

«6D060500 – Ядролық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертацияға

АНДАТПА

УСАБАЕВА ГУЛНАЗ АЮПЖАНОВНА

Сутегі мен гелийдің тұрақты изотоптарының ^{27}Al және ^{59}Co ядроларымен өзара әрекеттесуіндегі жеңіл зарядталған бөлшектердің эмиссиясын зерттеу

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Бұл диссертациялық жұмыс ^{27}Al және ^{59}Co ядроларын атқылайтын протондардың энергиясы 7 МэВ және 22 МэВ болатын (p,xp) және (p,x α) реакцияларының, сонымен қатар α -бөлшектердің энергиясы $E_\alpha=29$ МэВ болатын (α ,xp) и (α ,x α) реакцияларының қос-дифференциалдық және интегралдық қималарын тәжірибелік зерттеуге және теориялық талдауға арналады.

Тақырыптың өзектілігі. Қазіргі уақытта орташа энергиялы зарядталған бөлшектердің қос-дифференциалдық реакция қималары туралы жаңа дәлдіктегі тәжірибелік деректер өте маңызды, себебі жаңа ядро-физикалық тәжірибелердің рөлі ядролық деректер қорын құруда және заманауи тәсілдерге сәйкес теориялық үлгілерді әзірлеудегі сияқты іргелі және қолданбалы зерттеулерде басты орын алады. Мысалы, әртүрлі радиоизотоптарды алу үшін, соңғы изотоптардың пайда болуы туралы көбірек тәжірибелік мәліметтер қажет. Сондай-ақ жартылай ыдырау периоды ұзақ радиоактивті қалдықтардың жинақталу мәселесін, жоғары энергиялы протонды үдеткіштен және субкритикалық ядролық реактордан тұратын ҮБЖ (Accelerator Driven System) гибридті ядролық-энергетикалық қондырғыларды әзірлеу арқылы шешуге болады. Негізгі идея-ауыр элемент нысандарында нейтрондарды өндіру үшін жоғары энергиялы бөлшектердің үдеткіштерін пайдалану болып табылады. Бұл жүйе, энергияны өндіруге, радиоуытты изотоптарды немесе термоядролық көздер үшін тритийді түрлендіруге қолданылатын жеткілікті жоғары нейтрондық ағындарды алуға мүмкіндік береді. Мұндай қондырғылар АЭЖХА -нің барлық қауіпсіздік талаптарына жауап береді. Үдеткішті өшіру нейтрондардың нысанадан субкритикалық реакторға шығуын тоқтатумен іске асады, бұл тізбекті ядролық реакцияның тез әлсіреуіне әкеледі. Мұндай жүйенің жұмыс істеуінің физикалық сценарийі нуклидтердің өзара әрекеттесуінің негізгі параметрлері – өзара әрекеттесу қималары, энергетикалық спектрлері және нейтрондардың шығарылуын бастайтын реакцияларының рөлін атқара алатын екінші ретті бөлшектердің ($^{1,2,3}\text{H}$, $^{3,4}\text{He}$ және т.б.) бұрыштық таралулары бойынша тәжірибелік деректердің болуын талап етеді.

Ядролардың тепе-теңдік алдылық ыдырауын тәжірибелік зерттеуге барлық ашық арналар бойынша үздіксіз бұрыштық үлестірімдерді бір уақытта өлшеуге мүмкіндік беретін әдістерді қолдану маңызды болып табылады. Қозған күйдің пайда болуы мен эволюциялық динамикасының

көрсеткіші ретінде ядролық аралық ыдырау ұғымын дамыту ядролық реакциялар теориясының маңызды мәселелерінің бірі болып табылады. Практикалық тұрғыдан жеңіл зарядталған ($^{1,2,3}\text{H}$, $^{3,4}\text{He}$ және т.б.) бөлшектердің затпен әрекеттесуін зерттеу, олардың дифференциалдық қималарын білу тек ядролық және термоядролық ғылымда ғана емес, сонымен қатар дозиметрия, сәулелік терапия, медициналық радионуклеотиктер алу сияқты салаларда өте маңызды рөл атқарады. Тиісінше, негізгі міндет феноменологиялық тәсілдер негізінде есептеу кодтарын жетілдіру және тестілеу болып қала береді.

Жұмыстың мақсаты. Сутегі мен гелий нуклидтерінің ^{27}Al және ^{59}Co ядроларымен әсерлесуіндегі реакцияларының қос-дифференциалдық және интегралдық қималары бойынша жаңа тәжірибелік деректер алу және оларды ядролық ыдыраудың экситондық модель негізінде теориялық талдау жүргізу.

Қойылған мақсатқа сәйкес, осы жұмыста келесі міндеттерді шешу жолдары қарастырылды:

- Ядролық реакциялар өнімдерін тіркеу мен сәйкестендіруге арналған тәжірибелік автоматтандырылған жүйені қамтамасыз ету, сондай-ақ тәжірибелік деректерді өлшеу мен талдау бағдарламаларын оңтайландыру;

- ^{27}Al және ^{59}Co ядроларын атқылайтын протондардың энергиясы 7 МэВ және 22 МэВ болатын (p,xp) және (p,x α) реакцияларының, сонымен қатар α -бөлшектердің энергиясы 29 МэВ болатын (α ,xp) и (α ,x α) реакцияларының қос-дифференциалдық және интегралдық қималарын тәжірибелік анықтау;

- TALYS бағдарламасын тепе-теңдік алдылық күйге негізделген экситондық модель арқылы ядролық реакцияларының қималарын есептеу үшін оңтайландыру және интегралдық спектрлерін қалыптастырудағы әртүрлі ядролық реакция механизмдерінің үлестерін анықтау.

Зерттеу нысаны. ^{27}Al және ^{59}Co ядролары.

Зерттеу пәні. ^{27}Al және ^{59}Co ядроларын атқылайтын протондардың энергиясы $E_p=7$ және 22 МэВ кезіндегі (p,xp) және (p,x α) реакцияларының, сонымен қатар α -бөлшектердің энергиясы $E_\alpha=29$ МэВ кезіндегі (α ,xp) и (α ,x α) реакцияларының қос-дифференциалдық және интегралдық қималары.

Зерттеу әдістемесі. ҚР ядролық физика институтының У-150М циклотронында шығарылған шоқтарында көпөлшемді бағдарламаланатын талдаудың автоматтандырылған жүйесі арқылы екінші реттік бөлшектерді тіркеу және сәйкестендіру. Қазіргі теориялық тәсілдерге негізделген есептеу кодтарын қолдану арқылы тәжірибе нәтижелерін теориялық талдау.

Ғылыми жаңалығы.

1. ^{27}Al және ^{59}Co ядроларын атқылайтын протондар энергиясы $E_p=7$ және 22 МэВ болатын (p,xp) және (p,x α) реакцияларының, сонымен қатар α -бөлшектердің энергиясы $E_\alpha=29$ МэВ болатын (α ,xp) и (α ,x α) реакцияларының ($30\div 135^0$ з.ж.) бұрыштық диапазонында алғаш рет энергетикалық спектрі кең энергия ауқымында алынды.

2. ^{27}Al және ^{59}Co ядроларындағы (р,хр) және (р,х α) реакцияларының қос-дифференциалдық және интегралдық қималарының тәжірибелік деректері теориялық тұрғыдан алғаш рет кең энергия ауқымында талданды.

3. $E_\alpha = 29$ МэВ энергиясында ^{27}Al және ^{59}Co ядроларымен (α ,х α) және (α ,хр) реакцияларының қос-дифференциалдық және интегралдық қималарының алғаш рет тәжірибелік деректері талданды.

Қорғауға ұсынылған ережелер.

1. ^{27}Al және ^{59}Co ядроларымен өзара әсерлесуіндегі протондардың энергиясы 7 және 22 МэВ болатын (р,хр) және (р,х α) реакцияларының, сондай-ақ α -бөлшектердің энергиясы 29 МэВ болатын (α ,хр) және (α ,х α) реакцияларының нәтижесіндегі жаңа қос-дифференциалдық және интегралдық қималар бойынша мәліметтер, кең ауқымды қолданбалы мақсаттар үшін ядролық деректер қорын толықтыруға бағытталған.

2. Протондардың ^{27}Al және ^{59}Co ядроларымен өзара әсерлесуіндегі (р,хр), (р,х α) реакцияларының қос-дифференциалдық және интегралдық қималарын теориялық талдау негізінде, энергия артқан сайын тепе-теңдік алдылық механизмдердің рөлі артып, 30 МэВ энергияда жоғары мәнге ие болатыны анықталды.

3. $E_\alpha = 29$ МэВ болатын ^{27}Al және ^{59}Co ядроларымен (α ,х α) және (α ,хр) реакциялары бойынша қос-дифференциалдық және интегралдық қималарын теориялық талдау негізінде, екінші ретті бөлшектердің түзілуі тепе-теңдік механизмі арқылы жүзеге асатыны анықталды, себебі α -бөлшектердің массасы мен зарядының жоғары болуы күрделі тепе-теңдік алдылық механизмдер мен ядроішілік каскадтардың пайда болу мүмкіндігін шектейді.

Автордың жеке үлесі. Зерттеу ^{27}Al және ^{59}Co ядроларын атқылайтын бөлшектің энергиясы протондар үшін $E_p=7$ және 22 МэВ-ке тең болатын (р,хр) және (р,х α) реакцияларының, сонымен қатар α -бөлшектер үшін $E_\alpha=29$ МэВ-ке тең болатын (α ,хр) и (α ,х α) реакцияларының қималарын өлшеуге байланысты тәжірибені жоспарлауға, дайындауға және жүргізуге тікелей қатысты. Автор тәжірибенің нәтижелерін өңдеуге және оларды теориялық талдауға шешуші үлес қосты.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі ең алдымен Қазақстан Республикасының Ядролық физика институтының У-150М циклотронында алынған шоқтарда көпөлшемді бағдарламаланатын талдаудың автоматтандырылған жүйесін пайдалана отырып, екінші ретті бөлшектерді тіркеу және анықтаудың заманауи тәжірибесімен расталады. Сондай-ақ Scopus және Web of Science мәліметтер қорына кіретін журналдарда және Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда жарық көрген жарияланымдар, алыс және жақын шетелдердегі халықаралық ғылыми конференциялардағы материалдар ескерілді.

Диссертациялық жұмысты апробациялау. Диссертацияда алынған нәтижелер баяндалып, талқыланды:

- «NUCLEUS 2018» LXVIII халықаралық конференциясы. Ядролық физиканың, ядролық энергияның және ядролық технологиялардың іргелі мәселелері (2018 ж., Ресей, Воронеж).

- «ЯДРОЛЫҚ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ» II халықаралық форумы (2019 ж., Қазақстан, Алматы (ЯФИ)).

- «NUCLEUS-2020» LXX халықаралық конференциясы (2020 ж., Ресей, Санкт-Петербург).

- «ЯДРОЛЫҚ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯ» III халықаралық форумы (2021 ж., Қазақстан, Алматы (ЯФИ)).

- «Ядролық энергетика және ядролық технологиялардың заманауи мәселелері» халықаралық конференциясы (2021 ж., Өзбекстан, Ташкент).

Тақырыптың ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы.

Диссертациялық жұмыс ғылым комитетінің AP08955998 гранттық жобасы «Болашағы зор электроядролық қондырғылардың конструкциялық материалдары ядроларымен сутегі нуклидтерінің әрекеттесу қималарын зерттеу», сондай-ақ ҚР Энергетика министрлігінің BR09158499 мақсатты қаржыландыру бағдарламасы «Қазақстандық үдеткіш кешендер негізінде ядролық және радиациялық физика саласындағы кешенді ғылыми зерттеулерді дамыту» аясында орындалған.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс материалдары бойынша 12 баспа жұмысы жарияланды: 1-еуі Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда және 5-еуі Scopus және Web of Science мәліметтер базаларына кіретін халықаралық журналдарда; 6 жұмыс Халықаралық ғылыми конференциялар жинақтарында жарық көрген.

Scopus / Web of Science мәліметтер базаларына кіретін халықаралық ғылыми журналдардағы жарияланымдар.

1. Gusseinova D., **Ussabayeva G.**, Zholdybayev T.K., Boztosun I., Kucuk Y., Koning A.J., Kerimkulov Zh., Sadykov B., Temirzhanov A., Canbula B. New measurements of (p,xp) and (p,x α) reactions on ^{27}Al at 7.0, 22.0 and 30.0 MeV // The European Physical Journal A. – 2025. – Vol. 61. – Article ID: 133. <https://doi.org/10.1140/epja/s10050-025-01603-8>

2. Zholdybayev T.K., Duisebayev B.A., Sadykov B.M., Nassurlla M., **Ussabayeva G.**, Ismailov K.M. Emission of light charged particles from reaction of ^3He ions of energy 50.0 MeV with ^{59}Co nucleus // Acta Physica Polonica B. – 2018. – Vol. 49, No. 3. – P. 693-698. <https://doi.org/10.5506/APhysPolB.49.693>

3. Zholdybayev T.K., Sadykov B.M., Nassurlla M., **Ussabayeva G.**, Duisebayev B.A., Ismailov K.M., Dyachkov V.V., Saduyev N.O. Inclusive spectra of protons and α particles from the interaction between α particles with an energy of 29 MeV and ^{27}Al and ^{59}Co nuclei // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2019. – Vol. 83, No. 9. – P. 1183-1186. <https://doi.org/10.3103/S1062873819090326>

4. **Ussabayeva G.A.**, Zholdybayev T.K., Sadykov B.M., Duisebayev B.A., Nassurlla M., Kerimkulov J.K., Ismailov K.M., Temirzhanov A.A. Proton and α -

particles emission from the interaction of 22 MeV energy protons with ^{59}Co nucleus // Acta Physica Polonica B. Proceedings Supplement. – 2023. – Vol. 16, Issue 2. – A13. <https://doi.org/10.5506/APhysPolBSupp.16.2-A13>

5. Zholdybayev T.K., **Ussabayeva G.A.**, Temirzhanov A.A., Mukan Zh.T., Sadykov B.M., Duisebayev B.A. Proton emission from the interaction of 7 MeV energy protons with ^{59}Co nucleus // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – Vol. 2642, Issue 1. – 012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2642/1/012001>

ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған басылымдағы жарияланымдар.

1. **Усабаева Г.**, Жолдыбаев Т.К., Садыков Б.М., Дуйсебаев Б.А., Насурлла М. Инклюзивные спектры протонов из взаимодействия альфа-частиц с энергией 29 МэВ с ядрами ^{27}Al и ^{59}Co // Recent Contributions to Physics. – 2018. – Т. 65, № 2. – С. 33-41.

Халықаралық ғылыми конференциялық тезистер жинақтарындағы жарияланымдар.

1. Duisebayev B.A., Zholdybayev T.K., Sadykov B.M., **Ussabayeva G.**, Nassurlla M., Ismailov K.M., Dyachkov V.V. The inclusive cross sections for the formation of p, d, α from the interaction of α -particles of 29 MeV energy with nuclei ^{27}Al and ^{59}Co // LXVIII International conference «NUCLEUS 2018». Fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies. Russia, Voronezh, July 2-6, 2018. – P. 117.

2. Duisebayev B.A., Zholdybayev T.K., Sadykov B.M., Nassurlla M., Ismailov K.M., **Ussabayeva G.**, Boztosun I. Measurement of the (p,xp) reaction cross-section for proton energies of 7 MeV on the middle nuclei // LXVIII international conference «NUCLEUS 2018». Fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies. Russia, Voronezh, July 2-6, 2018. – P. 112.

3. **Усабаева Г.**, Жолдыбаев Т.К., Садыков Б.М. Исследование вторичной эмиссии легких заряженных частиц при взаимодействии ионов ^3He с ядрами ^{27}Al , ^{59}Co , ^{112}Sn при энергии 50 МэВ // II Международный Форум «ЯДЕРНАЯ НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ». Казахстан, Алматы, 24-27 июня, 2019. – С. 38.

4. Alimov D., **Ussabayeva G.**, Kerimkulov J.K., Nassurlla M., Pan A., Sadykov B.M., Zholdybayev T.K. Investigation of inclusive spectra of light charged particles emitted from (p,x) reaction with ^{27}Al nucleus // LXX International conference «NUCLEUS 2020». NUCLEAR PHYSICS AND ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS. NUCLEAR PHYSICS TECHNOLOGIES. Russia, Saint-Peterburg, October 12-17, 2020. – P. 234.

5. **Ussabayeva G.**, Zholdybayev T.K., Sadykov B.M. Investigation of continues energy spectra of light charged particles from interaction of ^3He ions with ^{27}Al wide energy range // III Международный Форум «ЯДЕРНАЯ НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ». Казахстан, Алматы, 20-24 сентября, 2021. – С. 25.

6. **Ussabayeva G.**, Sadykov B.M., Zholdybayeva S, Zholdybayev T.K. Light charged particles production from interaction of ^3He ions with ^{27}Al wide energy range // Modern problems of nuclear energetics and nuclear technologies. Tashkent, Uzbekistan, November 23-25, 2021. – P. 44.