

«6D074000 – Наноматериалдар мен нанотехнологиялар» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысқа

## **АҢДАТПА**

**УТЕГЕНОВ АЛМАСБЕК УЛУБЕКОВИЧ**

### **КҮРДЕЛІ ҚҰРАМДЫ ГАЗДЫҚ РАЗРЯДТЫ ПЛАЗМАДА АЛЫНҒАН КӨМІРТЕКТІ НАНОМАТЕРИАЛДАРДЫҢ СИНТЕЗІ МЕН ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы.** Диссертациялық жұмыста көміртегі наноматериалдарының синтезін зерттеу және әртүрлі газ қоспаларының электр разрядтарының тозаңды плазмасындағы олардың қасиеттерін зерттеу бойынша эксперименталдық жұмыстардың нәтижелері ұсынылған. Жұмыста синтездің заманауи эксперименттік әдістері, оның ішінде газ разрядтарындағы синтездер, сондай-ақ нанобөлшектердің қасиеттерін зерттеу, атап айтқанда нанобөлшектердің мөлшерін анықтаудың оптикалық әдісі, электрондық микроскопия және комбинациялық шашыраудың спектроскопиясы қолданылды.

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі.** Наноматериалдарды синтездеу бойынша зерттеулердің әлемдік ғылыми қоғамдастық арасында жоғары даму үрдісі бар. Бұл факт өнеркәсіп және медицина саласында қолданылатын жаңа, технологиялық маңызы бар материалдарды жасау жөніндегі жетекші мамандардың наноматериалдарды пайдалануға жүгінуіне байланысты. Наноматериалдар өте кең қолданысқа ие. Мұндай материалдар энергияны түрлендіру және сақтау саласында қолданылады, ол өз кезегінде жаһандық жылынуға және отынның қазба түрлерінің жетіспеушілігіне байланысты дағдарыстарды еңсеру үшін қажет. Нанотехнология жаңа мыңжылдықтың көптеген негізгі технологияларында аса маңызды рөл атқарады. Наноөлшемді материалдар мен құрылымдарды қолдану наноғылым мен нанотехнологияларды қолданудың жаңа саласы болып табылады. Соңғы жылдары наноматериалдар синтезінің жаңа технологияларын әзірлеудің және нанобөлшектерді жіктеу және манипуляциялау үшін құралдардың қол жетімділігінің арқасында нанотехнологиялардың ерекше өсуі байқалуда. Нанобөлшектер өндірісі наноөлшемді химия мен физиканың негіздерін оларды коммерцияландыру үшін түсінуді талап етеді.

Көптеген эксперименттік жұмыстарда нанобөлшектерді синтездеу үшін газ разрядының плазмасын әмбебап орта рөлінде қолданады, онда разряд параметрлерінің әртүрлі манипуляцияларының көмегімен синтездеу процесін

басқару үшін бірқатар мүмкіндіктер пайда болады. Газ разрядтағы бөлшектер синтезінен кейін плазма кешенді (құрамында тозаңды компонент бар) болып табылатыны белгілі. Плазмалық ортада наноматериалдарды синтездеу кезіндегі негізгі қиындықтар плазмадағы бөлшектерде бос кеңістіктің пайда болуы болып табылады, бұл өз кезегінде нанобөлшектердің көлемі бойынша біркелкі емес өсуіне әкеледі.

Сондай-ақ, бүгінгі күні әлемде бірінші Халықаралық эксперименттік термоядролық реактордың құрылысына бағытталған ИТЭР бірегей халықаралық жобасы үлкен қызығушылық тудырады. ИТЭР жобасының мақсаты өнеркәсіптік ауқымда термоядролық энергияны пайдаланудың технологиялық мүмкіндігін көрсету болып табылады. Бұл тұрғыда бірнеше жетістіктерге қол жеткізілді: температураның аса жоғары болуы және жеткілікті уақыт ұстап тұру негізінде термоядролық реакциялардың оң энергетикалық балансын қамтамасыз етуі. Термоядролық реакторлардағы плазмалық ағынның жоғары температурасы (шамамен 150 млн.градус) жеңіл ядролардың синтезін жүзеге асыру үшін негізгі шарттардың бірі болып табылады. Мұндай жоғары температуралы плазманың реактор мен дивертордың қабырғаларымен жанасуын болдырмау үшін оны тороидалды камераның ортасында магнит өрісінің көмегімен ұстап қалады. Алайда, плазманың қуатты импульстік ағыны, бөлінген плазмалық ағынның үзілуі кезінде, реактордың камераішілік материалдарының беттерімен өзара әсерлесу жасайды. Камера ішінде орналасқан реактор компоненттерімен ыстық плазманың өзара әрекеттесуін зерттеу термоядролық реакторлар физикасының күрделі проблемасы болып табылады. Өзара әсерлесу процестері термоядролық реактор қабырғасының материалдарын таңдауды, сондай-ақ қабырғамен өзара әсерлесу жасайтын шектеулерді ескере отырып, оның дұрыс пайдаланылуын анықтайды.

Бүгінгі күні плазманың реакторлардың беткі қабырғасының материалымен өзара әрекеттесуінде негізгі рөл атқаратын мынадай негізгі проблемаларды атап өтуге болады, бұл – материалдардың эрозиясына байланысты тозаңның пайда болуы; вакуумдық камера материалдарында радиоактивті тритийдің жиналуы. Тоzaңның жиналуы және оның тұнуы, реактор көлемінде наноқұрылымдалған пленкалар негізінен теріс рөл атқарады. Біріншіден, бұл жоғары температуралы плазманың жануының тұрақсыздығына және үзілістің пайда болуына, екіншіден, тритийдің жиналуына әкеледі, бұл реакторды қауіпсіз пайдалану және оның үнемділігі үшін проблема болып табылады.

Осы саладағы белсенді зерттеулер плазманың қатты денелермен өзара әрекеттесуіне байланысты көптеген мәселелерді анықтаса да, әлі де түсініксіз

сәттерді қалдырады, атап айтқанда термоядролық реакторларда тозаңның пайда болу туралы мәселе және оны шешу үшін мұқият зерттеу қажет.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты плазмалық ортада электр разрядтары синтезделген нанобөлшектердің сипаттамаларын зерттеу және ілеспе мәселелер күрделі құрамды плазмада наноматериалдардың пайда болу теориясының негіздерін қалыптастыру үшін **өзекті** болып табылады деп қорытынды жасауға болады.

**Жұмыстың мақсаты.** Электр газ разрядтарының тозаңды плазмасында көміртекті наноматериалдарды синтездеу және олардың қасиеттерін зерттеу.

**Зерттеу нысаны.** Инертті және құрамында көміртегі бар газдардың қоспасының разрядты жоғарыжиілікті (ЖЖ) плазмасында плазмалық әдіспен алынған көміртектің синтезделген нанобөлшектері және плазма қасиеттері, сондай-ақ импульсті плазмалық үдеткіш қондырғысында алынған нысананың эрозиясының наноқұрылымды көміртекті өнімдері болып табылады.

**Зерттеу пәні.** Аргон-ацетилен газдарының қоспасы ЖЖразрядты плазмасында синтезделген көміртекті нанобөлшектердің өлшемдері (диаметрі), көміртекті нанобөлшектерінен құралған плазмалық-тозаңды бұлттың геометриялық формасы, ТЯЭР бірінші қабырғасының кандидаттық материалының эрозиясы өнімдерінің беттік қасиеттері.

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

– ЖЖ разрядта көміртегі нанобөлшектерін синтездеу және нанобөлшектерден құралған плазмалық-тозаңды бұлттың геометриялық формаларының қосымша тұрақты өріс параметрлеріне тәуелділігін зерттеу.

– жарықтың динамикалық шашырауы әдісі негізінде аргон-ацетилен газдарының қоспасының разрядында плазмохимиялық әдіспен көміртегі нанобөлшектерінің түзілуінің ерте сатысында мөлшерін анықтау жүйесін әзірлеу.

– импульсті плазмалық үдеткіштің қондырғысында (ИПУ, ЭТФ ҒЗИ әл-Фараби ҚазҰУ) күшті дамыған наноқұрылымды беттерді алу мақсатында импульсті плазмалық ағынның графитті нысанамен өзара әрекеттесу процесін зерттеу.

– СЭМ және Раман спектроскопиясы көмегімен термоядролық энергетикалық реакторлардың (ТЯЭР) бірінші қабырғасының кандидаттық материал эрозия өнімдерінің бетін талдау.

**Зерттеу әдістері.** Қойылған мақсатқа жету үшін қажетті міндеттерді шешу кезінде келесі әдістер қолданылды: көміртекті наноматериалдарды синтездеу үшін ЖЖ разряд плазмасында газофазды тұндыру әдісі қолданылды. Нанобөлшектердің өлшемін анықтау үшін олардың ерте даму кезеңінде жарықтың динамикалық шашырауы әдісі қолданылды. Кандидаттық

материал эрозиясының салдары болып табылатын нанокұрылымдық түзілімнен алынған беттік қасиеттерді зерттеу үшін (нанобөлшектер және нанобөлшектер) эксперименттерде электрондық, оптикалық микроскопия және рентгенкұрылымдық талдау әдістері қолданылады. Газды разрядта нанобөлшектерден жасалған тозанды плазманың қасиеттерін зерттеу плазмалық-тозанды түзудің бейне фиксациясы негізінде орындалған. ЖЖ разрядты нанобөлшектерінен тозанды плазмасының кеңістіктік сипаттамаларын басқару үшін тұрақты ток көзінің көмегімен жасалатын қосымша электростатикалық өріс пайдаланылды.

### **Қорғауға шығарылатын мәселелер:**

– Көміртегі нанобөлшектерін аргон-метан газдарының қоспасының ЖЖ разрядында синтездегенде теріс электростатикалық өрістің ұлғаюы көміртегі нанобөлшектерінің дисперсиялығының ұлғаюына әкеледі.

– Жарықтың динамикалық шашырауы әдісі негізінде аргон-ацетилен газдары қоспасының разрядты ЖЖ плазмасындағы көміртегі нанобөлшектерінің мөлшерін анықтау бойынша әзірленген жүйе 5,3-20 мкс декореляция уақыты аралығында көміртегі нанобөлшектерінің диаметрі 5,3-20 нм-ге дейін өзгертетінін көрсетті.

– Импульсті плазмалық ағынның термоядролық реактордың бірінші қабырғасының кандидаттық материалының бетімен өзара әрекеттесуі нанобөлшектерден бөлек, фракталды нанокұрылымды материалдардың пайда болуына әкеледі.

**Жұмыстың жаңалығы.** Жұмыстың жаңалығы мен бірегейлігі онда алғаш рет:

– газ разрядының плазмасындағы микро - және нано-өлшемдегі тозанды бөлшектерінің кеңістіктік сипаттамаларын басқару әдісі әзірленді.

– аргон-ацетилен газдары қоспасының жоғары жиілікті газ разрядының плазмасында оларды синтездеудің бастапқы сатысында көміртегі нанобөлшектерінің мөлшерін анықтау үшін жарықтың динамикалық шашырауы әдісі қолданылды.

– импульсті плазмалық үдеткішті орнатуда фракталды беті бар нанокұрылымды материалдар алынды.

**Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы.** Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер наноматериалдарды синтездеуге арналған реактивті плазмалық жүйелерді әзірлеу кезінде технологияны дамыту үшін құнды болып табылады. Синтезделген нанобөлшектермен плазманың өзара әрекеттесу процестерін зерттеу плазмалық-шаң түзілімдерінің құрылымдық сипаттамаларын, сондай-ақ олардың ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұдан басқа, нанобөлшектердің қасиеттерін инертті және реактивті

газдар плазмасында синтездеудің бастапқы сатысында зерттеу өзекті мәселе болып табылады, өйткені көптеген жағдайларда наноматериалдардың қасиеттері электрондық микроскопия және т.б. арқылы жүргізілген эксперименттерден кейін анықталады.

Ұлттық деңгейдегі осындай зерттеулердің қажеттілігі Қазақстанның ғылыми-технологиялық және индустриялық-инновациялық дамуының басым бағыттары болып табылатын басқарылатын термоядролық энергетика, нанотехнологиялар мен наноматериалдар, мұнай-газ және тау-кен металлургия өнеркәсібінің қажеттіліктері үшін жаңа конструкциялық материалдар, аспап жасау, аса тығыз интегралды схемалар және т.б. салаларда берілген нәтижелерді кең қолдануымен байланысты.

**Жұмыстың нәтижесінің сенімділігі мен негізділігі** жоғары импакт-факторлы шетел журналдарында және ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, жақын және алыс шетелдердің халықаралық ғылыми конференцияларының еңбектерінде, сондай-ақ ҚР өнертабысқа патентімен расталады.

**Автордың өзінің қосқан үлесі:** диссертациялық жұмыстың барлық көлемі, зерттеу әдісін таңдау, есептерді шешу, эксперименттік қондырғыны жаңарту автормен өз бетінше орындалған. Міндеттер қою және нәтижелерді талқылау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

**Жарияланымдар.** Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 35 баспа жұмысы жарияланды: 7 PhD дәрежесін алу үшін және диссертацияның негізгі нәтижелерін жариялау үшін ҚР БҒМ БҒСБК тізбесінен шыққан журналдарда және Web of Knowledge (Thomson Reuters, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурсына кіретін импакт-факторлы алыс шетел журналдарында 5 мақала; халықаралық ғылыми конференциялар материалдарында 21 жұмыс және 1 ҚР өнертабыс патенті.

**Диссертациялық жұмыстың апробациядан өтуі.** Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесі конференцияларда баяндалып, талқыланды:

– «Фараби әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференцияда (2014 ж., әл-Фараби ҚазҰУ, Алматы қ.);

– тозаңды плазмасының физикасы бойынша «ICPDP-2014» 7-ші халықаралық конференциясында (2014 ж., Нью-Дели қ., Үндістан);

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

– «SCCS-2014» қатты байланысты кулондық жүйелердің физикасы бойынша халықаралық конференцияда (2014 ж., Нью-Мехико қ., АҚШ);

- тозаңды плазма физикасы бойынша 14-ші халықаралық семинарда (2015 ж., Аубурн қ., Алабама шт., АҚШ);
- плазма физикасы және плазмалық қосымшалар бойынша «PPPT-8» 8-ші халықаралық конференциясында (2015 ж., Минск қ., Беларусь);
- «ICPIG» иондалған газдардағы құбылыстар бойынша 23-ші халықаралық конференцияда (2015 ж., Яссы қ., Румыния);
- «PNP-15» идеальді емес плазма физикасы бойынша 15-ші халықаралық конференция (2015 ж., Алматы қ.);
- «EPS-XXXXII» плазма физикасы бойынша Еуропалық физикалық қоғамның 42-ші конференциясында (2015 ж., Лиссабон қ., Португалия);
- ауыр иондарды синтездеу бойынша 21-ші Халықаралық симпозиум "HIF-2016" (2016 ж., Астана қ.);
- 9-шы Халықаралық ғылыми конференцияда "физиканың қазіргі жетістіктері және іргелі физикалық білім" (2016 ж., Алматы қ.);
- «ICPIG» иондалған газдардағы құбылыстар бойынша 24-ші халықаралық конференцияда (2016 ж., Ешторил қ., Португалия);
- тозаңды плазмасы физикасы бойынша «ICPDP-2017» 8-ші халықаралық конференциясында (2017 ж., Прага қ., Чехия);
- «SCCS-2017» қатты байланысты кулондық жүйелер физикасы бойынша халықаралық конференцияда (2017 ж., Киль қ., Германия);
- «JSAP-2017» халықаралық конференциясында (2017 ж., Жапония).

**Диссертация тақырыбының ғылыми жобалар жоспарларымен байланысы.** Диссертациялық жұмыс келесі іргелі ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес орындалған: ҚР БҒМ гранты «Термоядролық энергетикалық реакторлардың жұмыс режимдерін қабырғалық тозаңды плазма қасиеттерін кешенді зерттеу негізінде оптимизациялау» 2012-2014 жж., шифры 1115/ГФ4, «Плазмалық-тозаңды орталарда нанокұрылымдық функционалдық материалдарды алу және түрлендіру» 2012-2014 жж., шифрф 0182 ПЦФ-2014-ОТ, «Термоядролық энергетикалық реакторлардың жұмыс режимдеріне тозаңның түзілу процестерінің және тозаңы бар қабырға плазмасының қасиеттерінің әсері» 2015-2017 жж., шифры 3112/ГФ4, «Микро және нано өлшемді бөлшектерін манипуляция әдісін әзірлеу мақсатында төмен температуралы кешенді плазманың қасиеттерін зерттеу» 2015-2017 жж., шифры 3097/ГФ4.

**Диссертацияның көлемі мен құрылымы.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан және 161 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, 71 сурет пен 4 кестені қоса алғанда, негізгі компьютерлік мәтін 108 беттен тұрады.