

## Рецензия

на Выпускную Квалификационную Работу «Вклад низкоэнергетичных уровней ядер в синтез нуклидов в звёздах», представленную магистранткой кафедры Ядерно-Физических Методов Исследования СПбГУ Мартыновой Натальей Сергеевной

Магистерская ВКР Н. Мартыновой посвящена изучению влияния низкоэнергетических уровней ядер в астрофизике, вопросу, который очень плохо изучен. В то же время, следует ожидать, что эти состояния должны играть особую роль в различных процессах, происходящих в высокотемпературных звёздных условиях и могут существенно повлиять на процессы нуклеосинтеза в звёздах. Какова может быть роль этих состояний и каковы должны быть их свойства, наконец, какие нуклиды вносят вклад в те или иные процессы? Вот те вопросы, которые были поставлены перед магистранткой.

Для решения поставленных задач студентке надо было, базируясь на известные спектроскопические данные о возбуждениях ядер в земных условиях, получить карту возбуждений и распадов в звёздных условиях. Это было успешно выполнено для двух пар долгоживущих и стабильных нуклидов, интересных как хронометры различных астрофизических процессов ( $^{87}\text{Rb}$  как продукт  $g$ -процесса и  $^{113}\text{Cd}$  как продукт  $s$ -процесса).

Из анализа стало ясно, что в рассматриваемых случаях имеются возбуждённые состояния, которые в высокотемпературных условиях проявляют отличные от земных свойства распада, а именно, распадаются по каналу бета-превращения, отсутствующего в земных условиях, и существенно меняющего эффективный период бета-распада в звёздных условиях. Так, было показано, что такой период полураспада для  $^{113}\text{Cd}$  может меняться на много порядков величины, приближаясь ко времени протекания предполагаемого  $s$ -процесса. В то же время, он меняется всего лишь на один-два порядка для  $^{87}\text{Rb}$ .

Полученные данные базируются на знании свойств нуклидов в земных условиях, среди которых, коль скоро обсуждаются новые каналы бета-превращений, важную роль приобретают величины разности масс состояний. Их достоверное знание играет первостепенную роль, когда эти разности малы. Достоверность разности масс обеспечивают ионные ловушки, к работе с которыми была привлечена магистрантка.

Измерения разности масс пар  $^{87}\text{Rb}$ - $^{87}\text{Sr}$  и  $^{113}\text{Cd}$ - $^{113}\text{In}$  выполнялись на установке SHIPTRAP в ГСИ (Дармштадт). Анализ данных производился магистранткой разными методами и представлен подробно в ВКР. В результате было получено новое, и подчеркнём ещё раз, достоверное значение разности масс, с точностью 95 эВ для  $^{113}\text{Cd}$ - $^{113}\text{In}$ , что в несколько раз лучше оценённого в литературе значения. Для пары  $^{87}\text{Rb}$ - $^{87}\text{Sr}$  получена точность 200 эВ, что в пять раз лучше оценённого значения, имевшегося до эксперимента, но более, чем на порядок величины хуже нового экспериментального значения, также выполненного на ионной ловушке.

Подводя краткий итог изложенному отметим, что работа безусловно актуальна. Она по существу закладывает фундамент под создание карты спектроскопических данных для нуклидов, участвующих в различных высокотемпературных астрофизических процессах целого неисследованного пласта в ядерной астрофизике. Этим объясняется и применимость полученных в ВКР данных, отличающихся новизной, для развития этого направления исследований в будущем.

В качестве замечания можно отметить, что при переносе всех «земных» спектроскопических данных нуклидов в астрофизические условия нужно иметь в виду, что в последних нуклиды могут быть в высокоионизованных состояниях, что может внести определённые коррективы в выводы, хотя и не очень существенные, если энергии переходов не очень малы. На этот эффект обращено внимания в ВКР, но анализ его влияния или невлияния на конечные результаты не приводится.

ВКР Н.С. Мартыновой представляет собой интересное объёмистое исследование нового направления в ядерной астрофизике, выполненное на высоком научном и оформительском уровне. На наш взгляд ВКР заслуживает отличной оценки.

Рецензент,  
Кандидат физ.-мат. наук,  
Старший научный сотрудник ПИЯФ-НИЦ «Курчатовский институт»

15 мая 2018 г.



А.В. Попов

Подпись руки Попов А.В.

ЗАВЕРЯЮ:

Нач. отдела кадров М

15.05.2018

