, құрастыру және баптау;
- біртекті және біртектісіз әлсіз магнит өрісіндегі плазмалы-тозаңды құрылымдарының қасиеттерін зерттеу;
- Cryo-Magn Room эксперименттік қондырғысында (Санкт-Петербург мемлекеттік университеті) күшті магнит өрісіндегі плазмалы-тозаңды құрылымдарының қасиеттерін зерттеу.

Диссертациялық жұмыстың нәтижесінің ғылыми жаңалығы. Бұл жұмыста алғаш рет:

- аргон инертті газындағы тұрақты токты солғын разрядындағы плазмалы-тозаңды құрылымдарға біртекті магнит өрісінің әсері зерттелген;
- магниттік өрісінің радиалды компоненті салдарынан туындаған солғын разряд стратасындағы плазмалы-тозаңды құрылымдарының айналмалы қозғалысын сипаттайтын модель әзірленді;
- гелий газындағы солғын разряд стратасындағы плазмалы-тозаңды құрылымдарға күшті біртекті магнит өрісінің әсері зерттелді;

Қорғауға шығарылатын мәселелер:

- Гельмгольц катушкасының шеткі маңайындағы біртекті магнит өрісі, аргон газындағы тұрақты токты солғын разряд параметрлерінің 0,2-0,25 торр қысымында, 1,3-1,8 мА разрядтық ток шамасында, индукциясы 5-тен 28 мТл кезінде плазмалы-тозаңды құрылымдарының айналуына әкеледі;
- Тұрақты токты солғын разрядта біртекті магнит өрістің радиалды компоненттерінен туындаған иондардың азимутальды айналмалы ағыны осьтік компоненттен туындайтын ағынмен салыстырғанда 10^4 есе жоғары;
- Магнит өрісінің біртектілігі 2,4 торр қысымда және 1 мА ток кезіндегі магниттелген солғын разрядты комплексті плазмадағы плазмалы-тозаңды құрылымдарының айналу инверсиясының әсерін бөгейді;

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы.

Осы диссертацияда алынған нәтижелер тозаңды плазма физикасы мен төмен температуралы плазма физикасын дамыту үшін маңызды. Нәтижелер солғын разряд стратасындағы тозаңды құрылымдарының айналу механизмдерін терең түсінуге септігін тигізеді. Сондай-ақ алынған жаңа ақпараттар магнит өрісіндегі стратификацияланған разрядты сипаттау үшін қажет.

Плазмалы полимеризация, тозаңдату, өңдеу әдістері негізінде дайындалатын микроэлектроника құрылғыларын өндіру (мысалы, кескін сенсорлары, плазмалық дисплейлер, жұқа пленкалы күн панельдері және т.б.) барысында тозаңды бөлшектердің плазмалық ортада болуы қажетсіз рөлге ие. Өйткені плазмамен өңделген беттерге түсетін тозаң микроэлектронды құрылғылардың сапасын бұзылуына немесе төмендеуіне алып келеді. Бұл мәселені шешу үшін, яғни субстрат бетіне тұндырмау үшін тозаңды бөлшектердің динамикасын басқару және бақылау қажет. Қозғалмалы магнитті катушка тудыратын аксиальды және радиальды магнит өрісі бөлшектерді жұмыс аймағынан жылжытуға және ұстауға мүмкіндік береді. Осылайша магниттелген плазма микроэлектроника құрылғыларын дайындау процессіндегі тозаңды бөлшектерді тазарту әдісінің негізі болып табылады.

Плазманың бірінші қабырға материалдарының бетімен өзара әрекеттесу процестері, басқарылатын термоядролық синтез негізіндегі энергетикалық қондырғылардың тиімділігі мен қызмет ету мерзіміне айтарлықтай әсер етеді. Аталған қондырғылардың конструкциясында магниттік катушкалар болғандықтан, қабырғалық аймаққа және плазмаға үлкен магнит өрісінің әсері орасан зор. Сондай-ақ, қазіргі таңда плазмалық сым мен бірінші қабырға материалының әсерлесуі нәтижесінде қабырға

аймағында тозаңды бөлшектер көп мөлшерде пайда болатыны белгілі. Осыған сүйене отырып, магнит өрісінің тозаңды плазмамен өзара әрекеттесуін зерттеу термоядролық синтездің энергетикалық қондырғыларының жұмыс сипаттамаларын оңтайландыру үшін қажетті өзекті мәселе болып табылады.

Жұмыстың нәтижесінің сенімділігі мен негізділігі. 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 22 жазба жұмысы 4 жоғары импакт факторлы халықаралық информациялық Web of Science (Clarivate Analytics) және Scopus қорына кіретін журналдарда, 5 ҚР БҒМ Білім және ғылым саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған тізімге кіретін журналдарда, 13 халықаралық ғылыми конференция жинақтарында жарияланған.

Диссертациялық жұмыстың апробациядан өтуі:

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесі конференцияларда талқыланды:

- Иондалған газдардағы құбылыстар бойынша 24-ші халықаралық «ICPIG» конференцияда (2017, Ешторил, Португалия);
- Тозаңды плазмасы физикасы бойынша 8-ші халықаралық «ICPDP» конференциясында (2017, Прага, Чехия);
- Тозаңды плазма физикасы бойынша 15-ші халықаралық семинарда (2018, Аубурн, шт. Алабама, АҚШ);
- Плазма физикасы және плазмалық технологиялар бойынша 9-шы халықаралық «PPPT» конференциясында (2018, Минск, Беларусь);
- «Қазіргі физиканың өзекті мәселелері» атты 9-шы Халықаралық ғылыми конференцияда (Әбділдин оқулары) (2018, Алматы);
- «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясында (2018-2021, ҚазҰУ) ;
- Иондалған газдардағы құбылыстар бойынша 25-ші халықаралық «ICPIG» конференцияда (2019, Сапоро, Япония);
- «Зарядталған бөлшектердің комплексті жүйелері және олардың электромагниттік сәулеленумен өзара әрекеттесуі» атты 17-ші халықаралық семинарда (2019, Мәскеу, Ресей);

– Қазақ физикалық қоғамының 2-ші жыл сайынғы жиналысында (2019, Алматы, Қазақстан);

– «Идеал емес плазма физикасы» ғылыми сессиясында (2020, Мәскеу, Ресей);

– «Идеал емес плазма физикасы» бойынша халықаралық конференцияда (2021, Дрезден, Германия)

– "EPS-XXXXII" плазма физикасы бойынша Еуропалық физикалық қоғамның 47-ші конференциясында (2021, виртуалды конференция);

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:

– «Сыртқы магнит өрісіндегі төмен температуралы кешенді плазманың қасиеттерін зерттеу» (2018-2020 жж., АР05133536);

– «Электр және магнит өрістерінде солғын разрядтағы тозаңды плазмасының құрылымдық және кинетикалық қасиеттерін зерттеу» (2020-2022 жж., АР08855651).

Диссертацияның көлемі мен құрылымы.

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 бөлімнен, қорытындыдан және 149 қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Мәтіннің көлемі 91 компьютерлік бетті құрайды, оның ішінде 54 сурет және 5 кесте бар.