

## ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации Сидорчука Сергея Ивановича

**«Исследования структуры тяжелых изотопов гелия**

**в реакциях передачи и выбивания»,**

представленной на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16

«Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Диссертация С. И. Сидорчука посвящена экспериментальным исследованиям структуры тяжелых изотопов гелия  ${}^{6,8,10}\text{He}$  на границе нейтронной стабильности. Проблема возникла в конце 50-х годов прошлого столетия, когда Я.Б. Зельдовичем была предсказана ядерная стабильность ядра  ${}^8\text{He}$ , который и был открыт некоторое время спустя. В то время фантастикой казался тот факт, что добавление двух нейтронов к  ${}^6\text{He}$  не только не уменьшало энергию связи  ${}^8\text{He}$ , но и увеличивало ее на целый МэВ. Вопрос о том, каким окажется  ${}^{10}\text{He}$  – еще более стабильным, или его устойчивость начнет уменьшаться, оставался открытым три десятилетия. Сегодня вопрос решен, показано, что ядра от  ${}^5\text{He}$  до  ${}^{10}\text{He}$  образуют т.н. «гелиевую аномалию», оказавшуюся уникальным явлением в ядерной физике. Изучение структуры этих ядер продолжает оставаться объектом интенсивных исследований, во-первых потому, что остались и появились новые «белые пятна», требующие дальнейшего анализа, и, во-вторых, потому, что ряд обнаруженных закономерностей носит общий характер для всей области нейтронной границы стабильности.

Если отвлечься от деталей, то диссертация посвящена трем проблемам: свойства нуклонно-нестабильного  ${}^{10}\text{He}$ , спектроскопия всех трех изотопов  ${}^{6,8,10}\text{He}$  и вопросы динамики синтеза этих ядер. Забегая вперед, сразу следует сказать, что «изюминкой» в обсуждаемой работе явилось применение совершенно нового подхода к постановке эксперимента. Автор «соединил» пучок радиоактивных ядер  ${}^8\text{He}$  с газовой тритиевой мишенью. Независимо от получаемых результатов, само по себе создание такой успешно работающей комбинации является достижением высочайшего уровня. Ее использование позволило реализовать процесс передачи двух нейтронов из тритона на налетающие ядра  ${}^8\text{He}$ . Аналогичная схема была применена и при исследовании  ${}^8\text{He}$ : пучок  ${}^6\text{He}$  плюс  ${}^3\text{H}$ . Особенности экспериментальной методики и, в частности, характеристики фрагмент-сепаратора АКУЛИНА и уникальной криогенной тритиевой мишени описаны в диссертации весьма подробно, что делает последнюю неплохим справочником по экспериментам такого типа.

Проведенное в диссертации исследование реакции  ${}^3\text{H}({}^8\text{He}, p){}^{10}\text{He}$  показало, что основное состояние  ${}^{10}\text{He}$  расположено при энергии возбуждения 2.1 МэВ и имеет ширину около 2 МэВ. Этот результат демонстрирует определенное противоречие с данными, полученными в реакции фрагментации и двойной перезарядки. В начале 90-х годов прошлого столетия практически одновременно в экспериментах, проведенных в Японии и Германии, был обнаружен резонанс с энергией около 1

МэВ. Близкие по значениям полученной энергии, эти результаты, вместе с тем, отличались в значениях ширины основного состояния.

Несмотря на заметное различие, его не следует драматизировать, и значительная часть диссертационной работы посвящена его обсуждению. Подобное противоречие носит общий характер и относится не только к  $^{10}\text{He}$ , но и к другим широким состояниям ядер, расположенных за границей нейтронной стабильности, таким как  $^{4,5}\text{H}$  и  $^9\text{He}$ . Утверждение, которое часто используется для обоснования применения реакций выбивания нуклонов или кластеров для получения и исследования несвязанных ядерных состояний за границей нуклонной стабильности, предполагает, что исследуемое состояние «заготовлено» в оболочечной структуре исходного ядра и механизм квазисвободного выбивания при условии достаточно высокой энергии столкновения, наилучшим образом «выявляет» искомое состояние. Области усиления сечения в спектрах энергии возбуждения таких ядерных систем, как  $^{5,7}\text{H}$  и  $^{10}\text{He}$ , которые наблюдаются при удалении протона, соответственно, из  $^{6,8}\text{He}$  и  $^{11}\text{Li}$ , в таком подходе интерпретируются как проявление свойств конечного состояния, обусловленных только его структурой, и при этом свободных от влияния механизма реакции. Все эти вопросы подробно рассмотрены в диссертации. Не следует также забывать, что все данные, относящиеся к  $^{10}\text{He}$  и сверхтяжелым изотопам водорода, получены на пределе экспериментальных возможностей, и в настоящее время их следует рассматривать как равноправные. Данные, полученные соискателем, прежде всего доказывают, что синтез  $^{10}\text{He}$ , осуществленный совершенно новым и независимым путем, приводит качественно к известному результату, подтверждая его достоверность.

Измерение угловых и энергетических корреляций продуктов распада  $^{10}\text{He}$  позволило определить спины и четности основного и возбужденных состояний. Важнейшим результатом этого спектрометрического исследования явилось установление необычного порядка их заселения, когда первым заселяется состояние со спином и четностью  $J^\pi=1^-$  (энергия около 2 МэВ), а затем состояние  $2^+$ . До сих пор эта аномалия была известна для ядер, близких к границе нейтронной стабильности, напр.,  $^{11}\text{Li}$  с таким же числом нейтронов  $N=8$ . Ее наблюдение для несвязанного ядра  $^{10}\text{He}$  может иметь особый интерес при обсуждении таких экзотических конфигураций, как «динейтронный конденсат», типа предложенного Канада-Эньо.

Помимо исследования  $^{10}\text{He}$ , были получены данные о других ядрах «аномальной» цепочки -  $^8\text{He}$  и  $^6\text{He}$ . В низкоэнергетической части спектра  $^8\text{He}^*$  наблюдалось заселение известных основного ( $J^\pi=0^+$ ), и первого возбужденного состояний  $^8\text{He}$  ( $J^\pi=2^+$ ). К сожалению, невысокий уровень статистики, полученный в эксперименте, не позволил получить информацию о корреляциях продуктов распада этого ядра, с помощью которой можно было бы сделать заключение о спинах и четностях наблюдаемых состояний. В частности, корреляционные измерения могли бы подтвердить интересный вывод о возможном наблюдении мягкой моды дипольного возбуждения  $^8\text{He}$ .

В данном контексте также вызывает интерес роль взаимодействия в конечном состоянии, которое может оказывать существенное влияние на угловые и энергетические корреляции продуктов распада изучаемой системы. Эти проблемы рассматриваются на примере реакции квазисвободного рассеяния на  $\alpha$ -частице, связанной в  ${}^6\text{He}$ . В результате проведенных исследований было показано, что при относительно невысокой энергии налетающего  ${}^6\text{He}$  доминирующим механизмом являются реакции на виртуальных частицах, в частности, квазисвободное рассеяние на связанной  $\alpha$ -частице. При этом корреляции частиц, составляющих спектатор, в реакции  ${}^4\text{He}({}^6\text{He}, 2\alpha)2n$ , в основном, определяются особенностями волновой функции начального состояния. Это означает, что наблюдение пика в спектре конечного состояния, полученного в реакции выбивания, далеко не обязательно является проявлением структуры исследуемой системы. Отсюда следует, что окончательные выводы в экспериментах такого рода требуют дополнительного анализа угловых и энергетических корреляций продуктов распада ядерной системы.

Соискатель продемонстрировал хорошее знание многочисленных работ, имеющих отношение к исследуемой проблеме. Мне понравилось Введение, в котором ясным языком, не перегружая читателя избытком конкретной информации, изложены основные факты и описание методов.

Существенных недостатков в диссертации, особенно, в проведении самих экспериментов, я не обнаружил. На мой взгляд, следовало бы включить в обзор хотя бы краткое упоминание результатов по нечетным ядрам,  ${}^7,9\text{He}$ , являющихся членами той же самой аномальной цепочки. При сравнении методов синтеза  ${}^{10}\text{He}$  стоило бы упомянуть о методе измерения инвариантной массы, который снимает многие неопределенности, о которых в диссертации идет речь, тем более, что он реально был применен в одном из экспериментов. Однако эти недостатки никоим образом не снижают ценности выполненной работы.

В целом диссертация С.И. Сидорчука производит очень хорошее впечатление. Она выполнена на очень высоком экспериментальном уровне, свидетельствующем о научной зрелости и высокой квалификации соискателя. Текст написан хорошим литературным языком, представленный в диссертации материал достаточно полно иллюстрирован.

Диссертация С.И. Сидорчука удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Автореферат соответствует тексту диссертации.

По итогам проведенных исследований С.И. Сидорчук заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 «физика атомного ядра и элементарных частиц».

Доктор физико-математических наук,  
профессор

  
А.А. Оглоблин

*Поздравляю Оглоблина А.А. с защитой*

*Зам. дир. ИЯР*

*Уч. секретарь дис. совета Д.72*



*А.А. Оглоблин* / *Поздравляю А.А.?* / 3