

**Валиолда Динара Салаватқызының «6D060500 – Ядролық физика»
мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD)
дәрежесін алуы үшін ұсынылған «Экзотикалық ядролардың кулондық
күйреуін бейстационар квант-механикалық тәсілмен зерттеу»
тақырыбына жазылған диссертациялық жұмысының
АҢДАТПАСЫ**

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Экзотикалық ядролар физикасына тән қасиет - ядролық реакцияның механизмі мен ядро құрылымының тығыз байланысы. Гало ядроларды зерттеу үшін ең көп қолданылатын реакция кулондық күйреу реакциясы, оны соқтығысу кезіндегі нуклон мен нысана арасындағы кулондық өрістің өзгеруі есебінен нуклонның гало ядродан континуумға ауысуы ретінде қарастыруға болады. Осылайша, кулондық күйреу процесі гало ядроларын зерттеудің **негізгі өзекті құралдарының** бірі болып табылады. Күйреу қимасы гало құрылымы туралы пайдалы ақпарат береді.

Диссертациялық жұмыс шеңберінде гало құрылымының механизмін егжей-тегжейлі зерттеу үшін ^{11}Be ядросының әр түрлі парциалды және спиндік күйлеріндегі төмен жатқан резонанстарын күйреу қимасын есептеуге енгізу жоспарланған. Гало ядролардың кулондық күйреуі бейстационар Шредингер теңдеуін бұрыштық Лагранж және квази-бірқалыпты радиалды торда сандық түрде шешу арқылы зерттеледі. Әзірленген есептеу схемасы ауыр, сонымен қатар жеңіл нысаналарда да гало ядролардың кулондық, сондай-ақ ядролық күйреуін зерттеуде жаңа мүмкіндіктерге жол ашады.

Бұл жұмыстың **өзекті міндеттерінің** бірі күйреу қимасындағы төмен жатқан резонанстардың үлесін зерттеу болып табылады. Алдыңғы есептеулерде ^{11}Be ядросының тек екі байланысқан күйі (негізгі күйі $1/2^+$ және бірінші қозған күйі $1/2^-$) ескерілгендіктен, төмен жатқан резонанстарды есепке алу аралық энергиялардағы $^{11}\text{Be} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{10}\text{Be} + n + ^{208}\text{Pb}$ күйреу реакциясының қимасы бойынша эксперименттік деректердің теориялық сипаттамасын жақсартады және 1.23, 2.78 және 3.3 МэВ энергиялар аймағында көрінетін шыңдардың пайда болуын түсіндіреді, бұл $5/2^+$, $3/2^-$ және $3/2^+$ резонанс шыңдарының орналасуына сәйкес келеді. Сондай-ақ экзотикалық ядролардың құрылымы туралы толығырақ ақпарат алуға мүмкіндік беретін күйреу қимасына ядролық эффектiлердiң әсерiн зерделеуге ерекше назар аудару керек.

Осылайша, осы диссертациялық жұмыстың ұсынылған міндеттері Қазақстанда ғана емес, сонымен қатар әлемде де басым бағыттарға ие. Бұл тақырып бойынша жүргізілетін зерттеулер әлемнің барлық ірі ғылыми орталықтарында қазіргі заманғы ядролық физиканың белсенді дамып келе жатқан бағыттарының бірі болып табылады. Алынған нәтижелер халықаралық деңгейде айтарлықтай бәсекеге қабілетті. Бұл зерттеулер тек академиялық мүдде ғана емес, сонымен қатар үлкен практикалық маңызы бар. Күтілетін нәтижелер экзотикалық ядролармен келешекте жүргізілетін эксперименттерді түсіндіру мен жоспарлау үшін өте маңызды және өзекті

болып табылады, өйткені қазіргі уақытта теориялық модельдердің осы салада жүргізілетін эксперименттер қажеттілігінен айтарлықтай артта қалуы байқалады. Диссертациялық жұмыстың міндеттері шешетін негізгі мәселе төмен энергиялар аймағына қатысты тәсілдемені кеңейту, өйткені бұл аймақ теориялық, сондай-ақ эксперименттік тұрғыдан да іс жүзінде зерттелмеген. Осылайша, нәтижелер қолданыстағы теориялық модельдерді тексеру үшін және төмен энергетикалық радиоактивті шоқтардағы гало ядроның күйреуін зерттеу эксперименттерінде теориялық есептеулерді практикалық қолдану үшін маңызды болады.

Зерттеу жұмыстарының мақсаты пертурбативті емес бейстационар кванттық-механикалық тәсіл аясында орташа энергиялардан (70 МэВ/нуклон) төмен энергияларға (5 МэВ/нуклон) дейінгі аралықтағы ауыр нысанада ^{11}Be гало ядролардың кулондық күйреуіндегі төмен жатқан резонанстарды зерттеу болып табылады.

Мақсатқа жету үшін келесі ғылыми-зерттеу міндеттері анықталды:

– ^{10}Be ядросының әртүрлі үлестік және спиндік күйлерін сипаттау үшін нейтрон мен ^{10}Be ядросы арасындағы потенциалдар параметрлерін таңдау және талдау жасау;

– квазиклассикалық және кванттық-квазиклассикалық стационарлық емес тәсілдер шеңберде төмен жатқан резонанстық күйлердің ($5/2^+$, $3/2^-$ және $3/2^+$) ауыр (^{208}Pb) нысанадағы ^{11}Be ядросының кулондық күйреуіне әсерін зерттеу;

– снаряд пен нысананың ядролық өзара әрекеттесуінің күйреуіне қосқан үлесін зерделеу;

– шоқтың төмен энергияларында снарядтың қозғалысы үшін сызықтық траектория тәсілінің қаншалықты жақсы екенін зерттеу;

– ^{208}Pb нысанасымен соқтығысу кезінде ^{11}Be қозуын зерттеу.

Зерттеу объектілері гало ядро, ^{11}Be , төмен жатқан резонанстар және күйреу қимасы болып табылады.

Зерттеу пәні кванттық механика, жұмыс бейстационар Шредингер теңдеуінің сандық шешіміне, кванттық-механикалық тәсіл арқылы күйреу қималарын дәл есептеуге арналған.

Зерттеу әдістері: стационарлық және бейстационар Шредингер теңдеулерін шешудің сандық әдістері: кері итерация әдісі, компоненттік жіктеу тәсілі, дискретті айнымалылар әдісі, квази-бірқалыпты радиалды тордағы ақырлы-айырымдық әдіс.

Қорғауға шығарылатын негізгі мәлімдемелер:

1. ^{11}Be ядросының төмен жатқан резонанстық күйлерін ескеру арқылы $^{11}\text{Be} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{10}\text{Be} + n + ^{208}\text{Pb}$ кулондық реакциясының күйреу қималарының энергиясы 69 МэВ/нуклон эксперименталды деректерін 1-2% дәлдікпен сипаттайды және 1.23, 2.78, 3.3 МэВ энергияларындағы айқын шындардың пайда болу себебін түсіндіреді, ол сәйкесінше $5/2^+$, $3/2^-$ және $3/2^+$ резонанстарының позициясына сай келеді.

2. ^{11}Be гало ядросының ауыр (^{208}Pb) нысанасынан күйреу қималары соқтығысудың төменгі энергияларында (30-5 МэВ/нуклон) айқын шыңның $5/2^+$ ($E_r=1.23$ МэВ) резонанс салдарынан пайда болатынын көрсетеді.

3. $^{11}\text{Be}+^{208}\text{Pb}\rightarrow^{10}\text{Be}+n+^{208}\text{Pb}$ күйреу реакциясын талдау кезінде сызықтық және қисық сызықты (нақты) снаряд траекторияларының арасындағы айырмашылықтар 30–20 МэВ/нуклонның энергетикалық диапазонында шамамен бірнеше пайызды құрайды, 10 МэВ/нуклон үшін сәйкессіздік 10% және 5 МэВ/нуклон энергиясы кезінде 20%-дан астам мәнге жетеді, бұл ядролық әрекеттесу әсерінен асып түседі.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы мен өзіндік ерекшелігі мынада, алғаш рет:

1. ^{11}Be ядросының төмен жатқан резонанстық күйлері ($5/2^+$, $3/2^-$ и $3/2^+$) $^{11}\text{Be}+^{208}\text{Pb}\rightarrow^{10}\text{Be}+n+^{208}\text{Pb}$ күйреу реакциясын Шредингер бейстационар теңдеуін сандық интегралдау арқылы талдауға енгізілді.

2. Шредингердің бейстационар теңдеуін пертурбативті емес алгоритмін қолдана шешу арқылы ^{11}Be гало ядросының ауыр (^{208}Pb) нысанасынан күйреу қималары соқтығысу энергиясының кең аумағында (70-5 МэВ/нуклон) есептелді.

3. Кулондық және ядролық эффектілерді ескере отырып, төменгі энергиялар ауқымында ^{208}Pb нысанасымен соқтығысу кезінде ^{11}Be $1/2^-$ күйінің серпімсіз қозу қималары есептелді. Сонымен қоса соқтығысу энергияларын төмендеткенде қисықсызықтық траекториясының снаряд қозғалысына әсері зерттелді.

Зерттеу нәтижелерінің ғылыми және тәжірибелік маңыздылығы.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы: экзотикалық ядролар қазіргі аз нуклонды ядролық физиканың ең қарқынды зерттелетін объектілердің бірі болып табылады. Бейстационар кванттық-механикалық тәсіл шеңберінде гало ядроларды теориялық зерделеу радиоактивті шоқтардағы жеңіл ядроларды зерделеу бойынша жүргізілетін эксперименттерді жоспарлауға байланысты өзекті болып табылады.

Диссертацияда әзірленген есептеу схемасы ауыр, сонымен қатар жеңіл нысаналарда да экзотикалық ядролардың кулондық, сондай-ақ ядролық күйреуін зерделеуде жаңа мүмкіндіктерге жол ашады. Бұл теориялық модель ядролардың гало-құрылымын зерделеу бойынша төмен энергиялы эксперименттерді түсіндіру және жоспарлау үшін пайдалы болуы мүмкін. Анағұрлым төмен энергияларда алынған нәтижелер осы саладағы NIE-ISOLD (CERN) және ReA12 (MSU) зерттеу бағдарламасына байланысты маңызды.

Зерттеу нәтижелерінің негізділігі мен сенімділігі.

Жұмыс нәтижелері жоғары деңгейдегі халықаралық ғылыми конференцияларда сәтті ұсынылды және А Еуропалық физикалық журналы, Бөлшектер мен ядролар физикасы, Acta Physica Polonica B, Еуразиялық физика және функционалдық материалдар журналы сияқты жоғары рейтингтік журналдардағы басылымдардың негізін қалады. Қол жеткізілген

ғылыми нәтижелер осы саладағы басқа шетелдік авторлардың қолданыстағы еңбектерімен жақсы сәйкес келеді.

Автордың жеке үлесі. Диссертациялық зерттеу жұмыстары аясында автор міндеттер қоюға, есептеу программасын жазуға, алынған деректерді өңдеуге және талдауға, нәтижелерді түсіндіруге, ғылыми топтың толық мүшесі ретінде мақалаларды жариялауға дайындауға тікелей қатысты. Ізденушінің диссертациялық жұмыс нәтижелеріне қосқан үлесі зор.

Диссертациялық жұмыстың қорытындыларын жариялау. Диссертациялық жұмыстың материалдары келесі республикалық және халықаралық конференцияларда баяндалды:

1 «IV Халықаралық ғылыми форум – Ядролық ғылым және технологиялар». ҚР ЭМ ЯФИ РМК (Алматы, Қазақстан, 2022).

2 LXXI Халықаралық конференциясы «NUCLEUS – 2022. Ядролық физика және элементар бөлшектер физикасы. Ядро-физикалық технологиялар», Мәскеу мемлекеттік университеті, (Мәскеу, Ресей, 2022).

3 Элементар бөлшектер және ядролық физика бойынша халықаралық семинар, ҚР ЭМ ЯФИ РМК (Алматы, Қазақстан, 2022).

4 I Халықаралық мектеп-конференциясы «Атом. Ғылым. Технология» ҚР ЭМ ЯФИ РМК (Алматы, Қазақстан, 2021).

5 XXV Халықаралық жас ғалымдар мен мамандардың ғылыми конференциясы (AYSS-2021), Біріккен ядролық зерттеулер институты (БЯЗИ), (Алматы, Қазақстан, 2021) және т.б. Зерттеу нәтижелері 2020 жылғы шілде айында Біріккен ядролық зерттеулер институтының Н.Н. Боголюбов атындағы Теориялық физика зертханасының семинарында баяндалды.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 6 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде 4-уі SCOPUS ғылыми-метриялық базаларымен индекстелетін деректер базасына енгізілген журналдарда, 2-уі ҚР БҒМ БҒСҚК ұсынған тізімге кіретін журналдарда жарияланды.

SCOPUS және Web of Science ғылыми-метриялық дерекқорларымен индекстелген журналдардағы мақалалар:

1 Valiolda D., Melezhik V.S., Janseitov D. Investigation of low-lying resonances in breakup of halo nuclei within the time-dependent approach // The European Physical Journal A. – 2022. – Vol. 58. –P 341-3413.

2 Valiolda D., Melezhik V.S., Janseitov D. Study of bound and resonance states of ^{11}Be in breakup reaction // Eurasian Journal of physics and functional materials. –2022. –Vol. 6, № 3. –P. 165-173.

3 Valiolda D., Melezhik V.S., Janseitov D. Study of nuclear contribution to breakup cross section of ^{11}Be halo nuclei within time-dependent approach // Physics of Particles and Nuclei Letters. –2022. –Vol. 19, №5. –P. 477-480.

4 Valiolda D., Melezhik V.S., Janseitov D. Contribution of Low-lying Resonances in the Coulomb Breakup of ^{11}Be Halo Nuclei// Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement. –2021. –Vol. 14, № 4. –P. 687-692.

Қазақстан Республикасының ғылыми журналдарындағы мақалалар:

1 Исследование нейтронного гало ядра ^{11}Be с учетом влияния внешнего поля// Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. –2018. –Том 318, №2. –Б. 12-20.

2 ^{11}Be нейтрондық гало ядросын зерттеу// Хабаршы. Физика сериясы – 2018. –Том 64, №1. –Б. 81-88.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан, әдебиеттер тізімінен және 3 қосымшадан тұрады. Диссертация көлемі 90 бетті құрайды, 34 сурет және 11 кесте, пайдаланылған дереккөздер саны - 62 .

Кіріспеде диссертация тақырыбының өзектілігі талқыланады, алынған нәтижелердің мақсаттары мен жаңалығы, олардың тәжірибелік және теориялық маңыздылығы ұсынылған.

Бірінші бөлім экзотикалық ядроларды анықтауға және ^{11}Be ядросын гало-құрылым ретінде сипаттауға арналған. Гало-құрылымының негізгі ерекшеліктері қарастырылған, олар ядролық тығыздық, үлкен радиустар және төмен байланыс энергиялары және басқалар. **Екінші бөлімде** күйреу реакцияларында пертурбативті емес бейстационар тәсіл тұжырымдалады. Бұл моделде гало-нуклон үшін бейстационар Шредингер теңдеуі пертурбативті емес алгоритмді қолдану арқылы үш өлшемді кеңістіктік торда біріктіріледі. **Үшінші бөлім** алынған нәтижелерді талқылауға арналған: күйреу реакцияларын есептеу. **Қорытындыда** диссертацияда алынған негізгі нәтижелер тұжырымдалып, қорытынды ескертулер орындалды.

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері: шоғырдың төмен энергияларында (5-30 МэВ/нуклон) төмен жатқан резонанстардың ($5/2^+$, $3/2^-$ және $3/2^+$) және ^{208}Pb нысанада ^{11}Be күйреуіне нысана мен снарядтың ядролық өзара әрекеттесуінің айтарлықтай үлесі анықталды. Снарядтың сызықтық траекториялары бар жартылай классикалық тәсілдің қанағаттанарлық дәлдігі 30-20 МэВ/нуклонға дейінгі ^{11}Be күйреу қималары үшін де көрсетілді. Бұл тәсіл аса төмен энергияларда да пайдалы екендігі көрсетілген, алайда кванттық-квазиклассикалық тәсіл неғұрлым сәйкес сипаттама береді. Есептеу схемасының жинақтылығы мен зерттеу дәлдігі қарастырылып отырған энергия ауқымында (5-69 МэВ/нуклон), соның ішінде әртүрлі ^{11}Be парциалдық және спиндік күйлердегі төмен жатқан резонанстарда көрсетілген.