«6D060500 – Ядролық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған диссертацияның

АҢДАТПАСЫ

МОЛДАБЕКОВ ЖАНГАЛИ МУСЫРМАНКУЛОВИЧ

«ПЛАЗМАЛЫҚ ФОКУС» ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНДА МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ЭРОЗИЯСЫ ЖӘНЕ НЕЙТРОНДАРДЫҢ ШЫҒУЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Зерттеу жұмысының жалпы сипаттамасы

Диссертациялық жұмыста плазмалық фокус қондырғысында DD ядролық синтез реакциялары нәтижесінде түзілетін нейтрондардың шығу параметрлері мен олардың генерациясына әсер ететін механизмдері зерттеледі. Сонымен қатар нейтрондар мен иондардың әсерінен (^{182}W) вольфрам және (^{92}Mo) молибден пластиналарымен ядролық әсерлесуден пайда болатын радиациялық эрозия мен зақымдануы зерттелді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Қазіргі таңда басқарылатын термоядролық синтезді жүзеге асыру мәселесі ядролық физиканың іргелі бағыттарының бірі болып табылады. Бұл бағыттағы зерттеулер, тек энергетикалық мақсаттармен ғана емес, жоғары энергиялы ядролық реакциялар кинетикасымен, синтез өнімдерімен, нейтрондар генерациясының механизмдерімен және олардың затпен өзара әсерлесу ерекшеліктерін зерттеумен тығыз байланысты. Мұндай ядролық синтезделуге қатысты зерттеулерді жүзеге асыру үшін соңғы жылдары бөлшектердің энергиясын тікелей басқаруға мүмкіндік беретін импульсті плазмалық қондырғыларға деген қызығушылық ерекше артып келе жатыр. Осындай қондырғылардың бірі – плазмалық фокус (ПФ) жүйесі болып табылады. Ол қысқа уақыт (~10-50 нс) ішінде тығыздығы ~10^{19}-10^{24} см$^{-3}$ және синтез реакцияларын қоздыруға жеткілікті энергиялы иондарды қалыптастыруға мүмкіндік береді. Плазмалық фокус қондырғыларында жүзеге асатын DD синтез реакцияларының нәтижесінде энергиясы 2,45 МэВ болатын нейтрондар мен жоғары энергиялы ион ағындары және қатты рентген сәулелену көздері генерацияланады. Мұндай нейтрондар ағыны ядролық реакциялардың кинетикасын зерттеуде, синтез механизмдерін анықтауда және ядролық сәулеленудің материалдарға әсерін талдауда маңызды эксперименттік құрал болып табылады. Алайда ПФ қондырғыларындағы нейтрондар эмиссиясының тұрақтылығы мен тиімділігін арттыру мәселесі әлі күнге дейін толық шешілмеген проблемалар қатарына жатады, және синтез реакцияларының ядролық-физикалық табиғатын терең зерттеуді қажет етеді.

Ядролық физика саласындағы заманауи ғылыми-зерттеу бағыттарының бірі, жоғары энергиялы нейтрондардың генерация механизмдерін анықтау және олардың конденсацияланған ортадағы затпен өзара әсерлесу ерекшеліктерін зерттеу болып табылады. ПФ қондырғыларындағы нейтрондардың шығу параметрлері синтез реакциясының жүру шарттарына,

иондардың энергия спектріне және ядролық реакция қимасының энергияға тәуелділігіне байланысты күрделі көпфакторлы сипатқа ие. Бұл факторлардың өзара әсері нейтрон эмиссиясының уақыттық тұрақсыздығына және импульстік флуктуациясына алып келеді. Мұндай олқылықтарды болдырмау үшін синтез реакцияларының ядролық кинетикасын зерттеу және нейтрондардың шығымының параметрлерін оңтайландыру ядролық физиканың маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Сонымен қатар, нейтрондардың генерациясына термоядролық және үдеткіштік механизмдерімен жүзеге асатыны белгілі. Алайда, нақты қандай механизм көбірек әсер ететіні және қандай параметрлерге тәуелді болатыны әлі күнге дейін түрліше пікірталастар туғызуда. Сондықтанда, нейтрондардың генерациясының механизмдерін зерттеу және эксперимент жүзінде модельдеу, қазіргі ядролық физика саласындағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Қазіргі уақытта ПФ қондырғысындағы термоядролық синтезделу реакция өнімдерімен, соның ішінде ион, нейтрон ағындарының материалдармен өзара әрекеттесуінен туындайтын радиациялық эрозия мен зақымдану, материалдардың радиациялық тұрақтылығын сынау, ядролық қауіпсіздік пен бейбіт мақсаттағы қолданбалы ядролық физика үшін ерекше маңызға ие. Вольфрам (^{182}W) және молибден (^{92}Mo) материал пластиналарын радиациялық әсерлесуден кейінгі (n,γ) ядролық реакциялардың нәтижесінде материалдардың кристалдық торларында радиациялық ақаулар дислокациялар, вакансиялар түрінде пайда болады. Нәтижесінде, He, H изотопы атомдарының жиналуынан радиациялық блистерлердің түзілуі мен микросызаттардың пайда болуы болашақ ТЯР үшін қауіп тудырады және олардың эксплуатациялық уақыты мен энергетикалық тиімділігінің азаюына алып келеді. Сондықтанда, радиациялық әсерлесуден кейінгі материалдардың зақымдануын, радиациялық тұрақтылығын зерттеу ядролық физика саласындағы маңызды міндеттерінің бірі болып табылады.

Жоғарыда көрсетілген мәселелерді ескере отырып, энергиясы 2,5-3 МэВ диапазонындағы термоядролық нейтрондардың генерация параметрлерін анықтау, олардың синтез реакциясының кинетикасымен байланысын зерттеу және нейтрондардың материалдармен радиациялық әсерлесуін кешенді эксперименттік талдау ядролық физиканың іргелі және қолданбалы мәселелерін шешуге бағытталған ғылыми тұрғыдан маңызды және ұсынылып отырған диссертациялық **жұмыстың өзектілігі** болып табылады.

Зерттеу жұмысының мақсаты

ПФ разрядында жүретін DD синтез реакциясы кезіндегі термоядролық нейтрондар генерациясының қарқындылығына әсер ететін негізгі ядролық-физикалық параметрлерді анықтау және олардың материалдармен өзара әсерлесу нәтижесінде радиациялық-индукцияланған құрылымдық өзгерістері мен эрозияны зерттеу болып табылады.

Көрсетілген мақсаттарға жету үшін келесідей **міндеттерді** шешуді қажет етеді:

– плазмалық фокус параметрлеріне байланысты DD термоядролық синтез реакциясының жүзеге асатын физикалық шарттарын анықтау және МэВ диапазонындағы жылдам нейтрондардың генерация мүмкіндігін зерттеу;

– ПФ-4 қондырғысында физикалық энергетикалық параметрлерінің DD термоядролық синтез реакциясына және нейтрондар генерациясының ядролық механизмдеріне әсерін эксперименттік зерттеу.

– ПФ-4 термоядролық эксперименттік қондырғысында нейтрондық және иондық сәулелену әсерінен кейін ^{182}W мен ^{92}Mo пластиналарында пайда болатын радиациялық зақымдану дәрежесі мен эрозияны ағын тығыздығына тәуелділігін анықтау.

Зерттеу нысаны

ПФ-4 қондырғысының разрядындағы DD синтез реакциясы нәтижесінде пайда болатын нейтрондардың шығу параметрлері мен олардың ^{182}W, ^{92}Mo ядролық әсерлесу процестері.

Зерттеу пәні

DD термоядролық синтез реакциясының кинетикалық параметрлеріне және нейтрондар генерациясына ПФ қондырғысындағы физикалық, энергетикалық шамаларының әсері. Нейтрондардың ^{182}W, ^{92}Mo әсерлесуі нәтижесінде туындайтын атомдардың ығысуы мен радиациялық эрозия процестері.

Зерттеу әдісі

Диссертациялық жұмыста қойылған нәтижелерге жету үшін мынадай диагностикалық зерттеу әдістері қолданылды: Синтезделу аймағынан шығатын, қатты рентген сәулелерін тіркеу үшін ФЭК және СППД11-04 сциляционды детектор, DD синтезделу реакциясы кезіндегі абсолютті нейтрондардың шығуын тіркеу СТС-5 Гейгер санағышы бар белсендірілген күміс фольгалы детектор, плазмалық қабықшаның қалыптасуын бақылау үшін ПЗС матрица негізінде басқарылатын Videoscan-415-2001 камерасы және сигналдарды жазу үшін Leecroy маркалы осцилографы пайдаланылды. SRIM code есептеу бағдарламасы. Радиациялық әсерлесуден кейінгі өзгерістерді зерттеу үшін - DM 6000M (Leica) оптикалық микроскоп, (SU8200 FE SEM Hitachi High-Technologies Corporation, SEM, ZEISS Crossbeam 540) сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ), Атомдық күштік микроскоп (АКМ) – материлдар бетінің құрылымы мен беттік кедірлерді зерттеу үшін қолданылды.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар

1. ПФ-4 плазмалық фокус қондырғысында разряд параметрлерінің өзгерісі, сығылу фазасындағы дейтерий иондарының энергиясының артуына, реакция қимасының σ(E) энергияға тәуелді өсуіне әсер етіп, нәтижесінде синтез реакциясының жылдамдығы $R\sim10^{16}$-10^{17} см$^{-3}$с$^{-1}$ мәндеріне дейін артады. Ядролық әсерлесу уақытының өзгерісі, реакция жылдамдығының азаюына және нейтрондар генерациясының қарқындылығының $Y_n=6\cdot10^7$-$2\cdot10^8$ нейтрон/разряд диапазонында қалыптасуына алып келеді.

2. Нейтрондардың бұрыштық таралуы бойынша анизотропия коэффициенттері 2,32-2,9 аралығында өзгеруі плазмалық фокус разрядында

DD термоядролық синтез реакциясы кезінде нейтрондар генерациясына үдеткіштік механизмнің үлесі, термоядролық механизммен салыстырғанда басым рөл атқарады.

3. Зақымдану деңгейінің 0,3 dpa (атомдық ығысу) бастап вольфрамда вакансиялық кластерлерде дейтерий иондарының жинақталуы нәтижесінде тығыз блистерлік құрылымдар түзіліп, 0,6 dpa-0,9 dpa аралығында кіші өлшемді блистерлердің бірігуінен тығыздығы ~65% төмендейді, ал ірі блистерлердің үлесі ~55% артады. Молибден үшін зақымдану деңгейі 0,2 dpa-0,6 dpa аралығында беткі эрозиялық эволюциялар 15% -20% артады.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы

1. термоядролық плазмадағы DD термоядролық синтез реакциясының парамтерлеріне плазмалық фокус қондырғысының физикалық және энергетикалық параметрлерінің әсері анықталды және 10^6-10^8 нейтрон/разряд деңгейіндегі нейтрондардың шығуы алғаш рет эксперименттік түрде тіркелді;

2. ПФ-4 эксперименттік қондырғысында максималды нейтрондар ағыны байқалатын оптимал параметрлеріне қатысты, термоядролық нейтрондар генерациясына үстемдік ететін механизмі анықталды;

3. нейтрон ион ағындарымен радиациялық әсерлесуінің артуынан, ^{182}W материалындағы 0,6 dpa (атомдық ығысу) бастап дислокациялық торларда, вакансияларда және түйінаралық ақауларда дейтерий иондарының жиналуынан пайда болатын тығыз блистерлер саны азаятыны, ал ^{92}Mo материалында 0,4 dpa (атомдық ығысу) микросызаттар ені артатыны эксперимент жүзінде анықталды.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер, ядролық зерттеулер үшін, нейтрондық көздерді жасақтауда, DD ядролық реакциялардың кинетикасын терең түсінуде қажетті параметрлерін анықтауда және нейтрондар генерациясының механизмдерін түсінуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, нейтрондардың заттармен ядролық әсерлесуден кейінгі кристаллдық торлардағы радиациялық зақымданулар мен эрозияларды эксперименттік модельдеуде және жоғары энергиялы ядролық технологияларда қолданылатын материалдардың радиациялық төзімділігін бағалау бойынша маңызды ғылыми-тәжірибелік мәнге ие.

Автордың өзінің қосқан үлесі

Диссертацияның толық көлемін жазу, зерттеу әдістерін таңдау және диссертациялық жұмыста ұсынылған негізгі эксперименттік нәтижелерді талдау, өңдеу автордың дербес өзі жүзеге асырған. Жұмыстағы негізгі міндеттер мен тапсырмаларды белгілеу және алынған нәтижелерді сараптау отандық және шет елдік ғылыми жетекшілермен бірлесе отырып жүргізілді.

Диссертациялық жұмыстың аппробациядан өтуі

Диссертациялық жұмыс нәтижелері жергілікті және халықаралық конференцияларда баяндалып, талқыланды: Proceedings of the International Conference on Advances and Applications in plasma physics (AAPP 2019) Санкт Петербург қ., Ресей 18-21 қыркүйек 2019 ж. 20th International conference on Radiation Effects in Insulators. Нұрсұлтан қ, Қазақстан 19-23 тамыз 2019 ж.

«Фараби Әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы Алматы, Қазақстан 06-09 сәуір 2019 ж. «The 2nd International Conference on High energy Physics, Material Science and Nanotechnology» Халықаралық ғылыми конференциясы Алматы қ, Қазақстан 15-16 ақпан 2024 ж. «Ғылым және инновациялар: Қазақстан Республикасы және халықаралық тенденциялар» халықаралық ғылыми-тәжірибиелік конференциясы. Нұр-Сұлтан, Қазақстан 2-4 маусым 2020 ж.

Диссертация тақырыбы бойынша жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша жалпы 16 жұмыс жарияланған, оның ішінде Web of Science және Scopus, деректер базасына кіретін 2 жұмыс, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамассыз ету комитетінің тізіміне кіретін журналдар бойынша 9 жұмыс, және отандық және Халықаралық ғылыми конференцияларда 5 жұмыс жарияланған.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі:

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 тараудан, қорытынды және 49 сурет, 8 кесте, 89 формула, 124 пайдаланылған әдебиеттер тізімі мен 101 бетті қамтиды.