



Сабидолда Авганбек

**Кулондық тосқауылға жақын энергиядағы ауыр иондармен
туындаған ^{12}C ядроларындағы протондардың
шеткері ядролық беру реакциялары
және радиациялық қарпылуы**

6D060500– Ядролық физика

Ғылыми жетекшісі:

ф.-м.ғ.д., профессор Буртебаев Н.

АЛМАТЫ 2021

Зерттеу тақырыбының өзектілігі:

Төмен және аса төмен энергиялардың ядролық физикасы қазіргі уақытта ядролық астрофизиканың қарқынды дамуына байланысты жоғары іргелі мәнге ие болып отыр [1,2], ол үшін оларды талдаудан алынатын радиациялық қармаудың серпімді шашыраудың дифференциалды және толық қималары және ядролық потенциалдардың параметрлері қажет. Ядролық-астрофизикалық процестердің жылдамдығын сенімді бағалау қазіргі ядролық астрофизиканың маңызды мәселелерінің бірі болып табылады [1-3]. $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ реакциясы суық CNO-сутегі жану циклінің негізгі буыны болып табылады және массивті жұлдыздарда ядролық энергия өндіруде және төмен энергиялы күн нейтриноларының көзі ретінде маңызды рөл атқарады (GALLEX эксперимент) [1]. Сондықтан астрофизикалық S факторларының $S(E)$ өте төмен ($0 \leq e \leq 50$ кэВ) және төмен энергиялар ($E \leq 2.0$ МэВ) кезіндегі $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ реакциялары мәндердегі) энергетикалық тәуелділікті білу ядролық астрофизика мен космологияда үлкен қызығушылық тудырады (GALLEX эксперимент) [1]. Қазіргі уақытта әдебиетте $327 \leq E \leq 980$ кэВ интервалында өлшенген $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ реакциясы үшін $s(E)$ бойынша өзара сәйкес келетін эксперименттік деректердің екі жиынтығы бар [4,5], яғни ^{13}N ($E^*=2.365$ МэВ; $1/2^-$) ядросының бірінші резонанстық күйі аймағында, бұл ретте [5] жұмыс нәтижелері (абсолютті қате 10%) [3] салыстырғанда (мұнда қателік 15% құрайды%) дәлме-дәл болып табылады. $E > 980$ кэВ [6] кезіндегі $s(E)$ туралы қолда бар эксперименттік деректер, яғни екінші резонанстық күйінен жоғары ^{13}N ($E^*=3.502$ МэВ; $3/2^-$) ядросы үлкен ауытқулардан тұрады ($\geq 40\%$).

1. E.G. Adelberger et al. Solar fusion cross sections. II. The pp chain and CNO cycle. Rev.Mod.Phys. **83** (2011) pp.195-245.
2. R. Yarmukhamedov, Q. I. Tursunmahatov. The Universe Evolution: Astrophysical and nuclear aspects. Edit. I. Strakovsky and L. D. Blokhintsev (NOVA, New York, 2013). Modified two- and three-body approaches, asymptotic normalization coefficients and their application for nuclear astrophysics. Chapter 6, pp. 219-270.
3. R. E. Tribble, C.A. Bertulani, M. La Cognata, A.M. Mukhamedzhanov and C. Spitaleri. Indirect techniques in nuclear astrophysics: a review. Rep.Prog.Phys. **77** (2014)106901 pp (1- 49).
4. C. Rolfs, R. E. Azuma. Interference effects in $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ and direct capture to unbound states. Nucl.Phys. **A227** (1974) 291-308.
5. N. Burtebaev, S.B. Igamov, R. J. Peterson, R. Yarmukhamedov, D. M. Zazulin New measurements of the astrophysical S factor for $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ reaction at low energies and the asymptotic normalization coefficient (nuclear vertex constant) for the $^{12}\text{C}+p \rightarrow ^{13}\text{N}$ reaction. Phys.Rev.C **78** (2008) 035803 pp (1-11).

Жұмыстың мақсаты:

Осы диссертацияның мақсаты протонның ^{13}N ядросынан виртуалды бөлінуінің АНК мәндерін пайдалана отырып, жұлдызды температуралар аймағында ($0.1 \leq T_9(\text{K}) \leq 10$) $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ сутегінің жану циклінің CNO реакциялары жылдамдығының сенімді мәндерін анықтау болып табылады. АНК мәндерін алу үшін кулондық тосқауылға жақын энергияларда $^{10}\text{B}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{N})^9\text{Be}$ протонның берілу реакцияларының дифференциалды қималарын өлшеу жоспарлануда. Сондай-ақ эксперименттік қолжетімді төмен энергияларда зерттелетін ядролардағы радиациялық қармау реакцияларының қималарына қосымша өлшеулер жүргізу. Радиациялық қармау және протонның берілу реакциялары қималары бойынша әдеби және жаңа деректерді кешенді талдау шеңберінде S -реакция факторының $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ мәндерін есептеу және экстраполяциялау.

Зерттеу тапсырмалары:

- зарядталған бөлшектің берілуінің тосқауылдық перифериялық реакцияларының асимптотикалық теориясын жасау $A(x,y)B$ ($x=y+a$ и $B=A+a$, мұндағы a -берілетін бөлшек);
- $E_{\text{lab}} = 1.0 \div 1.8$ МэВ энергетикалық интервалында $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ реакциясының қималарын (астрофизикалық S факторлар) дәл өлшеуді орындау (қозған күй үшін екінші резонансқа жауап беретін $E^*=3.502$ МэВ ($J^\pi=3/2^-$) энергия аймағы);
- $0.3 \div 1.2$ МэВ энергетикалық интервалында $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ реакция шығысын дәл өлшеуді орындау;
- Кулондық тосқауылға жақын ^{12}C иондар энергиясымен $^{10}\text{B}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{N})^9\text{Be}$ протонның берілу реакциясының дифференциалдық қимасын дәл өлшеуді орындау.

Зерттеу нысаны:

Бұл диссертацияның объектісі Гамов пикіне сәйкес келетін температурада жұлдыздағы сутектің жануының CNO цикліндегі бастапқы және соңғы процестер болып табылатын $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ протонның радиациялық қармау жылдамдығын дәл анықтаудан тұрады. Осындай энергияларда, $^{12}\text{C}+p$ жүйесінде өзара әрекеттесу $E_r = 0.457$ кэВ (лаб) резонанс кезінде протонның тікелей және резонанстық қармауының интерференциясымен анықталатын $\{^{13}\text{N} = ^{12}\text{C} + p\}$ конфигурациялары үшін асимптотикалық нормалау коэффициенттері (АНК) арқылы бағаланатын протонның тікелей қармау үлесін дәл бағалау өте маңызды.

Зерттеу пәні:

$^{10}\text{B}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{N})^9\text{Be}$ протонның берілуі және $^{10}\text{B}+^{12}\text{C}$ серпімді шашырау ядролық реакциялар өнімдерінің энергетикалық спектрлерін тосқауылға жақын энергиядағы ^{12}C иондарымен өлшеу бойынша эксперименттерді РЭМ ЯФИ (РГП ИЯФ) циклотрон шоғырында $\Delta E-E$ әдістемесі негізінде бөлшектердің түрлерін тіркеу және сәйкестендіруді жүйесін пайдалана отырып өлшеуді жүргізу жоспарлануда.

Зерттеу әдістері:

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

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы:

Диссертацияның негізгі нәтижесін алу бұл жасалатын асимптотикалық теория және алынатын жаңа дәл эксперименттік мәліметтер— $^{12}\text{C}(p, \gamma)^{13}\text{N}$ реакция жылдамдығын сенімді есептеу үшін қолданылады. Практикалық маңыздылығы - олар зарядталған бөлшектердің тосқауылдағы перифериялық реакциялары үшін MDWBA тәсілі арқылы есептеулердің сенімділігі мен дәлдігін анықтауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Бұл жұмыста дәлдігі 5% болатын лабораториялық жүйеде кулондық тосқауылға жақын энергия интервалында $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$ реакциясының дифференциалдық қимасын алуға қатысты жаңа эксперименталдық мәліметтер алу үшін дайындық үстіндеміз. Сонымен қатар ауыр ионмен тудырылған $^{10}\text{B}+^{12}\text{C}$ реакциясы үшін әртүрлі энергиядағы серпімді шашыраудың дифференциалдық қимасын алуды Ядролық физика институтының (Алматы, Қазақстан Республикасы) У-150М изохронды циклотронында жүргізу жоспарлануда.