

АҢДАТПАСЫ

6D060500 – Ядролық физика мамандығы бойынша
философия докторы (Ph.D) ғылыми дәрежесін алуға арналған
диссертациялық жұмыстың

НАСУРЛА МАУЛЕН

Литий мен бордың тұрақты изотоптарының кластерлік құрылымдарының дейтрондармен және гелий иондарымен әсерлесуіндегі ядролық реакциялардың шығымының қалыптастырылуына ықпалы

Диссертация ${}^7\text{Li}(d,d){}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$, ${}^{11}\text{B}(d,d){}^{11}\text{B}$, ${}^{11}\text{B}(d,t){}^{10}\text{B}$, ${}^{11}\text{B}(\alpha,\alpha){}^{11}\text{B}$ және ${}^{11}\text{B}(\alpha,t){}^{12}\text{C}$ ядролық процестерінің дифференциалды қималарын 7-10 МэВ/нуклон энергияларында экспериментальды зерттеуге және түрлі теориялық модельдер шеңберіндегі талдауға арналған.

Зерттеулердің өзектілігі. Ядролық реакциялардағы өзара әсерлесу процесін үдеткіш технологияны қолдана отырып жүргізілген эксперименттік зерттеулер ядролардың құрылымы мен ядролық реакциялар механизмі туралы тікелей ақпараттың негізгі көзі болып қала береді. Бұл жағдайда ядролық динамикадағы қарапайым процесс - серпімді шашырау ерекше орын алады. Салыстырмалы көлденең қималарының үлкен мәні соқтығысушы жүйелердің тиімді өзара әсерлесу потенциалы туралы ядролық физика үшін түбегейлі маңызды ақпаратты алуға мүмкіндік береді. Сондықтанда потенциалдың физикалық сенімді мәндері реакциялардың кіріс және шығыс каналдарындағы әртүрлі бөлшектердің қатысуымен болатын ядролық реакциялар шығымдарын есептеу үшін қажет.

Сонымен қатар, күрделі бөлшектердің шашырауы жағдайында алынған потенциалдық параметрлері айтарлықтай дәл анықталмайды. Эксперименттер мен теоретиктердің көптеген талпыныстарына қарамастан, композициялық бөлшектердің ядролармен өзара әсерлесу потенциалын анықтау міндеті толығымен орындалмаған және ядролық физиканың өзекті және ашық мәселелерінің біріне жатады.

Күрделі бөлшектердің (сутегі және гелий нуклидтері, ауыр иондар) жеңіл ядролармен әрекеттесуі туралы 10 МэВ/нуклоннан жоғары энергияларда жинақталған мәліметтердің жиынтығы жеңіл ядролармен өзара әсерлесу туралы мәлімет олардың үлкен бұрыштардағы шашырау қимасы екі процестердің құрайтындығын көрсетеді: потенциалдық шашырау мен алмасу механизмі. Бұл жағдайда алмасу процестерінің үлесі өзара әрекеттесетін жүйелердің құрылымымен тікелей байланысты. Алмасу процестерімен потенциалды шашырауды жан-жақты зерттеу реакция қимасының қасиеттерін үлкен бұрыштарда қолдануға, ядролардың әр түрлі күйлерінде кластерлердің әсерін және олардың құрылымдық ерекшеліктерін зерттеуге

мүмкіндік береді. Мұндай зерттеудің ең қолайлы объектілері литий және бор ядролары болып табылады, олар белгілі кластерлік құрылымға ие.

Қазіргі уақытта белгілі кластерлік құрылымы бар ${}^6\text{Li}$ және ${}^7\text{Li}$ ядроларына гелий иондарының шашырауы жүйелі түрде зерттелді. Кері бұрыштарда көлденең қиманың бақыланатын «аномальды» көтерілуін потенциалды шашыраудан физикалық тұрғыдан ажыратылмайтын кластердің алмасу механизмінің үлесін ескере отырып сипаттауға болады. Осы механизмді ескере отырып, бірқатар зерттеулерде оптикалық потенциалдардың неғұрлым сенімді параметрлерін алуға ғана емес, сонымен қатар үлкен бұрыштардағы қималарды талдаудан кластерлік спектроскопиялық факторларды алуға мүмкіндік берді.

${}^6\text{Li}$ ядросының « ${}^3\text{He} + t$ » кластерлік конфигурациясы үшін алынған спектроскопиялық факторлардың сенімділігінің қосымша критерийі бұл шамаларды баламалы тәсілден, атап айтқанда ядролық реакциялардағы t - кластердің ауысуынан алу мүмкіндігі.

Мысалы, ${}^7\text{Li}$ ядроларындағы (d,t) реакциясы бұрын 12 МэВ, 15 МэВ, 18 МэВ, 20 МэВ және 28 МэВ энергияларында зерттелген. Тек $E_d = 12 \text{ MeV}$ кезінде өлшемдер бұрыштардың толық диапазонында алынды. Басқа жағдайларда, олар алдыңғы жарты шардың аймағында жүргізілді. 12 МэВ реакциясының (d,t) қимасының едәуір артуын t - кластердің алмасуымен түсіндіруге болады, бірақ авторлар тек алдыңғы шашырау бұрыштарындағы қималардың әрекетін сипаттайтын тікелей нейтронды бөлу механизмінің үлесін ғана ескерді. Басқа энергияларда (15, 20, 28 МэВ) тек жазықтық толқынының жуықтауына негізделген тек сапалы талдау жүргізілді. Спектроскопиялық факторлардың мәндері алынбады.

${}^{11}\text{B}$ ядроларында α бөлшектер мен дейтерондардың серпімді және серпімді емес шашырауын зерттеу де ерекше қызығушылық тудырады. Бұл ${}^{11}\text{B}$ ядроларында « α - α - t » кластерлік құрылымының болуына байланысты. Қабықша моделінің құрылымы мен $(2\alpha + t)$ кластер конфигурациясы бірге өмір сүре алатын ${}^{11}\text{B}$ ядросының күйлерін зерттеу аталған ядроның қоздырылған нейтрондық гало күйлерін сипаттауға көмектеседі. Шынында да, бірқатар зерттеулерде ${}^{11}\text{B}$ -дің төмен жатқан күйлері негізінен қабықша құрылымына ие болды, ал кластерлік құрылымдар теріс жұптығы бар күйлерде кластерлерге ыдырау шегінен жоғары немесе жақын орналасқан. Сонымен қатар, ${}^7\text{Li}$ ядроларындағы резонанстық шашырау бойынша соңғы тәжірибелерде теріс жұптықтың жаңа тобы анықталды, оның құрамына келесі қозған күйлер кіреді: 8,56 МэВ ($3/2^-$), 10,34 МэВ ($5/2^-$), 11,59 ($7/2^-$) және 13,03 MeV ($9/2^-$). Бұл күйлердің үлкен альфа ыдырау ені болғандықтан, бұл жолақты кластерлік құрылымдар негізінде құруға болады. Сонымен қатар, ${}^{11}\text{B}$ ядросының кластерлік құрылымының ${}^{12}\text{C}$ үш кластерлік құрылымымен ұқсастығы зерттеу де қызықты зерттеу болып табылады. Атап айтқанда, бірқатар жұмыстарда $3/2^-_3$ күйі $2\alpha+t$ түрінде үш кластерден тұратын конфигурация құрылымға ие бола алады және бұл құрылым үш альфа бөлшектерден тұратын 0^+_2 спинді ${}^{12}\text{C}$ қозған күйінің аналогы бола алады деп ұсынылды. Осыған қарамастан, ${}^{11}\text{B}$ 8,56 МэВ ($3/2^-$) күйі ${}^{12}\text{C}$ (0^+_2) күйіне

сәйкес келмейді деген де ұсыныс айтылды. 8,56 МэВ ($3/2^-$) мен ^{12}C (0^+_2) арасындағы ұқсастық даулы және бұл мәселе одан әрі зерттеуді қажет етеді.

Сондықтан зарядталған бөлшектердің литий және бор ядроларымен әрекеттесуін зерттеу үлкен қызығушылық тудырады. Бір жағынан, литий және бор - дейтерий-тритий плазмасын немесе нейтронсыз балама отын циклдерін қолданатын термоядролық реакторлардың перспективалық жобаларындағы отын циклінің маңызды элементтерінің бірі. Тағыда бір аспекті - ғалам эволюциясының алғашқы кезеңіндегі жеңіл ядролардың нуклеосинтезімен және жұлдызды ортада бериллий, литий және бор ядролары түзілуімен байланысты реакциялар.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты.

Жұмыстың негізгі мақсаты - тұрақты литий мен бор изотоптарының кластерлік құрылымдарының дейтерондармен және α -бөлшектермен әрекеттесу кезінде ядролық реакциялардың түсімділігіне әсерін тәжірибелік және теориялық зерттеу.

Зерттеу міндеттері. Қойылған мақсаттарға жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

- Ядролық физика институтының У150М изохрондық циклотроның 7-10 МэВ/нуклон энергияларында ^7Li және ^{11}B ядроларындағы дейтерондар мен α -бөлшектердің шашырауының және (d,t), (α ,t) реакцияларының дифференциалдық қималарын өлшеу;

- серпімді шашырау бойынша эксперименттік деректерді талдаудан «d + ^7Li », «d + ^{11}B » және « α + ^{11}B » ядролық жүйелері үшін оптикалық және фолдинг потенциалдарының глобалдық параметрлерін анықтау;

- ^7Li және ^{11}B ядроларының қозған күйлерінің деформациялық параметрлерін серпімсіз шашырау бойынша эксперименттік мәліметтерді талдаудан алу;

- $^7\text{Li} \rightarrow \langle \alpha + t \rangle$ және $^{11}\text{B} \rightarrow \langle 2\alpha + t \rangle$ кластер конфигурациясының спектроскопиялық факторларын анықтау;

Зерттеу нысаны. 7–10 МэВ/нуклон энергияларындағы $^7\text{Li}(d,d)^7\text{Li}$, $^7\text{Li}(d,t)^6\text{Li}$, $^{11}\text{B}(d,d)^{11}\text{B}$, $^{11}\text{B}(d,t)^{10}\text{B}$, $^{11}\text{B}(\alpha,\alpha)^{11}\text{B}$ және $^{11}\text{B}(\alpha,t)^{12}\text{C}$ процестері.

Зерттеу пәні. У150М үдеткішінің ағымында жеңіл ядроларда d және α бөлшектердің шашырау және (d,t), (α ,t)реакцияларының дифференциалды қималары. ^7Li және ^{11}B ядроларында d және α -бөлшектер иондарының серпімді және серпімсіз шашырауының және (d,t), (α ,t) реакцияларының көлденең қималарын қалыптастыру механизмдері. Ядро-ядро әсерлесу потенциалдарының параметрлері. ^7Li және ^{11}B ядроларының күйлерінің спектроскопиялық сипаттамалары.

Зерттеу әдістері. Ядролық физика институтының У150М изохронды циклотронында (Алматы, Қазақстан) эксперименттік зерттеу жүргізу үшін ядролық өзара әрекеттесу өнімдерін тіркеу және анықтау үшін ΔE -E техникасы қолданылды. Бұл әдістің мәні бір мезгілде заттағы ядролық реакциялар өнімдерінің (dE/dx) энергияның нақты жоғалуын және олардың жалпы кинетикалық энергиясын (E) өлшеу болып табылады. Теориялық талдау келесі модельдер көмегімен теориялық есептеулерді жүргізуге

мүмкіндік беретін FRESKO компьютерлік бағдарламасының көмегімен жүргізілді: стандартты оптикалық ядро моделі, фолдинг модель, бұрмаланған толқын әдісі және реакция каналының байланысу әдісі.

Қорғауға шығарылатын негізгі жағдайлар:

1. 14.5 и 25 МэВ энергиялардағы ${}^7\text{Li}(d,d){}^7\text{Li}$ және ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$, 14.5 МэВ энергиядағы ${}^{11}\text{B}(d,t){}^{10}\text{B}$ және 40.0 МэВ энергиядағы ${}^{11}\text{B}(\alpha,t){}^{12}\text{C}$ ядролық реакциялардың дифференциалды қималары және олардың ядроның оптикалық модель мен бұрмаланған толқындық тәсілмен жасалған анализдері « $d+{}^7\text{Li}$ », « $d+{}^{11}\text{B}$ » және « $\alpha+{}^{11}\text{B}$ » жүйелерінің потенциалдарының нақты бөлігінің дискретті белгісіздігін энергияның кең диапзонда жойды.

2. ${}^7\text{Li}$ ($\beta_2=1.1\pm 0.3$) және ${}^{11}\text{B}$ ($\beta_2=-0.80\pm 0.2$) ядроларының квадрупольдық деформациясының анықталған параметрлері зерттелетін ядролардың негізгі және қозған күйлері арасындағы канал байланысын ескерілуімен есептелген қималардың орталық бұрыштардығы эксперименталдық мәндерден алшақтауын 20-30% дейін азайтты.

3. ${}^7\text{Li} \rightarrow \langle \alpha + t \rangle$ ($SF = 1.19$) және ${}^{11}\text{B} \rightarrow \langle 2\alpha + t \rangle$ ($SF = 1.0$) кластерлік конфигурацияларының спектроскопиялық факторларының анықталған мәндері зерттелген ядролардың (d,t) және (α,t) реакцияларының артқы бұрыштардағы қималарының жоғарылауын дұрыс көрсетеді және олардың кластерлік құрылымын негіздейді.

Ғылыми жаңалығы.

1. 14.5 и 25 МэВ энергиялардағы ${}^7\text{Li}(d,d){}^7\text{Li}$ және ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$, 14.5 МэВ энергиядағы ${}^{11}\text{B}(d,t){}^{10}\text{B}$ және 40.0 МэВ энергиядағы ${}^{11}\text{B}(\alpha,t){}^{12}\text{C}$ ядролық реакциялардың дифференциалды қималары алғашқы рет өлшенілді. Осы қималардың ядроның оптикалық модель мен бұрмаланған толқындық тәсілмен жасалған анализдері « $d+{}^7\text{Li}$ », « $d+{}^{11}\text{B}$ » және « $\alpha+{}^{11}\text{B}$ » жүйелерінің потенциалдарының нақты бөлігінің дискретті белгісіздігін энергияның кең диапзонда нақтылауға қолданылды.

2. ${}^7\text{Li}$ ($\beta_2=1.1\pm 0.3$) және ${}^{11}\text{B}$ ($\beta_2=-0.80\pm 0.2$) ядроларының квадрупольды деформация параметрлері анықталды, осының есебінен зерттелінген бұрыштық таралымдарының орталық бұрыштардағы сипаттаулары айтарлықтай жақсартылды.

3. Артқы бұрыштардағы (d,t) және (α,t) реакцияларының қималарын анықтауға қажетті ${}^7\text{Li} \rightarrow \langle \alpha + t \rangle$ ($SF = 1.19$) және ${}^{11}\text{B} \rightarrow \langle 2\alpha + t \rangle$ ($SF = 1.0$) кластерлік конфигурацияларының спектроскопиялық факторлары есептелінді.

Жұмыстың ғылыми және практикалық құндылығы

Зерттеу нәтижелері жоғары ғылыми және практикалық құндылыққа ие. 7-10 МэВ/нуклон энергияларында ${}^7\text{Li}(d,d){}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$, ${}^{11}\text{B}(d,t){}^{10}\text{B}$ және ${}^{11}\text{B}(\alpha,t){}^{12}\text{C}$ процестері бойынша алынған тәжірибелік қималар әлемдік IAEA кітапханасы (EXFOR) ядролық деректер банкінің дейтрондар мен α бөлшектердің литий және бор ядроларымен әрекеттесуі туралы мәліметтермен айтарлықтай толықтыра алады. Дейтрондар мен α бөлшектердің ${}^7\text{Li}$ және ${}^{11}\text{B}$ ядроларымен төмен энергияларда әсерлесуі мен

осы зерттелген ядролық жүйелердің құрылымдық сипаттамалары бойынша алынған мәліметтердің жиынтығы перспективті атом электр станцияларының энергетикалық балансын есептеуге, сонымен қатар жұлдыздар мен жұлдыз аралық кеңістіктердегі нуклеосинтез реакцияларының теориялық есептеулеріне пайдалы болады.

Нәтижелердің сенімділігі.

Диссертацияда белгілі эксперименттік және теориялық әдістер мен модельдер қолданылды: E-E бөлшектерді тіркеу және идентификациалау техникасы, оптикалық модель, фолдинг модель, бұрмаланған толқын әдісі және байланысқан канал әдісі. Есептеулер жалпыға бірдей танымал, кеңінен сыналған компьютерлік FRESKO кодтын қолдана отырып жүргізілді. Алынған ғылыми нәтижелер осы саладағы басқа авторлардың жұмыстарымен сәйкес келеді.

Бұл жұмыстың басқа ғылыми жобалармен байланысы. Диссертация «Нейтрон артық ^9Be , ^{11}B , ^{13}C ядроларының қоздырылған галокүйлерін дейтрондармен әсерлесуде зерттеу» № ГР 0115РК01006 (2015-2017 жж.) және «Астрофизикалық және термоядролық қосымшалар үшін кулондық бөгетке жақын энергия аумақтарында ауыр иондармен туындаған протонды берудің перифериялық ядролық реакцияларын және радиациялық қарпуды зерттеу», АР05132062 / ГР (2018-2020) грантарының шеңберінде орындалды.

Автордың жеке үлесі. Диссертацияда ұсынылған нәтижелерді автор Ядролық физика институтының төмен энергиялы ядролық реакциялар зертханасың (Алматы, Қазақстан), «Курчатов институты» ғылыми-зерттеу орталығының (Мәскеу, Ресей Федерациясы) және Сайтама университетінің (Токио, Жапония) қызметкерлерімен бірлесе отырып алды және бірлескен басылымдарда жарияланды. Автордың жеке үлесі - зерттеу тапсырмаларын жасауға және эксперименттің дизайнын жасауға, тәжірибелік зерттеулер жиынтығын жүргізуге, эксперимент нәтижелерін өңдеуге және талдауға қатысу.

Жұмыстың апробациясы.

Диссертацияның материалдары 6 республикалық және халықаралық конференцияларда баяндалды: 19 th International Workshop on Radiation Imaging Detectors iWoRID, Poland, Krakov, July 2–6, 2017; XXXVI Mazurian Lakes Conference on Physics», Piaski, Poland, September 3-9, 2017; Zakopane Conference of Nuclear Physics, "Extremes of the Nuclear Landscape", August 26-September 2, 2018, Zakopane, Poland; DREB2018 - 10th International Conference on Direct Reactions with Exotic Beams 4-8 June 2018, Matsue, Japan; II International Scientific Forum «Nuclear Science and Technologies» Almaty, Kazakhstan, June – 24-27, 2019; Ninth International Conference «Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies» September 24-27, 2019, Tashkent, Uzbekistan.

Жарияланымдар

Диссертациялық материалдар бойынша 19 жұмыс (10 мақала, 8 тезис және бір патент) жарық көрді, оның үшеуі Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда, сонымен бірге Ресей Федерациясының «ішкі пайдасы бар өткізгіштік детекторы» 1 патенті, Web of Science және Scopus индекстелген журналдарда нөлдік емес импакт-факторы бар 7 мақала түрінде жарияланды.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертация кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан және 217 тармақты пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі 127 беттен тұрады, оның ішінде 16 кесте мен 51 сурет.