«8D05308 – Ядролық физика» білім беру бағдарламасы бойынша
философия докторы PhD дәрежесін алуға арналған диссертациясына

АҢДАТПА

Кажыкенов Шалкар Муратович

«1p қабықшалы ядролардың экзотикалық күйлері»

Диссертациялық жұмыстың жалпы сипаттамасы. 1p-қабықшасы бар жеңіл ядролар бірбөлшектік, ұжымдық және кластерлік қасиеттердің қатар көрінуімен ерекшеленеді. Шашырау реакциялары олардың құрылымын зерттеудің және ядролық өзара әрекеттесудің теориялық модельдерін тексерудің тиімді құралы болып табылады.

Бұл жұмыста протондар мен дейтрондардың ^{13}C, ^{14}C және ^{7}Li ядроларымен кулондық тоскауылға жақын энергиялар аймағындағы өзара әрекеттесу процестері зерттеледі. Бұл энергиялар диапазонында дифференциалдық қималар ядро құрылымының ерекшеліктеріне және өзара әрекеттесу параметрлеріне жоғары сезімталдық көрсетеді. Сондықтан шашырау реакциялары жеңіл ядролардағы ядролық тығыздықтың таралуын және құрылымдық әсерлерді зерттеу үшін қолданылады.

Талдау жарияланған эксперименттік деректер негізінде және заманауи теориялық тәсілдерді қолдану арқылы жүргізілді. Өзара әрекеттесу потенциалдарын құру үшін оптикалық модель мен микроскопиялық фолдинг-тәсіл пайдаланылды.

Реакциялар динамикасын сипаттау үшін парциалдық толқындар әдісі, бұрмаланған толқындар жуықтауы және байланысқан арналар формализмдері қолданылды. Бұл тәсілдер қозған күйлер мен көпарналы процестердің шашырау сипаттамаларына әсерін есепке алуға мүмкіндік береді.

Жұмыста $^{13}C(d,d)^{13}C$, $^{13}C(d,p)^{14}C$, $^{14}C(p,p)^{14}C$ және $^{7}Li(p,p)^{7}Li$ реакциялары үшін дифференциалдық қималардың бұрыштық таралулары, фазалық ығысулар және шашырау амплитудалары зерттелді. Есептеу нәтижелерін эксперименттік деректермен салыстыру оптикалық потенциалдардың параметрлерін, өзара әрекеттесу сипаттамаларын және зерттелетін ядролардың төмен жатқан қозған күйлерінің ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді.

Алынған нәтижелер микроструктуралық әсерлердің серпімді және серпімсіз шашырау қималарының қалыптасуына ықпалын көрсетеді және жабылмаған 1p-қабықшасы бар ядролар үшін эксперименттік деректерді түсіндіруді нақтылауға мүмкіндік береді. Жұмыс жеңіл ядролардың құрылымын және ядролық реакциялар механизмдерінің ерекшеліктерін зерттеуге арналған.

Диссертация тақырыбының өзектілігі эксперименттік деректерді толық сипаттауға және жабылмаған 1p-қабықшасы бар жеңіл ядролардың құрылымы туралы сенімді ақпарат алуға мүмкіндік беретін ядролық реакцияларды талдаудың заманауи теориялық әдістерін одан әрі дамыту қажеттілігімен байланысты. Көптеген эксперименттік зерттеулер жүргізілгеніне қарамастан, шашырау процестері, нуклондар тасымалы және

қозған күйлердің ядролық реакциялар сипаттамаларына әсері бойынша бірқатар мәселелер әлі де толық шешілмеген. Осыған байланысты ядро құрылымының кулондық тосқауылға жақын энергиялар аймағындағы ядролық реакциялар сипаттамаларына әсерін зерттеуге мүмкіндік беретін заманауи микроскопиялық және көпарналы әдістерді қолдану қажеттілігі сақталады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – ықтимал экзотикалық күйлерді қоса алғанда, жеңіл ^{13}C, ^{14}C және ^{7}Li ядролары микроструктурасының ^{13}C(d,p)^{14}C, ^{14}C(p,p)^{14}C және ^{7}Li(p,p)^{7}Li реакцияларының дифференциалдық қималарына әсерін анықтау.

Зерттеу міндеттері:

– кулондық тосқауылға жақын энергиялар аймағында ^{13}C, ^{14}C және ^{7}Li ядроларының құрылымдық ерекшеліктерінің протондар мен дейтрондардың серпімді және серпімсіз шашырау сипаттамаларына әсерін анықтау;

– есептеу және эксперименттік деректерді салыстыру негізінде p+^{7}Li, d+^{13}C және p+^{14}C жүйелері үшін микроскопиялық және оптикалық өзара әрекеттесу потенциалдарының параметрлерін құру және негіздеу;

– зерттелетін ядролардың төмен жатқан қозған күйлерінің сипаттамаларын, оның ішінде деформация параметрлері мен кеңістіктік құрылымының ерекшеліктерін анықтау;

– фазалық ығысулар, шашыраудың парциалдық амплитудалары және қарастырылатын ядролардың құрылымдық сипаттамалары арасындағы өзара байланысты анықтау.

Зерттеу нысаны. 3,7-12,5 МэВ энергияларында ^{13}C, ^{7}Li және ^{14}C ядроларында протондар мен дейтрондардың шашырауы кезіндегі дифференциалдық қималардың бұрыштық таралулары, соның ішінде ^{13}C(d,d)^{13}C, ^{13}C(d,p)^{14}C, ^{14}C(p,p)^{14}C, ^{7}Li(p,p)^{7}Li реакциялары.

Зерттеу пәні – төмен энергияларда ^{13}C, ^{7}Li және ^{14}C жүйелері үшін дифференциалдық қималар, фазалық ығысулар мен шашырау амплитудалары, қозған күйлердің құрылымы және ядролық потенциалдардың параметрлері.

Зерттеу әдістері. Жұмыста ядролық реакциялар теориясының заманауи әдістері қолданылды: кешенді потенциалы бар оптикалық модель, тиімді CDM3Y6 нуклон-нуклондық өзара әрекеттесуі қолданылған микроскопиялық фолдинг-тәсіл, бұрмаланған толқындар жуықтауы (DWBA), парциалдық толқындар әдісі және байланысқан арналар формализмдері CC, CDCC және CRC. Оптикалық потенциалдың жорамал бөлігі Вудс–Саксон потенциалымен берілді. Есептеулер FRESCO, Python және Wolfram Mathematica бағдарламаларында орындалды, ал салыстыру EXFOR дерекқорынан алынған және жарияланған жұмыстардағы эксперименттік деректермен жүргізілді.

Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар.

1. ^{13}C+^{12}C реакциясы үшін $E_{с.ц.м.}$=7,8-49,1 МэВ энергиялар диапазонында OM+DWBA әдісімен үлкен шашырау бұрыштары аймағындағы эксперименттік дифференциалдық қималарды қайта өндіру бірқадамды нейтрондық тасымалды ескергенде жүзеге асатыны анықталды; ^{13}C→^{12}C+n конфигурациясы үшін энергияға әлсіз тәуелді SA=0,87±0,10 спектроскопиялық амплитудасы алынды.

2. $^{13}C(d,d)^{13}C$ реакциясы үшін дейтрон энергиялары E_d=14-16 МэВ болғанда бұрыштық таралулардың пішіні дейтронның виртуалды ыдырауы мен бірнуклондық тасымал процестерінің бірлескен әсерімен анықталады. Эксперименттік деректерді қайта өндіру $^{13}C(d,p)^{14}C$ және $^{13}C(d,n)^{14}N$ арналарының ескерілуін талап етеді.

3. E_d=14,5 МэВ энергиясында ^{13}C ядросындағы дейтрондардың серпімсіз шашырауы бойынша алынған деректер негізінде E=3,09 МэВ энергиялы қозған күйдің негізінен ^{12}C+n конфигурациясындағы бірбөлшектік құрылымға ие екені анықталды, ал E=8,86 және 9,89 МэВ энергиялы қозған күйлер $^{12}C(0_2^+)$+n конфигурациясының үлесі өте аз болған жағдайда $^{9}Be+\alpha$ кластерлік конфигурациясының басым үлесімен сипатталады.

4. 3,0-7,0 МэВ энергия диапазонындағы протондық серпімді шашыраудың дифференциалдық қималарын сандық сипаттау үшін олардың кластерлік тығыздықтары (α+t және ^{12}C+2n) негізіндегі микроскопиялық бүктеу потенциалдарының (^{7}Li үшін M3Y және ^{14}C үшін CDM3Y) қолданылымдылығы анықталды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы.

1. Төмен энергиялар аймағында ^{13}C, ^{7}Li және ^{14}C ядролары үшін 1p-қабықшасы тұйықталмаған жүйелерде парциалдық толқындар әдісін, бұрмаланған толқындар Борн жуықтауын және байланысқан арналар формализмдерін пайдалана отырып, серпімді және серпімсіз шашырау процестеріне зерттеу жүргізілді.

2. Жеңіл ядролар үшін микроскопиялық фолдинг-потенциалдарды пайдалана отырып, есептеу нәтижелерінің қозған күйлердің құрылымына тәуелділігі анықталды. Дифференциалдық қималардың бұрыштық таралуларының ерекшеліктері ^{13}C және ^{14}C ядроларындағы бірбөлшектік және кластерлік конфигурациялардың көрінісімен байланысты.

3. ^{13}C ядросының қозған күйлері үшін деңгейлер құрылымындағы айырмашылықтар анықталды. 3,09 МэВ энергиялы күй үшін бірбөлшектік конфигурация басым болса, 8,86 және 9,89 МэВ деңгейлері $^{9}Be+\alpha$ кластерлік конфигурациясының басым үлесімен сипатталады.

4. $^{13}C+^{12}C$ реакциясын кластерлік фолдинг-тәсіл шеңберінде қарастыру кезінде үлкен шашырау бұрыштары аймағындағы дифференциалдық қималардың өзгеруіне бірсатылы нейтрондық тасымалдың әсері көрсетілді. Осы механизмді ескеру сыну режиміне тән аномальды үлкен бұрыштық шашыраудың ерекшеліктерін сипаттауды қамтамасыз етеді.

5. Төмен энергиялар аймағында $^{7}Li(p,p)^{7}Li$ жүйесі үшін микроскопиялық фолдинг-тәсілді қолданудың ерекшеліктері қарастырылды. Эксперименттік бұрыштық таралуларды сипаттау кезінде оптикалық потенциалдың жорамал бөлігі елеулі үлес қосады.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы жабылмаған 1p-қабықшасы бар жеңіл ^{13}C, ^{14}C және ^{7}Li ядроларының құрылымы мен төмен энергиялардағы ядролық реакциялар сипаттамалары арасындағы байланысты нақтылаумен анықталады. Жұмыста фазалық ығысулардың, шашырау амплитудаларының және дифференциалдық

қималардың қалыптасуындағы бірбөлшектік және кластерлік конфигурациялардың, тасымал процестерінің және арналар байланысының рөлі көрсетілді.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған потенциал параметрлерін, фазалық сипаттамаларды және дифференциалдық қималарды эксперименттік деректерді талдау, жаңа өлшеулерді жоспарлау және ядролық өзара әрекеттесу модельдерін нақтылау үшін пайдалану мүмкіндігімен анықталады. Алынған нәтижелер жеңіл ядролар қатысатын реакциялар бойынша ядролық-физикалық деректерді толықтыруда да қолданылуы мүмкін.

Нәтижелердің сенімділігі EXFOR дерекқорынан және жарияланған жұмыстардан алынған эксперименттік деректерді, сондай-ақ ядролық реакциялар теориясының заманауи әдістерін: оптикалық модельді, микроскопиялық фолдинг-тәсілді, DWBA және парциалдық толқындар әдісін қолданумен қамтамасыз етіледі. Сандық есептеулер FRESCO бағдарламалық кешені арқылы орындалды.

Таңдалған өзара әрекеттесу параметрлерінің сенімділігі есептелген бұрыштық таралуларды эксперименттік деректермен салыстыру арқылы расталды. Алынған нәтижелер зерттелген энергетикалық диапазонда өлшенген дифференциалдық қималармен тұрақты сәйкестік көрсетеді.

Бұл жұмыстың басқа зерттеулермен байланысы. Осы диссертациялық жұмыста жобалар мен бағдарлама бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындауға байланысты материалдар мен нәтижелер ұсынылған: AP14972391 «1p-қабықша ядроларының экзотикалық күйлерін зерттеу» (2022–2024 жж.), AP13067742 «Стационарлық емес кванттық тәсілде ^{11}Be гало-ядросының кулондық ыдырауын зерттеу» (2022–2024 жж.), AP19678586 «10 МэВ/нуклоннан бастап фрагментация реакциясында экзотикалық ядроларды алу. Шығымдар мен бойлық импульс үлестірімдерін бағалау» (2023–2025 жж.), BR24992891 «Бәсекеге қабілетті технологияларды дамыту үшін ядролық, радиациялық физика және техника, жоғары энергиялар физикасы және космология бойынша кешенді зерттеулер» (2024–2026 жж.). Аталған зерттеулер тақырыптық тұрғыдан жеңіл және экзотикалық ядролардың құрылымын, ядролық реакциялардың механизмдерін зерттеумен және ядролық физиканың есептеу-теориялық әдістерін дамытумен байланысты.

Автордың жеке үлесі. Автордың жеке үлесі зерттеу міндеттерін өз бетінше қоюдан, теориялық тәсілдерді таңдаудан, парциалдық толқындар әдісі мен бұрмаланған толқындар Борн жуықтауы шеңберінде есептеулер жүргізуден, нәтижелерді талдау және интерпретациялаудан, теориялық деректерді эксперименттік өлшеулермен салыстырудан, сондай-ақ диссертация тақырыбы бойынша жарияланымдарды дайындаудан тұрады.

Диссертация тақырыбы бойынша жарияланымдар. Зерттеу нәтижелері бойынша бес ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған ғылыми басылымдарда екі мақала және Scopus дерекқорында индекстелетін, нөлдік

емес импакт-факторы бар шетелдік ғылыми басылымдарда үш мақала жарияланды:

1. Urazbekov B.A., Karakozov B.K., Burtebayev N.T., Janseitov D.M., Nasrulla M., Alimov D., Valiolda D.S., **Kazhykenov Sh.**, Denikin A.S., Demyanova A.S., Danilov A.N., Starastcin V.A. Single-particle and cluster modes of ^{13}C excited states of 3.09, 8.86 and 9.89 MeV // International Journal of Modern Physics E. – 2022. – Vol. 31, No. 4. – 2250031. DOI: https://doi.org/10.1142/S0218301322500318

2. Janseitov D.M., Alimov D., Valiolda D.S., **Kazhykenov Sh.**, Zhaugasheva S.A., Mauyey B., Hamada Sh. Cluster folding analysis of the ^{13}C+^{12}C system at energies near the Coulomb barrier // Indian Journal of Physics. – 2025. – Vol. 99, No. 10. – P. 3891–3897. DOI: https://doi.org/10.1007/s12648-025-03585-1

3. **Kazhykenov Sh.M.**, Janseitov D.M., Yerbolatova G.U. Study of elastic scattering of protons on ^{7}Li in the energy range of 3–5.3 MeV // Physical Science and Technology. – 2025. – Vol. 12, No. 1–2. – P. 134–141. DOI: https://doi.org/10.26577/phst202512113

4. Janseitov D.M., Alimov D., Valiolda D.S., **Kazhykenov Sh.**, Mauyey B., Kemper K.W., Hamada Sh. Observation of nucleon transfer and deuteron breakup on d+^{13}C system // Revista Mexicana de Física. – 2025. – Vol. 71, No. 3. – 031204. DOI: https://doi.org/10.31349/RevMexFis.71.031204

5. **Қажыкенов Ш.М.**, Джансейтов Д.М., Валиолда Д.С., Алтухов И.В. 3,7–7,0 МэВ аралығындағы ^{14}C ядросындағы протондардың серпімді шашырауы мысалында теориялық және сандық әдістердің сәйкестігін тексеру // ҚР ҰЯО Хабаршысы. – 2025. – № 4. – Б. 198–208. DOI: https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-4-198-208

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың материалдары «Атом. Ғылым. Технологиялар» халықаралық ғылыми мектеп-конференциясында (Қазақстан, 2020 ж.) және Ядролық физика институтындағы ғылыми семинарда (2026 ж.) баяндалып, талқыланды. Жекелеген нәтижелер «Болашақ» бағдарламасы бойынша зерттеу жобасына негіз болды (2026 ж.).

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, сегіз бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттердің тізімінен тізімінен тұрады. Пайдаланылған әдебиеттердің тізімі 192 дереккөзден тұрады. Зерттеу материалдары 95 бетте баяндалған және 9 кесте мен 28 суретті қамтиды.