АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктор философии PhD по образовательной программе «8D05308 – Ядерная физика»

САБИДОЛДА АВГАНБЕК

РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ И ПЕРИФЕРИЙНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ ПЕРЕДАЧИ ПРОТОНОВ НА ЯДРАХ ^{12}C, ВЫЗВАННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВБЛИЗИ КУЛОНОВСКОГО БАРЬЕРА

Общее описание работы

Цель этой работы направлена на выяснение вклада прямого радиационного захвата протона в реакцию $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ путем определения значения спектроскопического фактора (СФ) для $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$, который помогает корректно оценить скорость реакций в ядерных процессах. Для этого были измерены и проанализированы дифференциальные поперечные сечения (ДПС) передачи протона в реакции $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ при энергии 41,3 МэВ с использованием метод искаженных волн (МИВ) и связанных каналов реакции (МСКР) с помощью программного кода FRESCO. Было получено значение спектроскопической амплитуды (СА), равное 0,65 которое использовалось при оценке астрофизического S(E) фактора и скорости реакции радиационного захвата протона ядром ^{12}C при энергиях, имеющих астрофизическое значение. Также с целью повышения точности экстраполяции S(E) фактора в доступном нам диапазоне низких энергий дополнительных измерений сечений реакций радиационного захвата проводилось на линейном ускорителе УКП-2-1 Института ядерной физики МЭ РК.

Актуальность темы исследования

Настоящий работа посвящена комплексному изучению ядерных реакций, вызванных ионами ^{10}B и протонов в ядрах ^{12}C, связанных с нуклеосинтезом во Вселенной, поскольку образование реакции $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$ в процессе нуклеосинтеза и звездной эволюции является ключевым фактором. Знание количественного содержания элемента ^{13}N в звездах крайне важно, поскольку это ядро является стартовым для возникновения холодного и горячего CNO цикла горения водорода в звездном нуклеосинтеза посредством реакций $^{12}C+p\rightarrow^{13}N^*(\beta^+\nu)\rightarrow^{13}C+p\rightarrow$ («холодный» цикл) или, при более высоких температурах, $^{12}C+p\rightarrow^{13}N+p\rightarrow^{14}O+p\rightarrow$ («горячий» цикл). При полном сгорании водорода на более поздних стадиях развития звезд начинается интенсивное радиационный захват альфа-частиц ядрами ^{12}C с образованием кислорода. Ядро ^{12}C также является промежуточной стадией формирования ядра ^{13}C. В свою очередь, реакция $^{13}C(\alpha,n)^{16}O$ является основным источником нейтронов для *s* и *r* - процессов в звездах AGB-ветви и

обогащенных углеродом слабо металлизированных звездах. Кроме того, реакция $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ рассматривается как источник низкоэнергетических солнечных нейтрино в массивных звездах, помимо того, что водород является необходимым компонентом сгорания в цикле CNO (GALLEX эксперимент). Поэтому знание энергетической зависимости астрофизических *S(E)* факторов (*S*(*E*)) реакций $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ при сверхнизких ($0 \leq E \leq 50$ кэВ) и низких энергиях ($E \leq 2.0$ МэВ) представляет большой интерес в ядерной астрофизики и Космологии. Следовательно, нам необходимы дифференциальные и полные сечения радиационного захвата, упругого рассеяния и параметры ядерных потенциалов, извлекаемых из их анализа.

Более ранние исследования по этой теме начались в 1950-х годах в ряде работах. В настоящее время существуют два набора взаимно согласующихся экспериментальных данных по *S*(*E*) для реакции $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$, измеренных в интервале $327 \leq E \leq 980$ кэВ в работах Rolfs C. (1974 г.), Буртебаева Н. и др. (2008 г.), то есть в области первого резонансного состояния ядра ^{13}N (E^*=2.365 МэВ;$1/2^-$), причем результаты упомянутых работ являются более достоверной (абсолютная погрешность ~10%) по сравнению с экспериментальной работой Tribble R.E. (2014), где погрешность составляет ≥15%). И имеющиеся экспериментальные работах Angulo C. (1999 г.) по S(E) фактором при E>980 кэВ, т.е. выше второго резонансного состояния ядра ^{13}N, E^*=3.502 МэВ; $3/2^-$, содержат большие погрешности (≥40%). Также исследование, проведенное в работе Dufourand M. и Descouvemont P. (1997 г.) включало анализ S(E) фактора реакции $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ на микроскопическом уровне с использованием различных типов NN-потенциалов. Они обнаружили, что форма этих потенциалов оказала существенное влияние на результаты. Одной из причин такой чувствительности было то, что на расчеты СФ для $^{12}C+p \rightarrow {}^{13}N$ также влияла форма потенциала NN, как показано в работе Timofeyuk N.K. (2013г.). В связи с вышесказанным важно получение новой информации о значении СФ для $^{12}C+p \rightarrow {}^{13}N$ с корректной оценкой его точности.

Целью данной диссертации является определение надежных значений скоростей реакций CNO-цикла горения водорода $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ в области звездных температур ($0.1 \leq T_9(K) \leq 10$) с использованием значений спектроскопической фактор для конфигурации $^{12}C+p \rightarrow {}^{13}N$ из анализа реакции передачи протона $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$, а также проведение дополнительных измерений сечений реакций радиационного захвата с целью повышения точности астрофизических S(E) факторов.

Задачи исследования.

Для достижения этих целей в диссертационной работе поставлены следующие задачи:

− выполнить новые измерения сечений радиационного захвата (астрофизических S(E) факторов) реакции $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ в энергетическом интервале $E_{лаб}$= 1100 – 1400 кэВ;

− выполнить новые измерения дифференциальных поперечных

сечений упругого рассеяния $^{12}C(^{10}B,^{10}B)^{12}C$ и реакции передач протона $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ при энергии 41,3 МэВ;

− получение параметров оптических потенциалов для упругого рассеяния $^{12}C(^{10}B,^{10}B)^{12}C$ при энергии 41,3 МэВ и определение энергетической зависимости в широком диапазоне энергий.

− выполнить теоретический анализ угловых распределений ДПС переноса протона в реакции $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ в рамках МИВ и МСКР с помощью кода FRESCO и получение СФ для конфигураций $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$;

− рассчитать и сравнить с литературными данными скорости реакции радиационного захвата $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ при звездных температурах $0.1\leq T_9\leq 10$ ($T_9=10^9$ К).

Объект исследования.

Объектами исследования являются определение скоростей радиационного захвата протонов в реакции $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$, которые являются начальной и конечной стадиями в цикле CNO звездного горения водорода при температурах, соответствующих окну Гамова. При таких энергиях, когда в системе $^{12}C+p$ взаимодействие определяется интерференцией прямого и резонансного захвата протона с резонансом при $E_r=0.457$ кэВ (л.с.к.) чрезвычайно важна точная оценка вклада прямого захвата протона, оцениваемого через спектроскопических амплитуд (СА) для конфигураций $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$.

Предмет исследования.

Эксперименты по измерению энергетических спектров продуктов ядерных реакций передачи протона $^{10}B(^{12}C,^{13}N)^{9}Be$ и упругого рассеяния $^{10}B+^{12}C$ при около барьерных энергиях ионов ^{12}C планируется провести на выведенном пучке циклотронов U-200P AVF Лаборатории тяжелых ионов Университета Варшавы с использованием системы регистрации и идентификации типов частиц на основе ΔE-E методики, а также измерение дифференциальных поперечных сечений $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ при низких энергиях на линейном ускорителе УКП-2-1 Института ядерной физики МЭ РК;

Методы исследования.

Литературный обзор, экспериментальное и теоретическое изучение ядерных реакций для астрофизических приложений, методы теоретической ядерной физики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Новые экспериментальные угловые распределения упругого рассеяния $^{12}C(^{10}B,^{10}B)^{12}C$ и реакции передачи протона $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ при энергии E_{10B}~41,3 МэВ, и результаты их анализа в рамках метода связанных каналов и метода искаженных волн дают возможность надежного расчета скоростей реакций $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$;

2. Установленная величина спектроскопический амплитуды для конфигурации $^{10}B+d\rightarrow^{12}C$ (СА=1,375) корректно воспроизводит подъем сечений упругого рассеяния за счет учета вклада процесса упругого переноса d-кластера под обратными углами и обосновывает их кластерную структуру;

3. Спектроскопическая амплитуда СА=0,650 для $^{12}C+p\rightarrow^{13}N$,

установленная из анализа ДПС реакции $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$, использовалась при оценке астрофизического S(E) фактора и скорости реакции радиационного захвата протонов, выявив, что средняя скорость реакции при энергиях E≤200 кэВ или T_9≤0.35К в 1,1 раза выше, чем рекомендованная в обзоре NACRE II.

Новизна и оригинальность диссертационной работы заключаются в том, что в ней впервые:

− получены новые дифференциальные поперечные сечения реакции $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ в области энергий $E_{p,лаб.}$=1100–1400 кэВ при 0^0 для радиационного захвата протонов ядрами ^{12}C на основное состояние ^{13}N;

− получены новые дифференциальные поперечные сечения упругого рассеяния $^{10}B+^{12}C$ и реакции передача протонов $^{12}C(^{10}B,^{9}Be)^{13}N$ при энергии пучка 41,3 МэВ;

− определены значения полных астрофизических S(E) факторов и их погрешностей для реакций $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$ в энергетическом интервале 350≤E≤ 1390 кэВ, а также скорости реакций в интервале 0.01≤T_9≤10 и значение радиационной γ-ширины первого резонансного возбужденного состояния ядра ^{13}N (2. 365 МэВ; $1/2^-$);

− полученные результаты позволило пополнить международной базы ядерных данных EXFOR (МАГАТЭ) по установлению скорости реакции $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$, протекающей в недрах Солнца и в массивных звёздах.

Научная и практическая значимость исследования: Используя созданную асимптотическая теория и полученные новые прецизионные экспериментальные данные будут использованы для получения основного результата диссертации – надежного расчета скоростей реакций $^{12}C(p,\gamma)^{13}N$. Практическая значимость – они позволят установить степень надежности и точности расчетов в рамках подхода МИВ для около баръерных периферийных реакций передачи заряженной частицы.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы по теме: «Исследование радиационного захвата протонов и реакций периферического ядерного переноса при энергиях вблизи кулоновского барьера, вызванных тяжелыми ионами для астрофизических и термоядерных приложений» грант № AP05132062. Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2018-2020 годы.

Личный вклад автора.

Изложенные в диссертации экспериментальные результаты получены автором совместно с сотрудниками HIL Университета Варшава (г. Варшава, Польша) и лаборатории низкоэнергетических ядерных реакций Института ядерной физики (г. Алматы, Казахстан). Работа по теоретическому анализу проводилась в результате совместной работы ученых, таких как Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (Ташкент) и отражены в совместных публикациях. Личный вклад автора заключается в участии работу на всех этапах проведения экспериментов, постановке задач

исследования, планировании, обработкой экспериментальных данных и проведением теоретических расчетов.

Апробация работы.

Опубликовано 12 публикаций (7 статей и 5 тезисов) в различных журналах и на конференциях в области диссертационных исследований. 6 статей в журналах, включенных в базы данных Thomson Reuters (Web of Knowledge) и Scopus (Elsevier) и 1 статья в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 5 тезисов опубликованы на международных научных конференциях, проводимых в Казахстане.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, пять разделов, заключения и списка использованных источников из 137 наименований. Общий объем работы составляет 106 страницы текста, в том числе 10 таблиц и 55 рисунок.