

АНДАТПА

«6D060500-Ядролық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған «**Кластерлік жүйелердің ядролардағы әрекеттесулері**» атты Дүйсенбай Ақнұр Дүйсенбайқызының диссертациялық жұмысына

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс жеңіл атом ядроларының құрылымын және ядролық үрдістердің динамикасын зерттеуге, сонымен қатар, ${}^8\text{Li}$ және ${}^8\text{B}$ ядролар спектрінің теориялық талдауына, екі және үш кластерлік континуумдардың резонансты күйлер спектріне кулондық әрекеттесулерін зерттеуге арналған.

Тақырыптың өзектілігі.

Теориялық және тәжірибелік зерттеулерге сүйене отырып, ядролық физика қарқынды дамып келе жатқан ғылым салаларының бірі екенін айтуға болады. Бұл салада әлі көптеген дүние тылсым, әрі зерттелмеген болып табылады. Жеңіл ядролардың қатысуымен жүретін ядролық реакциялар ерекше қызығушылық тудырады, бұл реакциялар атом ядроларының синтезіне, құрылуына және Ғалам жаратылысына, жұлдыздың пайда болуы мен осыған байланысты үрдіске жауап береді.

Ғаламда жеңіл атом ядроларының таралуы туралы астрофизикалық деректерді талдау жеңіл атом ядролары және олардың қатысуымен жүретін реакциялар қасиеттерінің жаңа әрі нақты тәжірибелік және теориялық зерттелуіне себепші болады.

Ядролық деректердің астрофизикалық қосымшалары энергиясы төмен аймақтағы ядролық реакциялар қимасының нақты әрі толық анықтамасын талап етеді. Энергияның бұл аймағында сенімді тәжірибелік деректер жоқ, сол себепті ядролық астрофизика теориялық үлгілерді әлі де қажет етеді.

Ядролық реакцияларда тәжірибелік деңгейде зерттелген жеңіл атом ядроларының кейбір энергия деңгейлері кейде қарапайым үлгілер, мысалы, қарапайым қабыршақты үлгі немесе ядролардың топтық үлгілері, аясында түсіндіріле алмауы мүмкін. Сол себепті, көбіне әр түрлі үлгілер үйлесімі қолданылады. Олардың арасында кластерлік үлгілер маңызды орын алады, бұл үлгі бойынша, нуклондар уақытының көп бөлігінде әр түрлі, тіпті тұрақты құрылым болып бірігеді, олар бір-бірімен әрекеттесуші кластерлер деп аталады.

Өзара әрекеттесуші кластерлер үлгісі әлсіз байланысқан жеңіл ядролардың қасиеттерін және мүмкін болатын конфигурацияларды зерттеуге мүмкіндік береді. Динамикалық өзара әрекеттесуші кластерлер тобы ретінде ядро нақты айтқанда, басқа ядролардан өзгешелігі бар өзінің бірегей ішкі кластерлік құрылымына ие.

Кластерлер физикасы гелий атом ядросымен (α -бөлшегімен) тарихи байланысты, бұл таңдауда α -бөлшегінің өзіндік қасиеттері ерекше орын алды.

Нақты ядро (және осыған ұқсас айналық ядро) үшін ұсынылған үлгілерде, көбінесе оның кейбір негізгі сипаттамалары есепке алынады. Кластерлердің құрылуы нуклондар арасындағы корреляциядан және аз нуклонды қосалқы жүйелердің қасиеттерінен өте тәуелді болғандықтан, ядролық өзара әрекеттесулердің ерекшеліктері өте өзгеше және ядролық кластерлік құбылыстарды зерттеу кезінде маңызды болып табылады. Кластерлік үлгілердің эффективтілігі мен беріктілігі көптеген тәжірибелік деректермен дәлелденген: ядролардың кластерлік радиоактивтілігі құбылысы, α -кластерлердің ықшамдылығы және ядролардағы және олардың изотоптарындағы квазимолекулалық күйлердің құрылуы.

Сонымен қатар, кластерлік үлгілерді пайдалану теориялық есептеулерді айтарлықтай жеңілдетеді, яғни бұл екі кластерлік жүйеге қатысты болса, онда ол көп бөлшектің есебін эффективті екі дене есебіне келтіреді. Әрбір кластер басқа объектілермен өзара әрекеттесетін бірнеше нуклоннан тұратын тұрақты топ ретінде қарастырылады. Кластерлік үлгінің алғашқы және нақты тұжырымын Дж.А.Уилер жасаған болатын. Ол «резонансты топ» деген ұғым енгізді және кластерлердің қатыстық қозғалысын сипаттайтын толқындық функцияға арналған динамикалық теңдеулерді қорытып шығарды. Вильдермут пен Танг ядролық құрылымдар түсінігіне елеулі үлес қосты. Олар кластерлер мен құрама ядролардың әрқайсысы үшін кластерлік жуықтауды және Паули принципін ескеретін әдіс ойлап тапты және қарастырды. Шредингердің стационарлық теңдеуін шешу үшін кластерлік үлгіге негізделген бірнеше микроскопиялық әдістер ойлап шығарылды, және Паули принципі жүзеге асу үшін антисимметризация операторы енгізілген. Бұл әдістің басты қиындығы нуклондар антисимметризациясы шарттары негізіндегі есептеулермен байланысты. Паули принципін ескере отырып, есептеуді жеңілдету үшін кластерлік үлгіні дайындау микроскопиялық әдістермен жүзеге асады. Бұл әдістердің бірі, Г.Ф.Филиппов ұсынған, резонансты топтар әдістерінің алгебралық үлгісі болып табылады. Алгебралық үлгінің негізгі идеялары екі есептеуіш бағдарламалар дәстесіне енгізілген, оның көмегімен бұл жұмыстың барлық есептеулері жүргізілген.

Ядроның кластерлік құрылымы тіпті энергиясы төмен жағдайда нейтрондармен және кулондық бөгеттен жоғары энергия жағдайында протондармен бірге реакцияларда байқалатындығын атап өтуге болады. Нейтрондардың ядроларға шашырау реакцияларында қолда бар тәжірибелік қондырғылар көмегімен энергиясы төмен аймақ жеңіл алынады. Алайда, протондардың жеңіл ядроларға шашырауы барысында кулондық тебіліс күштері энергиясы төмен аймақта ядролық өзара әрекеттесудің әсерлерін бәсеңдетеді. Мұндай жағдайларда ядролық шашырау қимасын тәжірибелік деректер негізінде анықтау қиынға соғады. Осыған ұқсас жағдай энергиясы төмен аймақта ядро-ядролық шашырау реакцияларында орын алады. Мұндай жағдайда теориялық

зерттеу әдістері мен есептеулер реакциялар қимасын бағалау және оның сипаттамаларын анықтау үшін маңызды құрылғы болып табылады.

Теориялық талдау ядроның нейтрондар мен протондарды қатты шашырататын статикалық түзілім емес, керісінше түскен бөлшектерге әсер ететін икемді құрылымдық конфигурация екендігін көрсетеді.

Көптеген жеңіл ядролар әлсіз байланысқан, сонымен қатар, олар нуклондармен немесе басқа ядролармен өзара әрекеттесуші ядролар арасындағы кішігірім қашықтықта әрекеттескенде өзінің конфигурациясын (яғни, өлшемі мен пішінін) оңай өзгертеді. Бұл құбылыс ядролар поляризациясы деп аталады. Өзара әрекеттесуші кластерлердің поляризациясын ескеру үшін бұл жұмыста микроскопиялық үш кластерлік үлгі тұжырымдалған. Бұл үлгі кластерлік поляризацияны сипаттауға мүмкіндік береді. Кластерлік поляризация жеті нуклондық жүйелердің байланысқан және резонансты күйлерінің құрылуында маңызды орын алады.

Диссертациялық жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы. Бұл диссертациялық жұмыс ғылыми-зерттеу жұмысының үйлестіру жоспарына сәйкес ҚР ҒЖБМ іргелі зерттеу бағдарламалары бойынша орындалды: “Жеңіл ядролардың қозған күйлерін зерттеу” 2018-2020 жж., ЖТН коды №АР09259876 (ГФ5).

Жұмыстың мақсаты екі және үш кластерлік құрылымы айқындалған, нейтрондар мен протондардың артықшылығы бар жеңіл атом ядроларының негізгі және қозған күйлерінің қасиеттерін теориялық зерттеу, сонымен қатар, өзара әрекеттесуші кластерлердің компаунд ядро құрылымына поляризациясы әсерлері және кулондық потенциалдың екі және үш кластерлік континуумдардағы резонансты күйлердің қалыптасуына әсерлері болып табылады.

Зерттеу мәселелері. Бұл мақсатқа жету үшін келесі мәселелерді шешу қажет болды:

– Резонансты топтар әдісінің алгебралық үлгісі орындалуы үшін екі және үш кластерлік жүйелерге арналған гамильтонианның матрицалық элементтерінің аналитикалық өрнектерін алу. Екі кластерлік жуықтауда ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{Be}$ жеңіл атом ядроларының спектрін есептеу. Координаттық, импульсты және осцилляторлық кеңістіктерде байланысқан және резонансты күйлердің толқындық функцияларын құру. $\alpha+n$, $\alpha+p$, $\alpha+d$, $\alpha+t$, $\alpha+{}^3\text{He}$, $\alpha+\alpha$ серпімді шашыраудың интегралдық қималары мен фазаларын анықтау.

– Бинарлық қосалқы жүйе поляризациясын ескеруге мүмкіндік беретін үш кластерлі микроскопиялық үлгі аясында ${}^8\text{Li}$ және ${}^8\text{B}$ ядроларының дискретті және үздіксіз спектрлерінің күйлерін зерттеу, мұнда олар сәйкесінше, ${}^4\text{He}+{}^3\text{H}+n$ және ${}^4\text{He}+{}^3\text{He}+p$ үш кластерлі конфигурация түрінде берілген. Серпімді және серпімсіз ${}^7\text{Li}+n$ және ${}^7\text{Be}+p$ шашырау фазаларын есептеу.

– Кулондық әрекеттесудің айналық жұп ядролардың байланысқан және

резонансты күйлерінің энергиясы мен ендігіне әсерін зерттеу.

Зерттеу объектілеріне жеңіл ядролар, оның ішінде ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{Li}$, ${}^8\text{B}$, ${}^8\text{Be}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^9\text{B}$ және олардың кластерлік құрылымдары мен олармен байланысты құбылыстары жатады: кластерлік поляризация, кулондық өзара әсерлесу эффектілері.

Зерттеу пәні ядролардағы кластер-кластерлік өзара әрекеттесу, жеңіл атом ядроларының байланыс және резонансты күйлері, кластерлердің серпімді және серпімсіз шашырау қималары мен фазалық ығысулары болып табылады.

Зерттеу әдістері. Жұмыста көпбөлшекті жүйелер мен шашырау теориясына арналған релятивистік емес кванттық механика әдістері қолданылды. Сонымен қатар, жұмыста резонансты топтар әдісі мен қабыршақтың көпбөлшекті үлгісі белсенді қолданылды.

Зерттеу жаңалығы

– Екі кластерлік микроскопиялық үлгі аясында ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{Be}$ жеңіл атом ядроларының құрылымы зерттелді. Бұл ядролар спектрінің нуклон-нуклондық потенциалдың пішіні мен ерекшеліктерінен тәуелдігі зерделенді. Координаттық, импульсты және осцилляторлық кеңістіктерде ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{Be}$ жеңіл ядролардың байланысқан және резонансты күйлерінің толқындық функцияларын құрылды. Байланысқан күйлер және ұзақ өмір сүретін резонансты күйлер толқындық функцияларының жалпы сипаты анықталды.

– ${}^4\text{He}+{}^3\text{H}$ және ${}^4\text{He}+{}^3\text{He}$ бинарлық қосалқы жүйе ретінде қарастырылатын ${}^7\text{Li}$ және ${}^7\text{Be}$ ядроларының, сәйкесінше, ${}^8\text{Li}$ және ${}^8\text{B}$ ядролар құрылымына, сонымен қатар, ${}^7\text{Li}+n$ және ${}^7\text{Be}+p$ серпімді және серпімсіз шашырау параметрлеріне поляризация әсері зерттелді. ${}^8\text{Li}$ және ${}^8\text{B}$ ядроларының есептелген орташа квадраттық протондық және нейтрондық радиустары ${}^8\text{Li}$ ядросында нейтрондық галонның және ${}^8\text{B}$ ядросында протондық галонның бар екендігін дәлелдейді.

– ${}^8\text{Li}$ және ${}^8\text{B}$, ${}^9\text{Be}$ және ${}^9\text{B}$ екі айналық жұп ядролардың байланысқан және резонансты күйлерінің параметрлеріне кулондық әрекеттесудің әсері зерттелді. Кулондық күш әрекетінен энергия-ені жазықтығында резонансты күйлер қозғалысының екі болжамды сценарийі анықталды.

Жұмыстың ғылыми-практикалық маңыздылығы. Теориялық зерттеулер ядролық физика мен ядролық астрофизикада іргелі мағынаға ие, және жеңіл ядролардың құрылымын зерттеуге байланысты аса маңызды болып келеді. Практикалық көзқарас тұрғысында алынған нәтижелер басқа альтернативті әдістердің негізі ретінде қолданыла алады, және нәтижелердің бір бөлігі педагогикалық практикада ядролық физиканың жаңа бағыттарын баяндау үшін пайдаланыла алады, кейбір деректер жаңа тәжірибелердің негізгі күші бола алады. Ерте Ғаламның жеңіл атом ядроларының синтезін анықтайтын ядролық үрдістер қатары, сонымен қатар, олардың жұлдыздарда таралуы қарастырылды.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

1. ${}^5\text{He}$, ${}^5\text{Li}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$ және ${}^8\text{B}$ ядролары үшін әрекеттесулердің потенциал

пішіні ықшамды екі кластерлік күйлерге, яғни байланысқан және ұзақ өмір сүретін (тар) резонансты күйлерге әлсіз әсер етеді, қысқа мерзімді (кең) резонансты күйлерге нәтижелі әсер етеді: спин-орбиталды өзара әрекеттесу резонансты күйлердің толқындық функциясы мен параметрлерін қатты өзгертеді, ал ұзақ өмір сүретін резонансты күйлердің толқындық функциясы ықшамды құрылымды сипаттайтын байланысқан күйлердің толқындық функциясына ұқсайды, мұндағы екі кластер жоғары ықтималдылықпен салыстырмалы кіші арақашықтықта орналасқан.

2. Серпімді және серпімсіз ${}^7\text{Li}+n$ және ${}^7\text{Be}+p$ әрекеттесулері үрдісіндегі ${}^7\text{Li}$ және ${}^7\text{Be}$ ядролары өзінің пішіні мен өлшемдерін кластерлік поляризация әсерінің нәтижесінде өзгертеді, яғни кластерлік поляризация бұл ядролардың байланысқан және резонансты күйлерінің құрылымына елеулі ықпал етеді: ${}^8\text{Li}$ ядросында нейтронды гало, ал ${}^8\text{B}$ ядросында протонды гало бар.

3. ${}^8\text{Li}$ және ${}^8\text{B}$, ${}^9\text{Be}$ және ${}^9\text{B}$ айналық жұп ядроларындағы протондардың кулондық әрекеттесулері резонанс пен байланысқан күйлердің параметрлеріне күшті, орташа және әлсіз әсер етеді, мұнда ${}^8\text{Li}$ және ${}^8\text{B}$ екі, ал ${}^9\text{Be}$ және ${}^9\text{B}$ үш фрагментке (кластерге) ыдырайды.

Автордың жеке үлесі. Автордың жеке өзімен диссертациялық жұмыстың толық көлемі жазылды, аналитикалық есептеулер жүргізілді және сәйкес әдебиеттер тізімі таңдалды. Тапсырмаларды қою, зерттеу әдістерін таңдау және нәтижелерін талқылау ғылыми жетекшілермен бірлесіп жүргізілді.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі импакт-факторы жоғары шетелдік журналдардағы жарияланымдармен және Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғарғы Білім министрлігі Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған жарияланымдармен және алыс және жақын шетелдегі халықаралық ғылыми конференциялардағы жарияланымдармен расталады.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс материалдары негізінде 9 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде Scopus және Tomson Reuters деректер қорына кіретін журналда 1, ҚР ҒЖБМ Білім және ғылым сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 3 мақала, ҚР және шетелдің Халықаралық ғылыми конференциялар жинағында 5 тезис.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспе, 3 бөлім, қорытындыдан тұрады. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 109 бетінде жазылған, оның ішінде 45 сурет пен 19 кесте, 1 қосымша және пайдаланылған әдебиеттер тізімі берілген.