АҢДАТПА

«8D05308 – Ядролық физика» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне диссертация

ЕЛЕУШЕВА БАДИГУЛЬ МАРАТОВНА

Жеңіл ядролардың жұлдыз және жұлдызаралық плазмадағы радиациондық қарпу реакциялары

Жұмыстың жалпы сипаттамасы.

Диссертацияда жұлдыз және жұлдызаралық плазмадағы жарық элементтерінің эволюциясының сценарийлерін бағалау үшін ^{8}Li, ^{9}Be және ^{13}B ядроларындағы нейтрондардың және ^{15}N изотопындағы протондардың радиациялық қарпу реакциясының жылдамдығының модельдік есептеулері ұсынылған.

Зерттеудің өзектілігі.

Қазіргі ядролық астрофизика – іргелі және қолданбалы физиканың ең ауқымды аспектілерін қамтитын теориялық және эксперименттік зерттеулер саласы. Бағыттардың бірі төмен энергиялардағы жеңіл ядролардағы ядролық реакцияларды зерттеумен байланысты. Бұл бағыт – әртүрлі астрофизикалық есептерді шешу жолы. Біз ең өзектілерінің кейбірін ғана тізімдейміз:

• ертедегі Әлемнің қалыптасуы мен эволюциясы теориясы өзінің қалыптасу және даму кезеңінде. Сонымен, әлі біржақты шешімін таппаған маңызды мәселелердің бірі – біріншілік космологиялық орта біртекті болды ма, әлде протон мен нейтрон компоненттерінің бөлінуі болды ма деген сұрақ;

• ядролық реакциялардың әртүрлі тізбегінің түзілуіне сәйкес келетін температуралық жағдайларды анықтау және зерттеу негізінде Үлкен жарылыстан кейінгі нуклеосинтез кезеңінде химиялық элементтер синтезінің модельдері әзірленді;

• негізделген ядролық тізбектерге сүйене отырып, түптеп келгенде тұрақты ядролардың да, радиоактивті изотоптардың да массалық үлесін есептеуге мүмкіндік беретін желілердің әртүрлі нұсқалары салынған, сондай-ақ түзілудің және, ең бастысы, жинақталуының әртүрлі сценарийлерін негіздеуге мүмкіндік береді. ауыр изотоптар;

Сәулеленудің ядролық реакцияларының зертханалық зерттеулері объективті себептерге байланысты олардың мүмкіндіктерінде айтарлықтай шектеулі. Протондармен реакциялардың көлденең қималары жұлдыздардағы ядролық процестерге тән энергетикалық диапазондағы кулондық тосқауылмен қатты басылады. Радиациялық нейтронды ұстау реакциялары үшін көлденең қималарды тікелей және жанама өлшеуді қамтамасыз ететін тәжірибелік база бүгінгі күні көптеген жобалармен және заманауи технологиялармен жабдықталған заманауи қондырғылармен ұсынылған. Дегенмен, қысқа мерзімді изотоптармен жұмыс істегенде, мәселе туындайды. Әйтпесе, олар алдын ала болып саналады және қосымша тексеруді қажет етеді. Демек, реакция

сипаттамаларының теориялық есептеулері өте танымал болып келеді. Диссертация тақырыбы бойынша жүргізілген зерттеулер ядролық физиканың да, астрофизиканың да көптеген мәселелерінде шешуші рөл атқаратын ^{6}Li және ^{8}Be ядроларындағы резонанстық күйлердің табиғатын зерттеуге бағытталған. Құрылымында бірегей ерекшеліктерге ие бұл ядролар ядролық резонанстарды зерттеудің стандартты тәсілдерімен де, алдыңғы қатарлы талдау әдістерімен де зерттелді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты жұлдыздық және жұлдыз аралық плазмадағы жарық элементтерінің эволюциясының сценарийлерін бағалау үшін ^{8}Li, ^{9}Be және ^{13}B ядроларындағы нейтрондардың және ^{15}N изотопындағы протондардың радиациялық түсіру реакциясының жылдамдығын модельдік есептеулер болып табылады.

Негізгі зерттеу мақсаттары:

1.Жалпы қималарды және реакция жылдамдығын $^{8}\mathrm{Li}(n,\gamma_{0+1})^{9}\mathrm{Li}$ есептеңіз;

2.GS және бес қозған күйде ^{10}Be түзілген $^{9}\mathrm{Be}(n,\gamma_{0+1+2+3+4+5})^{10}\mathrm{Be}$ реакциясының жалпы қималарын, сондай-ақ сәйкес реакция жылдамдығын есептеңіз;

3.Астрофизикалық энергиялардағы $^{13}\mathrm{B}(n,\gamma_{0+1})^{14}\mathrm{B}$ реакциясын зерттеу үшін негізделген модельдік тәсілді жасаңыз. Жалпы қима мен реакция жылдамдығын есептеңіз;

4.Интерференциялық әсерлерді және резонансты емес магниттік дипольдық ауысуды $M1$ қоса алғанда, МПКМ-дегі $^{15}\mathrm{N}(p,\gamma)^{16}\mathrm{O}$ астрофизикалық S-факторларын қайта бағалаңыз. Осы факторлардың сәйкес реакция жылдамдығына әсерін бағалаңыз.

Зерттеу объектілері жеңіл ядролардың бинарлы кластерлік жүйелері және төмен және өте төмен энергиялардағы радиациялық нуклондарды ұстау реакцияларының механизмдері болып табылады.

Зерттеу әдістері: Бұрыштық импульстің кванттық теориясының алгебралық әдістері, кванттық шашырау теориясының әдістері, үздіксіз және шектелген күйлердің Шредингер теңдеуін шешудің сандық әдістері, сандық интегралдау.

Диссертациялық зерттеу нәтижелерінің ғылыми жаңалығы:

1.n^{8}Li радиациялық түсіру үшін жалпы көлденең қималар 10 МэВ-тен 5 МэВ-қа дейінгі энергия диапазонында алынды, олар әдетте тәжірибелік өлшеулердің нәтижелерімен келіседі. Алғаш рет $^{6}\mathrm{Li}(n,\gamma)^{7}\mathrm{Li}$, $^{7}\mathrm{Li}(n,\gamma)^{8}\mathrm{Li}$ және $^{8}\mathrm{Li}(n,\gamma)^{9}\mathrm{Li}$ нуклондар арналарындағы байланыс энергиясы негізінде есептелген реакция жылдамдығының сенімділігін бағалау үшін модельсіз критерий ұсынылды.

2.$^{9}\mathrm{Be}(n,\gamma_{0+1+2+3+4+5})^{10}\mathrm{Be}$ реакциясының ішінара және толық көлденең қималары МПКМ-де 10^{-5} пен 5 МэВ энергетикалық диапазонында есептелді. Энергия диапазонын 5 МэВ дейін кеңейту бізге бес резонансты қарастыруға және олардың толық қимада қолтаңбасын бағалауға мүмкіндік береді.

3.$^{13}\mathrm{B}(n,\gamma_{0+1})^{14}\mathrm{B}$ реакциясының жалпы қималары 10^{-2} эВ-тен 5 МэВ-қа дейінгі $E1$ және $M1$ ауысулары негізінде МПКМ-де алғаш рет есептелді. Асимптотикалық константаның өзгеру шегінде 5,1–8,9 мб жылу қимасы үшін

интервал ұсынылды. 0,01 эВ-тен 5 МэВ-қа дейінгі энергиялардағы теориялық жалпы көлденең қималарға сүйене отырып, реакция жылдамдығы 0,01-ден 10 T_9-ға дейінгі температура диапазонында есептелді. $^{13}B(n,\gamma_{0+1})^{14}B$ реакциясының тұтануының T_9 мәндері нейтрон санының тығыздығына ~1022 см$^{-3}$ байланысты анықталды.

4.Алғаш рет $^{15}N(p,\gamma)^{16}O$ реакциясының астрофизикалық S-факторын және реакция жылдамдығын МРСМ шеңберінде қайта бағалау $^3S_1$ төменгі резонанстық және магниттік резонанстық емес интерференцияны қамтиды. Эксперименталды түрде бақыланатын каскадты ауысуларды есепке алуды модельдеу ұсынылады. CNO циклінің әртүрлі тармақтарына қатысатын $^{12}N(p,\gamma)^{13}O$, $^{13}N(p,\gamma)^{14}O$, $^{14}N(p,\gamma)^{15}O$, $^{15}N(p,\gamma)^{16}O$ реакцияларының жылдамдығының салыстырмалы талдауы. бірдей модельдер.

5.Көршілес Li, B және N изотоптары үшін «канал табалдырығы неғұрлым жоғары болса, реакция жылдамдығы соғұрлым жоғары» үлгісі алғаш рет тұжырымдалған.

Қорғауға ұсынылатын негізгі ережелер:

1.$^8Li(n,\gamma_{0+1})^9Li$ реакция жылдамдығын бағалаудың екі критерийі табылды, бұл реакция жылдамдығының диапазонын тарылтуға және асимптотикалық константаларды таңдауды шектеуге мүмкіндік береді: жылулық қималардың мәндері және литий изотоптары $^{6,7,8}Li$ төмен температурада энергия табалдырықтары мен реакция жылдамдығының тәртібі арасындағы корреляция.

2.$^9Be(n,\gamma_{0+1+2+3+4+5})^{10}Be$ реакциясы үшін есептелген ішінара және толық көлденең қималары 10^{-5}-тен 5 МэВ-қа дейінгі энергетикалық диапазондағы бес резонанстарды $^3D_3^1, ^3F_2^1, ^3F_3, ^3F_2^2, ^3D_3^2$ қарастыруға мүмкіндік береді. Резонанстардың қосылуы олардың реакция жылдамдығына 4-5 фактор шегінде әсерін көрсетеді, T_9>1 деңгейінде артады, Wallner, 2019 және Mohr, 2019 нәтижелерін салыстырады.

3. 10^{-2} эВ-тен 5 МэВ-қа дейінгі МРСМ-де орындалған $^{13}B(n,\gamma_{0+1})^{14}B$ реакциясы үшін жалпы қималардың есептеулері жаңа эксперименттік ISOLDE өлшемдері үшін ұсыныс береді. Реакция жылдамдығы туралы ұсынылған деректер бор-көміртек-азот тізбегіндегі $^{13}B(n,\gamma_{0+1})^{14}B$ реакциясының рөлін негіздейді, бұл Бор тізбегінің үзілу нүктесі емес.

Диссертация тақырыбының ғылыми-зерттеу бағдарламаларының жоспарларымен байланысы:

Ғылыми-зерттеу жұмыстары келесі бағдарламаларға сәйкес жүзеге асырылады:

1.«Study of the rates of some thermonuclear reactions in solar cycles and BBN» (IRN: AP09259021-OT-23, 2021–2023);

2.«Study of the processes of thermonuclear hydrogen combustion in the CNO cycle on the Sun and in stars» (IRN: AP19676483, 2023–2025);

Автордың жеке үлесі:

Бадигуль Елеушева зерттеулердің барлық кезеңдеріне, соның ішінде $^8Li(n,\gamma_{0+1})^9Li$, $^9Be(n,\gamma_{0+1+2+3+4+5})^{10}Be$, $^{13}B(n,\gamma_{0+1})^{14}B$ реакцияларының

астрофизикалық процестерін зерттеуге арналған МПКМ енгізуін әзірлеуге қатысты.

Жұмыстың ғылыми-практикалық құндылығы:

МПКМ-де ^{8}Li(n,γ_{0+1})^{9}Li және ^{13}B(n,γ_{0+1})^{14}B реакциялары үшін көлденең қималарды есептеу нәтижелері шын мәнінде жылу энергиясы бойынша 10 мэВ және 5 МэВ дейін кеңейтілген диапазонда жаңа тәжірибелік өлшемдерді орнату үшін негіздеме береді. ^{9}Be($n,\gamma_{0+1+2+3+4+5}$)^{10}Be реакциясы үшін нақтыланған эксперименттік деректер қажет болатын энергетикалық аймақтар да анықталады. Реакция жылдамдығы ^{8}Li(n,γ_{0+1})^{9}Li, ^{13}B(n,γ_{0+1})^{14}B ^{9}Be($n,\gamma_{0+1+2+3+4+5}$)^{10}Be және ^{15}N(p,γ)^{16}O мәліметтер базасына енгізу ұсынылады. Реакция жылдамдығы Максвелл тепе-теңдік үлестіріміне сәйкес плазма жылдамдықтары бойынша бөлшектерді орташалау арқылы есептеледі. Бұл бөлу Әлемнің біртекті моделін болжайды. Көрші изотоптар үшін кеңейтілген деректерді пайдалана отырып, «арна табалдырығы неғұрлым жоғары болса, реакция жылдамдығы соғұрлым жоғары болады» үлгісімен байланысты гипотезаны тексеру үшін зерттеуді жалғастыру маңызды. Модельдік есептеулер – үлгі параметрлерін нақтылау және төмен температурадағы реакция жылдамдығын сапалы бағалау үшін.

Алынған нәтижелер мен қорытындылардың сенімділігі мен негізділігі:

Нәтижелердің сенімділігі есептеулерде бұрыштық импульстің кванттық теориясының алгебралық әдістерінің пайдаланылғандығына байланысты. Сонымен қатар, деңгейлік спектрлер, олардың ені, айнымалы ток, көлденең қималар және астрофизикалық S-факторлар бойынша қазіргі тәжірибелік деректер негізінде өзара әрекеттесу потенциалдары мен радиациялық түсіру реакцияларының сипаттамаларының есептеулері құрастырылды.

Жарияланымдар: Scopus\Web of Science дерекқорына енгізілген және индекстелген ғылыми журналдардағы жарияланымдар:

– Dubovichenko S.B., **Yeleusheva B.M.**, Burkova N.A., Tkachenko A.S. The reaction rate of radiative n^{8}Li capture in the range from 0.01 to 10T_9 // Frontiers in Astronomy and Space Sciences. – 2023. – Vol. 10. – 1251743.

– Tkachenko A.S., Burkova N.A., **Yeleusheva B.M.**, Dubovichenko S.B. Estimation of radiative capture ^{13}B(n,γ_{0+1})^{14}B reaction rate in the modified potential cluster model // Chinese Physics C. – 2023. – Vol. 47. – 104103.

– Dubovichenko S.B., **Yeleusheva B.M.**, Burkova N.A., Tkachenko A.S. Radiative ^{9}Be($n,\gamma_{0+1+2+3+4+5}$)^{10}Be reaction rate in the potential cluster model // Chinese Physics C. – 2023. – Vol. 47. – 084105.

– Dubovichenko S.B., Tkachenko A.S., Kezerashvili R.Ya., Burkova N.A., **Yeleusheva B.M.** Astrophysical S-factor and reaction rate for ^{15}N(p,γ)^{16}O within the modified potential cluster model // Chinese Physics C. – 2024. – Vol. 48. – 044104.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі:

Диссертация Кіріспеден, бес бөлімнен, Қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертацияда 29 сурет пен 22 кесте бар. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 196 атаудан тұрады. Диссертация 105 баспа мәтінінде ұсынылған.