«8D05308 – Ядролық физика» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

САБИДОЛДА АВГАНБЕК

КУЛОНДЫҚ ТОСҚАУЫЛҒА ЖАҚЫН ЭНЕРГИЯДАҒЫ АУЫР ИОНДАРМЕН ТУЫНДАҒАН ^{12}C ЯДРОЛАРЫНДАҒЫ ПРОТОНДАРДЫҢ ШЕТКЕРІ ЯДРОЛЫҚ БЕРУ РЕАКЦИЯЛАРЫ ЖӘНЕ РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАРПЫЛУЫ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Бұл жұмыстың мақсаты $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакциясындағы протонды тікелей радиациялық қарпу үлесін $^{12}C+p\rightarrow{}^{13}N$ конфигурация үшін СФ мәнінің қолдану арқылы анықтау. Ол үшін протонның берілуі $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ реакциясының дифференциалдық қималары (ДҚ) Варшава университетінің ауыр иондық зертханасының U-200P циклотронында 41,3 МэВ энергияда өлшеніп алынды және FRESCO коды арқылы борндық жуықтаудағы ұйытқыған толқындар (БЖҰТ) және реакцияның байланысқан арналар әдістері (РБА) шеңберінде талданды. $^{12}C+p\rightarrow{}^{13}N_{g.s}$ конфигурациясы үшін спектроскопиялық амплитуда (СА) мәні 0,65-ке тең деп алынды, ол астрофизикалық S(E) факторды бағалауға және астрофизикалық мәні бар энергиялардағы ^{12}C ядросының протонды радиациялық қарпу реакциясының жылдамдығын есептеуге қолданылды. Сондай-ақ бізге қолжетімді төмен энергиялар диапазонында S(E) фактор экстраполяциялау дәлдігін арттыру мақсатында қосымша радиациялық қарпу реакцияларының қималарын өлшеу ҚР ЭМ ядролық физика институтының УКП-2-1 сызықтық үдеткішінде жүргізіліп, протонның радиациялық қарпу қимасы алынды.

Жұмыстың өзектілігі

Бұл жұмыс ғаламдағы нуклеосинтезбен байланысатын ^{12}C ядроларындағы протон және ^{10}B иондарымен туындаған ядролық реакцияларды жан-жақты, кешенді зерттеуге арналған, өйткені нуклеосинтез және жұлдыздар эволюциясы процесінде $^{12}C+p\rightarrow{}^{13}N$ реакциясының түзілуі негізгі фактор болып табылады. Сондай ақ ^{13}N элементінің жұлдыздарда сандық құрамын білу өте маңызды, себебі бұл ядро жұлдызды нуклеосинтезде суық және ыстық CNO циклі сутегі жануының туындау бастамасы болып табылады және $^{12}C+p\rightarrow{}^{13}N^{*}(\beta^{+}\nu)\rightarrow{}^{13}C+p\rightarrow$ ("суық" циклі) немесе аса жоғары температураларда, $^{12}C+p\rightarrow{}^{13}N+p\rightarrow{}^{14}O+p\rightarrow$ ("ыстық" циклі) реакциялары арқылы жүреді. Сутегінің толық жануымен жұлдыздардың дамуының кейінгі кезеңдерінде оттегін қалыптастыру үшін ^{12}C ядроларымен альфа бөлшектерін қарқынды радиациялық қарпу басталады. Өз кезегінде, $^{13}C(\alpha,n)^{16}O$ реакциясы AGB тармағының жұлдыздарындағы s және r процестері үшін нейтрондардың негізгі көзі болып табылады. Сонымен қатар $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакциясы CNO-циклінде сутегі жанудың керекті компоненті болудан басқа массивтік

жұлдыздарда энергияны өндіру үшін және төмен энергиялы күн нейтриноларының көзі ретінде қарастырылады (GALLEX эксперимент). Сондықтан астрофизикалық S(E) факторларының энергетикалық тәуелділігін білу (^{12}C(p,γ)^{13}N реакциясындағы өте төмен ($0 \leq E \leq 50$ кэВ) және төмен энергиялардағы (E≤2.0 МэВ) S(E)) ядролық астрофизика мен космологияда үлкен қызығушылық тудырады, ол үшін радиациялық қарпудың дифференциалды және толық қималары, серпімді шашырау және оларды талдаудан алынған ядролық потенциалдардың параметрлері қажет.

Осы тақырыптағы бұрынғы зерттеулер 1950 жылдардан бастап бірқатар жұмыстарда бастау алды. Қазіргі уақытта 327≤E≤980 кэВ аралықта өлшенген ^{12}C(p,γ)^{13}N реакциясы үшін өзара сәйкесетін S(E) фактор бойынша 2 жиынтық бар, яғни ^{13}N (E*=2.365 МэВ;1/2$^-$) ядроның бірінші резонанстық күйі аймағы бойынша эксперименттік деректер Rolfs C. (1974 ж.) және Буртебаев Н. (2008 ж.) екі жиынтықтары. Осы аталған жұмыстардың нәтижелерін (абсолютті қателік шегі 10%) Tribble R.E. (2014) эксперименттік жұмыспен салыстырғанда (мұнда қателік шегі 15% құрайды) сенімді болып келеді. Ал Angulo C. (1999 г.) жұмысындағы E>980 кэВ кезіндегі S(E) фактор туралы қолда бар эксперименттік деректер, яғни ^{13}N ядросының E*=3.502 МэВ; 3/2$^-$ екінші резонанстық күйінен жоғары аймақтар үлкен қателіктерден тұрады (≥40%). Сондай-ақ Dufour M. және Descouvemont P. (1997) жұмысында жүргізілген зерттеу NN потенциалдарының әртүрлі түрлерін қолдана отырып, микроскопиялық деңгейде ^{12}C(p,γ)^{13}N реакциясының S(E) факторын талдауды қамтыды. Олар бұл потенциалдардың формасы нәтижелерге айтарлықтай әсер ететінің анықтады. Бұл сезімталдықтың себептерінің бірі Timofeyuk N.K. (2013) жұмысында көрсетілгендей ^{12}C+p→^{13}N реакцияның спектроскопиялық фактор (СФ) есептеулері NN потенциалының формасына да әсер етуінде. Жоғарыда айтылғандарға байланысты оның дәлдігін дұрыс бағалай отырып, ^{12}C+p→^{13}N үшін СФ мәні туралы жаңа ақпарат алу маңызды.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты

^{10}B(^{12}C,^{9}Be)^{13}N протонды беру реакция қимасын талдаудан алынған ^{12}C+p→^{13}N конфигурациясына арналған спектроскопиялық фактордың (СФ) мәндерін пайдалана отырып, жұлдыздық температуралар аймағында ($0{,}1 \leq T_9(К) \leq 10$) CNO цикліндегі сутегінің жану ^{12}C(p,γ)^{13}N реакция жылдамдығының сенімді мәндерін анықтау болып табылады, сондай-ақ астрофизикалық S(E) факторларының дәлдігін арттыру мақсатында радиациялық қарпу реакция қималарына қосымша жаңа өлшеулер жүргізу.

Зерттеудің міндеттері

Аталған мақсаттарды жүзеге асыру жолында диссертациялық жұмыста келесідей міндеттер орындалды:

− $E_{лаб.}$=1100–1400 кэВ энергия интервалында ^{12}C(p,γ)^{13}N реакциясының радиациялық қарпу қималарының (астрофизикалық S(E) фактор) жаңа өлшемдерін орындау;

− 41,3 МэВ энергияда $^{12}C(^{10}B,^{10}B)^{12}C$ серпімді шашырау және $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ протонды беру реакциясының жаңа дифференциалдық қималарын өлшеуді орындау;

− 41,3 МэВ энергиядағы $^{12}C(^{10}B,^{10}B)^{12}C$ серпімді шашыраудың оптикалық потенциалдар параметрлерін алу және энергияның кең диапазонында энергетикалық тәуелділікті анықтау.

− Fresco коды көмегімен БЖҰТ және РБА шеңберінде $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ реакциясының протонды тасымалдау бұрыштық үлестірімдеріне теориялық талдау жүргізу және $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$ конфигурациясы үшін спектроскопиялық фактор (СФ) мәнін табу;

− Жұлдыздық температурада $0.1\leq T_9\leq 10$ ($T_9=10^9$ К) радиациялық қарпу $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакция жылдамдығын есептеу және оны әдеби деректермен салыстыру.

Зерттеу нысаны (объектісі)

Бұл диссертацияның объектісі гамов терезесіне сәйкес келетін температурада жұлдыздағы CNO цикліндегі сутектің жануының бастапқы және соңғы процестер болып табылатын $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ протонның радиациялық қарпу жылдамдығын дәл анықтау болып табылады. Мұндай энергияларда, $^{12}C+p$ жүйесінің өзара әсерлесуі тікелей және $E_{r1}= 0.457$ кэВ (лаб) резонанстық қарпу интерференциясымен анықталады, ал протонды тікелей қарпу үлесін дәл бағалау $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$ конфигурациялары үшін спектроскопиялық факторды қолдану болып табылады.

Зерттеу пәні

$^{10}B+^{12}C$ серпімді шашырау және $^{12}C(^{10}B,^{13}N)^{9}Be$ протонның берілуі ядролық реакциялар өнімдерінің энергетикалық спектрлерін тоскауылға жақын энергиядағы ^{10}B иондарымен өлшеу бойынша эксперименттерді Варшава университеті ауыр иондар лабораториясындағы U-200P циклотрон шоғырында ΔE-E әдістемесі негізінде бөлшектердің түрлерін тіркеу және сәйкестендіруді жүйесін пайдалана отырып өлшеуді жүргізу, сондай-ақ ҚР ЭМ ядролық физика институтының төмен энергиялы УКП-2-1 сызықтық үдеткішінде $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакциясының радиациялық қарпу қималарын өлшеу жоспарлануда.

Зерттеу әдістері

Әдеби шолу, астрофизикалық қосымшаларға арналған ядролық реакцияларды эксперименттік және теориялық зерттеу, теориялық ядролық физика әдістері.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар:

1. E_{10B}~41,3 МэВ энергиядағы серпімді шашырау және $^{12}C(^{10}B,^{13}N)^{9}Be$ протонның берілуі реакциясының жаңа эксперименттік бұрыштық үлестірімдері және оны реакциялардағы байланысқан арналар (РБА) мен Борндық жуықтаудағы ұйытқыған толқындар (БЖҰТ) әдісі шеңберіндегі талдау нәтижелері $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакция жылдамдығын дәлірек анықтады;

2. $^{10}B+d\rightarrow^{12}C$ конфигурациясына арналған спектроскопиялық амплитуданың (СА=1,375) анықталған мәні серпімді d кластерін беру процесіне байланысты серпімді шашырау қималарының кері бұрыштарда

көтерілуін дұрыс сипаттайды және олардың кластерлік құрылымын түсіндіреді;

3. $^{12}C(^{10}B,^{13}N)^{9}Be$ реакциясының дифференциалдық қимасын талдаудан алынған $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$ конфигурациясы үшін анықталған спектроскопиялық амплитуда мәні 0,65-ке тең болды және ол астрофизикалық S(E) факторды және протондардың радиациялық қарпу реакциясының жылдамдығын бағалауда қолданылды, оның астрофизикалық маңызды энергиялардағы ($E\leq200$ кэВ немесе $T_9 \leq0,35$ К) реакцияның орташа жылдамдығы NACRE II жинағында ұсынылғаннан 1,1 есе жоғары екендігі анықталды.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы, алғаш рет:

− $E_{р,\ лаб.}$ = 1100 – 1400 кэВ энергияда 0^0 кезінде протондардың ^{12}C ядроларымен ^{13}N негізгі күйіне радиациялық қарпу бойынша жаңа эксперименттік дифференциалдық қималар алынды;

− 41,3 МэВ энергияда $^{10}B+^{12}C$ серпімді шашыраудың және $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ реакциясының протонды беру бойынша жаңа эксперименттік дифференциалдық қималар өлшенді;

− $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакциялары үшін $350\leq E\leq1400$ кэВ энергия диапазонында толық астрофизикалық S(E) факторларды және олардың қателіктерін, сондай-ақ ^{13}N ядросының (2.365 МэВ; $1/2^-$) бірінші резонанстық қозған күйінің радиациялық γ-енінің мәні және $0.01\leq T_9 \leq 10$ диапазонында реакциялардың жылдамдығы мәндері анықталды.

− Алынған нәтижелерді Күн қойнауында және массивтік жұлдыздарда болатын $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакциясы бойынша реакция жылдамдығын есептеуге пайдаланылды, сондай-ақ EXFOR (МАГАТЭ) Халықаралық ядролық деректер базасын (МАГАТЭ) толықтыруға мүмкіндік берді.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы

Асимптотикалық теорияны және алынған жаңа дәлдіктегі тәжірибелік мәліметтерді пайдалану, бұл диссертацияның негізгі нәтижесі – $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ реакция жылдамдығын сенімді бағалау үшін қолданылды. Практикалық маңыздылығы – олар зарядталған бөлшектерді тасымалдаудың тосқауылға жақын шеткерлік реакциялары үшін БЖҰТ әдісі шеңберіндегі есептеулердің сенімділігі мен дәлдік дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді.

Ұсынылған зерттеу жұмысының басқа да ғылыми-зерттеу жұмыстармен байланысы

Бұл зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған "Астрофизикалық және термоядролық қосымшалар үшін ауыр иондардан туындаған кулондық тосқауылға жақын энергиялар кезінде протондардың радиациялық қарпылуын және шеткерлік ядролық берілу реакцияларын зерттеу" (мем.тіркеу № AP05132062) атты 2018-2020 жылдарға арналған ғылыми жобасы бойынша жасалынды.

Автордың жеке үлесі

Диссертациялық зерттеуде алынған нәтижелер Варшава қаласындағы ауыр иондар зертханасы (АИЗ) және төмен энергиялы ядролық реакция (ТЭЯРЗ) қызметкерлерімен бірлесе отырып алынды және теориялық талдау

жұмыстары бірнеше коллаборациялық топтардың бірлескен еңбегі нәтижесінде жүзеге асырылды. Атап айтқанда, Өзбекстан Республикасы ғылым академиясының ядролық физика институты (Ташкент қ.) сияқты біріккен ғалымдар тобымен зерттеу жұмыстары жүзеге асырылды және бірлескен басылымдарда көрсетілген. Автордың жеке үлесі эксперименттер жүргізудің барлық кезеңдеріндегі жұмыстарға қатысу, зерттеу міндеттерін қою, жоспарлау, эксперименттік деректерді өңдеу және теориялық есептеулерді жүргізу болып табылады.

Жұмыстың апробациясы

Диссертациялық зерттеу саласы бойынша әртүрлі журнал, конференцияларда 12 (7 мақала және 5 тезис) жарияланым жарық көрді. 6 мақала Thomson Reuters (Web of Knowledge) және Scopus (Elsevier) базаларына кіретін журналдар және ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 1 мақала, 5 тезис Қазақстан аймағында өткен халықаралық ғылыми конференцияларда жарияланды.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі

Жұмыстың құрылымы кіріспе, бес бөлімнен, қорытынды мен 137 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Зерттеудің жалпы көлемі 106 беттен, сонымен қоса 10 кесте мен 55 суретті құрайды.