

«8D05308 – Ядролық физика» білім беру бағдарламасы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертацияға

АНДАТПА

ХОДЖАЕВ РОМАЗАН АХМЕДЖАНОВИЧ

Төмен энергиялардағы жеңіл зарядталған бөлшектермен ^{10,11}B ядроларының әрекеттесуіндегі құрылымдық сипаттамалары.

Диссертацияда ^{10,11}B ядроларының құрылымдық сипаттамаларын кешенді зерттеу нәтижелері келтірілген. эксперименттік бақылаулар және теориялық талдаулар негізінде олардың төмен энергиялар диапазонында жүретін жеңіл зарядталған бөлшектермен өзара әрекеттесу процестері қарастырылады.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Жеңіл ядролардың құрылымын және олардың дейтрондар мен альфа-бөлшектермен өзара әрекеттесу механизмдерін зерттеу қазіргі ядролық физика мен астрофизиканың маңызды әрі толық шешілмеген мәселелерінің бірі болып қала береді. Ерекше қызығушылықты экзотикалық құбылыстар тудырады, яғни, нейтронға бай ядроларда да, тұрақты ядроларда да анықталған нейтронды гало және айқын кластерлену. Бор изотоптарының ¹⁰B және ¹¹B ядроларына айқын кластерлік конфигурациялар тән, бұл шашырау динамикасына және тасымалдау реакцияларына елеулі әсер етіп, үлкен бұрыштарда қималардың аномальды өсуіне әкеледі.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы бор изотоптарының термоядролық технологиялардағы, ядролық медицинадағы және астрофизикадағы рөлімен байланысты. Осы ядролар үшін өзара әрекеттесу параметрлері мен спектроскопиялық факторларды нақтылау жаңа технологияларды әзірлеу және жұлдыздардағы нуклеосинтезді түсіну үшін маңызды процестерді модельдеу дәлдігін арттыруға көмектеседі. ¹⁰B ядросы қолданбалы технологияларда белсенді пайдаланылады, атап айтқанда, бор-нейтронды қарпу терапиясында (БНҚТ), мұнда нейтрондармен өзара әрекеттесу тиімділігі ядроның құрылымы мен қасиеттеріне тәуелді.

Ядролық кемпіркосақ құбылысы дәстүрлі тәсілдердің анықталмағандықтарын азайта отырып, α -бөлшектердің бор ядроларында шашырауы кезіндегі оптикалық потенциалдарды егжей-тегжейлі зерттеуге бірегей мүмкіндік береді. Қазіргі кластерлік алмасуды және байланысқан каналдарды ескеретін теориялық талдау әдістері жеңіл ядролар қатысатын реакциялардың құрылымы мен механизмдерін тереңірек ашуға мүмкіндік береді.

Осылайша, дейтрондар мен α -бөлшектердің бор изотоптарымен өзара әрекеттесуін зерттеу іргелі қызығушылықты да, қолданбалы ядролық физика міндеттерін де біріктіретін өзекті бағыт болып табылады.

Осы диссертацияның мақсаты төмен энергияларда (7–10 МэВ/нуклон диапазонында) дейтрондар мен альфа-бөлшектермен өзара әрекеттесу барысында тұрақты $^{10,11}\text{B}$ изотоптарының кластерлік құрылымдарының ядролық реакция шығыстарының қалыптасуына әсерін кешенді эксперименттік және теориялық зерттеу болып табылады, сонымен қатар, дифференциалдық қималарды өлшеу арқылы зерттелетін ядролардың спектроскопиялық сипаттамаларын анықтау.

Зерттеу міндеттері:

– 7–10 МэВ/нуклон энергия диапазонында дейтрондар мен α -бөлшектердің ^{10}B ядросымен өзара әрекеттесуіне әкелетін реакция шығыстарын эксперименттік өлшеулер жүргізу;

– төмен энергиялар аймағында ^{10}B және ^{11}B ядроларында дейтрондар мен α -бөлшектердің шашырауының дифференциалдық қималарына есептік талдау жүргізу және зерттелетін ядролардың деформация параметрлерін шығару;

– « $^9\text{B} + n$ », « $^6\text{Li} + \alpha$ » және ^8Be кластерлік конфигурацияларының үлкен бұрыштардағы қималарға әсерін талдау және олардың спектроскопиялық амплитудаларын анықтау.

Зерттеу объектісі: 7–10 МэВ/нуклон энергиялар интервалында $^{10}\text{B}(d,d)^{10}\text{B}$, $^{10}\text{B}(d,t)^{10}\text{B}$, $^{10}\text{B}(\alpha,\alpha)^{10}\text{B}$, $^{11}\text{B}(\alpha,\alpha)^{11}\text{B}$ процестерінің бұрыштық таралуларының дифференциалдық қималары.

Зерттеу пәні: У150М үдеткіші шоғында ^{10}B және ^{11}B ядроларында дейтрондар, α -бөлшектер шашырауының және (d,t) реакцияларының дифференциалдық қималарын эксперименттік өлшеу. « $d+^{10}\text{B}$ » және « $\alpha+^{10}\text{B}$ » жүйелері үшін ядроаралық өзара әрекеттесулерді шынайы модельдеуді қамтамасыз ететін оптикалық потенциалдардың оңтайлы параметрлерін анықтау мақсатында серпімді және серпімсіз шашырау қималарын қалыптастыратын процестер динамикасын зерттеу. ^{10}B және ^{11}B ядроларының энергетикалық деңгейлері туралы спектроскопиялық деректер алу.

Зерттеу әдістері: тәжірибеде бөлшектерді сәйкестендіру $\Delta E-E$ әдістемесін қолдану арқылы жүргізілді. Эксперименттік деректердің теориялық талдауы оптикалық модель, байланысқан арналар әдісі және бұрмаланған толқындар әдісі аясында SPI-GENOA және FRESCO бағдарламаларының көмегімен орындалды.

Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар:

1. 7–10 МэВ/нуклон төмен энергиялар интервалында $^{10}\text{B}(d,d)^{10}\text{B}$, $^{10}\text{B}(d,t)^{10}\text{B}$, $^{10}\text{B}(\alpha,\alpha)^{10}\text{B}$ ядролық процестерінің дифференциалдық қималарының жаңа бұрыштық таралулары алынды, оларды талдау аясында ^{10}B ядросының құрылымдық сипаттамалары анықталды.

2. 14,5 МэВ энергиясында « $d+^{10}\text{B}$ » және 29 МэВ энергиясында « $\alpha+^{10}\text{B}$ » жүйелері үшін ядроаралық өзара әрекеттесудің физикалық негізделген оптикалық потенциал параметрлері табылды, олар эксперименттік деректерді үйлесімді сипаттауды және ядролық деформация параметрлері мен спектроскопиялық факторларды сенімді анықтауды қамтамасыз етеді.

3. Байланысқан арналар әдісі шеңберінде серпімсіз шашырауды талдау негізінде алынған квадрупольдік деформация параметрлері ^{10}B ($\beta_2 = 0,7$) және ^{11}B ($\beta_2 = 0,42$) ядролары үшін анықталды, олар ядролардың негізгі және қозған күйлері арасындағы байланысты нақтылап, олардың құрылымының коллективтік сипатын растайды.

4. $^{10}\text{B} \rightarrow ^9\text{B} + n$, ($SA\ ^9\text{B} (3/2^-) = 0,67$, $SA\ ^9\text{B} (5/2^-) = 0,94$) ^8Be ($SA = 0,8$) және $^{10}\text{B} \rightarrow ^6\text{Li} + \alpha$ ($SA = 1,4$) кластерлік конфигурацияларының спектроскопиялық факторлары анықталды, оларды есепке алу кері бұрыштарда серпімді шашыраудың дифференциалдық қималарының бұрыштық таралуларының өсуін түсіндіреді және зерттелетін ядролардың кластерлік құрылымын негіздейді.

Ғылыми жаңалығы. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер, ең алдымен, 7-10 МэВ/нуклон энергия интервалында ^{10}B және ^{11}B ядроларымен дейтрондар мен α -бөлшектердің өзара әрекеттесу процестерін өлшеу арқылы төмен энергиялы ядролық өзара әрекеттесу бойынша эксперименттік деректер базасын кеңейтеді, ол үшін бұрын тек фрагменттік мәліметтер болған. Эксперименттік материалды кешенді талдау бірнеше теориялық тәсілдерді қолдана отырып жүзеге асырылады, бұл зерттелетін ядролардың ішкі құрылымының ерекшеліктері серпімді және серпімді емес процестердің қималарының қалыптасуына қалай әсер ететінін бақылауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелерді неғұрлым кең энергиялар диапазонында жарияланған мәліметтермен салыстыру бақыланатын әсерлерді түсіндіруді нақтылауға және зерттелетін ядролық жүйелердің өзара әрекеттесу сипатын анықтайтын физикалық механизмдерді нақтылауға мүмкіндік берді.

Байланысты арналар әдісі шеңберінде 7-10 МэВ/нуклон энергиялар интервалында ^{10}B және ^{11}B ядроларының (теріс белгісі бар) квадрупольдік деформация параметрлерінің мәндері нақтыланды.

$^{10}\text{B} \rightarrow ^6\text{Li} + \alpha$, $^{10}\text{B} \rightarrow ^9\text{B} + n$ және ^8Be кластерлік конфигурациялары үшін спектроскопиялық амплитуданың физикалық негізделген мәндері артқы жарты шарда ^{10}B ядродағы (α, α) , (d, d) шашыраулары және (d, t) реакциялар қималарының сипаттамасынан алынды.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы. Орындалған зерттеу жоғары ғылыми және практикалық құндылыққа ие. Дейтрондар мен α -бөлшектердің ^{10}B және ^{11}B ядроларымен 7-10 МэВ төмен энергиялы өзара әрекеттесуі туралы алынған жаңа дәл эксперименттік деректер, әсіресе бұрын әлемдік тәжірибеде нашар ұсынылған кең бұрыштық өлшеу диапазоны аясында қолданыстағы ядролық мәліметтер базасын айтарлықтай толықтырады. $^{10}\text{B}(d, d)^{10}\text{B}$, $^{10}\text{B}(d, t)^9\text{B}$, $^{10}\text{B}(\alpha, \alpha)^{10}\text{B}$ және $^{11}\text{B}(\alpha, \alpha)^{11}\text{B}$ сияқты процестердің эксперименттік қималары жаһандық ядролық деректер базасына жаңа үлес болып табылады және МАГАТЭ қолдайтын EXFOR сияқты халықаралық кітапханаларға енгізілуі мүмкін.

Теориялық тұрғыдан алғанда, нәтижелер ^{10}B және ^{11}B ядроларының құрылымдық сипаттамаларын нақтылау үшін маңызды және оларды қазіргі ядролық модельдерді тексеру және калибрлеу үшін пайдалануға болады. Жаңа эксперименттік деректерді теориялық есептеулердің болжамдарымен

салыстыру энергияның кеңейтілген аймағындағы ядролық өзара әрекеттесу механизмдері мен кластерлік типтегі реакцияларды сипаттау дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Нәтижелердің практикалық маңыздылығы оларды термоядролық және гибриді басқару жүйелерін қоса алғанда, перспективті ядролық-энергетикалық қондырғылардағы физикалық процестерді модельдеу кезінде қолдану болып табылады. Сонымен қатар, жинақталған деректерді астрофизикалық жағдайларда – жұлдыздарда және жұлдызаралық ортада болатын нуклеосинтез реакцияларын есептеуде қолдануға болады, мұнда жеңіл ядролардың өзара әрекеттесуі ғаламның химиялық құрамын қалыптастыруда шешуші рөл атқарады.

Жұмыс нәтижелерінің дұрыстығы:

Әлемдік ғылыми тәжірибеде дәлелденген және кеңінен танылған эксперименттік және теориялық әдістерді қолдану арқылы қамтамасыз етіледі. Эксперименттік бөлімде бөлшектерді тіркеу мен сәйкестендірудің сенімді әдістемесі – ΔE - E әдісі қолданылды, бұл әдіс ядролық реакцияларды зерттеуде жоғары тиімділікті көрсететін әдіс болып табылады. Теориялық модельдеу оптикалық және бүктеу модельдерін, сондай-ақ бұрмаланған толқындар мен байланысқан арналар әдісін қолдана отырып жүргізілді, бұл реакция механизмдерінің жан-жақты сипаттамасын қамтамасыз етеді.

Сандық есептеулер әлемдік ядролық физикада кеңінен қолданылатын, осыған ұқсас есептерде бірнеше рет апробациядан өткен FRESKO бағдарламалық кешенін қолдану арқылы орындалды.

Алынған нәтижелер басқа авторлардың әдеби деректерімен жақсы келіседі, бұл қолданылған әдістемелік тәсілдің дұрыстығын одан әрі растайды және осы зерттеу шеңберінде жасалған тұжырымдардың жоғары сенімділігін қамтамасыз етеді.

Осы зерттеудің басқа ғылыми жобалармен байланысы. Диссертациялық жұмыс бірқатар тақырыптық бағыттар бойынша кең ауқымды ғылыми зерттеулер кешенінің бір бөлігі ретінде орындалды: BR10965191 «Бәсекеге қабілетті технологияларды дамыту үшін ядролық радиациялық физика мен техника, жоғары энергиялар физикасы және космология бойынша кешенді зерттеулер» (2021–2023 жж.), ЖРН AP14870964 «Термоядролық және астрофизикалық қосымшалар үшін протондар мен ^{10}B иондарының ^{11}B ядроларымен өзара әрсерлесу процестерін зерттеу» (2022–2024 жж.) және BR21881941 «Ғарыштық сәулелер астрофизикасы мен физикасының өзекті мәселелерін шешуге арналған жоғары және ультра жоғары энергетикалық эксперименттік және теориялық зерттеулер» (2023–2025 жж.).

Автордың жеке үлесі. Диссертациялық жұмыстың негізінде «Курчатов институты» ҒЗО (Мәскеу қ., Ресей Федерациясы) қызметкерлерімен және Ядролық физика институтының төмен энергиялы ядролық реакциялар зертханасымен (Алматы қ., Қазақстан) бірлескен зерттеулер жүргізілді, қорытынды нәтижелер бірлесіп жарияланды. Автордың үлесі негізгі ғылыми мәселелерді тұжырымдауды, әдістемелік тәсілдер мен эксперименттік

жоспарларға қатысуды, эксперименттік өлшеулердің кең ауқымын тікелей орындауды, сондай-ақ алынған эксперименттік деректерді кешенді өңдеуді және оларды теориялық модельдер контекстінде кейінгі интерпретациялауды қамтиды.

Жұмыстың апробациясы және жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың материалдары келесі халықаралық ғылыми конференцияларда ұсынылып, баяндалды:

– V International Scientific Forum «Nuclear Sciences and Technologies» тезистері – Алматы, Қазақстан Республикасы, 7–11 қазан, 2024 ж.

– Ядролық физика институтының 65 жылдығына арналған IV International Scientific Forum «Nuclear Science and Technologies» тезистері – Алматы, Қазақстан Республикасы, 26–30 қыркүйек, 2022 ж.

– Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған III Халықаралық ғылыми форум «Ядролық ғылым және технологиялар» тезистері – Алматы, Қазақстан Республикасы, 20–24 қыркүйек, 2021 ж.

Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша жарияланымдар. Диссертациялық зерттеу барысында автормен 10 ғылыми жарияланым дайындалды. Олардың ішінде – 3 мақала кварталдері Q2–Q3 шетелдік рецензияланатын журналдарда (Universe (Scopus – 74-ші процентиль, WoS – Q3), Physics (Scopus – 55-ші процентиль, WoS – Q2), Nuclear Physics A (Scopus – 71-ші процентиль, WoS – Q2)) жарияланған және 2 мақала халықаралық конференциялар материалдарында (Conference Paper) жарық көрген, олар Scopus және Web of Science халықаралық мәліметтер базаларына енгізілген. Сонымен қатар, 5 халықаралық ғылыми конференциялар материалдар жинағында жарияланым бар.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт негізгі бөлімнен, қорытындыдан және 101 дереккөзден тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі 92 бет, оның ішінде 4 кесте және 39 сурет бар.