

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Фомичева Андрея Сергеевича
“ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР С Z < 20
НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ DRIBs”,
представленную к защите на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук по
специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертация Фомичева А.С. посвящена разработке и применению новых экспериментальных методов для исследования легких экзотических ядер, в частности ^6He , ^6Li , ^6Be , ^{17}Ne , ^{26}P , ^{26}S , ^{27}S на установке DRIBs (Dubna Radioactive Ion Beams). Актуальность работы определяется мировым интересом к изучению свойств ядер за границами ядерной стабильности. Такие ядра обладают структурой с индивидуальными квантовыми состояниями и их исследования существенно расширяют как фундаментальные, в частности, астрофизические знания, так и помогают решать прикладные задачи, например, связанные с радиационным материаловедением.

Большинство полученных автором результатов являются новыми и имеют большое научное и практическое значение. Актуальность, новизна и практическая ценность диссертации не вызывают сомнения. Ее достоверность подтверждается широкой апробацией полученных результатов.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, 2-х приложений и списков цитируемых работ.

Во введении дан краткий обзор по исследованию ядер вблизи и за границами ядерной стабильности, а также об особенностях ядерной структуры экзотических систем. Обоснована актуальность проводимых исследований и развивающихся методик.

В первой главе изложены методики, связанные с проведением экспериментов на пучках радиоактивных изотопов в широком диапазоне энергий, перечислены основные центры, где ведутся эксперименты с радиоактивными пучками, включая комплекс DRIBs в ЛЯР ОИЯИ.

В второй главе представлены 5 разделов, в каждом из которых описаны детали экспериментов с радиоактивными и стабильными пучками на комплексе DRIBs. В каждом опыте были применены оригинальные методы и подходы, позволившие получить новую информацию о структуре и свойствах изотопов ^6He , ^6Be , ^{17}Ne , ^{26}P , $^{26,27}\text{S}$.

В третье главе описаны реализуемые и планируемые проекты в рамках тематики диссертации, изложена долгосрочная программа исследований на сепараторах АКУЛИНА, АКУЛИНА-2 и Super-FRS в рамках проекта EXPERT, показаны перспективы совместных исследований на пучках радиоактивных изотопов в ЛЯР ОИЯИ и GSI FAIR (Дармштадт, Германия).

В приложении 1 дана информация о современном состоянии исследований свойств ядер вблизи границ нуклонной стабильности.

Приложение 2 содержит информацию о блок-схемах электроники и детекторах, используемых в опытах на комплексе DRIBs.

В заключении сформулированы основные результаты работы. Среди наиболее важных можно выделить следующие:

1. Получена информация о критическом угловом моменте, коэффициенте диффузности, сечениях испарения нейтронов и сечении слияния для реакций $^{165}\text{Ho}(^6\text{Li}, 5\text{n})^{166}\text{Yb}$ и



2. Измерен спектр возбуждений ядра ${}^6\text{Be}$ с высокой статистикой и хорошим энергетическим разрешением. Впервые в этом спектре обнаружено заселение изовекторной мягкой дипольной моды (ИВМДМ) с энергией возбуждения $E_T > 4$ МэВ. Явление ИВМДМ отвечает заселению широкого спектра состояний со спином/чётностью $J^\pi = \{0^-, 1^-, 2^-\}$.

3. Методы идентификации заряженных частиц (ΔE -ToF, ΔE -E) развиты и применены для задачи поиска изотопа ${}^{26}\text{S}$ среди продуктов реакции фрагментации ${}^{32}\text{S}(50.3 \text{ МэВ}/\text{нуклон}) + \text{Be}$. В результате исследований экспериментально установлен новый предел на время жизни ${}^{26}\text{S}$: $T_{1/2} < 79$ нс, отличающийся от известных литературных данных более чем на 5 порядков (≈ 10 мс). На основании данных эксперимента и теоретических расчётов сделана оценка для величины $Q_{2p}({}^{26}\text{S})$: $Q_{2p} > 640$ кэВ.

4. Метод ОВПК получил дальнейшее развитие за счёт модернизации систем идентификации частиц и сбора данных, что позволило эффективно работать с пучком РИ невысокого качества очистки от примесей. Проведено изучение редких веток распада изотопов ${}^{26}\text{P}$ и ${}^{27}\text{S}$, имеющих отношение к астрофизике; получены новые более точные значения для вероятностей ветвления по каналам βp , $\beta 2p$ и β_{tot} , которые оказались в 3 и более раз отличными от литературных значений. Показаны преимущества метода имплантации исследуемых изотопов в ОВПК по сравнению с методом телескопа, состоящего из кремниевых детекторов.

5. Предложен и реализован новый эффективный метод исследования $2p$ -распада первого возбуждённого уровня ядра ${}^{17}\text{Ne}$, образующегося в реакции ${}^1\text{H}({}^{18}\text{Ne}, d){}^{17}\text{Ne}^*$ при энергии $E({}^{18}\text{Ne}) = 35$ МэВ/нуклон. Метод, получивший название комбинированной массы, позволил получить достаточно высокое энергетическое разрешение в эксперименте при высокой светимости. Для ветви $2p$ -распада ${}^{17}\text{Ne}$ ($3/2^-$) был получен новый предел отношения $\Gamma_{2p}/\Gamma_\gamma < 1.6(3)\times 10^{-4}$, который оказался в ~ 50 раз ниже, чем литературные данные. Метод может быть применён к другим изотопам, находящимся вблизи точек ожидания rp -процесса (${}^{20}\text{Mg}$, ${}^{38}\text{Ca}$ и др.).

В целом диссертация А.С.Фомичева представляет значительный вклад в исследование природы легких нестабильных экзотических ядер. Диссертация хорошо иллюстрирована графическим материалом. Ее выводы хорошо обоснованы. Она представляет собой ценный научный труд. По результатам, связанным с разработкой экспериментальных методов, замечаний нет. Однако, по части интерпретации полученных физических данных, которые занимают весьма значительный объем диссертации, замечания есть.

Основное замечание касается интерпретации мягкой изовекторной моды гигантского резонанса в спектре возбуждений ядра ${}^6\text{Be}$. Как известно из фотоядерных исследований, максимум этого резонанса в легких ядрах лежит при энергии около 30 МэВ, что примерно на порядок выше, чем получено в настоящей работе. Это требует пояснений. Следует отметить, что при низких энергиях фотонов в последние годы также обнаружены новые моды коллективных возбуждения ядер, которые получили название "пигми-резонансов". Однако, сравнения и анализа данных, полученных в разных реакциях, в диссертации не приводится. Даже терминология ("мягкая" мода и "пигми" резонансы) существенно различаются. Использование термина «континуум» для описания резонансной кривой некорректно. Сила $E1$ -перехода в фотоядерных реакциях определяется через радиационную силовую функцию и т.д. Приведенные данные по кулоновской диссоциации релятивистских ионов ${}^6\text{Be}$ также вызывают много вопросов с точки зрения фотоядерной постановки задачи (непрерывный спектр виртуальных фотонов). Таким образом, приведенный результат пока следует считать только базой для дальнейших исследований.

В этой связи вопрос о результатах исследований автора на DRIBs можно поставить шире. Поскольку одной из задач являлось изучение мультифрагментации ядер, в частности,

одновременного испускания нескольких протонов, то следовало бы упомянуть для сравнения результаты, например, полученные и опубликованные недавно по этой теме на пучках фотонов в эксперименте GRAAL. Особо следовало бы отметить проекты по изучению структуры нестабильных экзотических ядер на встречных пучках электронов и релятивистских ионов (ELISe и др.). Таким образом, автору следовало бы продемонстрировать более широкий кругозор по изучаемой теме. Тем более, что в диссертации есть отдельное приложение по современным представлениям о границах стабильности атомных ядер.

В целом представленная работа выполнена на высоком научном уровне и содержит значительное количество новых научных результатов. Диссертация А.С.Фомичева представляет собой законченное исследование, имеющее большое значение для рассматриваемой области физики и отражает новое важное научное направление.

Личное участие автора в работах, составляющих основу диссертации, является определяющим. Автор принимал непосредственное участие в разработке и реализации новых методов, используемых при проведении экспериментов с радиоактивными и стабильными пучками на комплексе DRIBs. Автор участвовал в планировании, организации и проведении экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных. Большой вклад был сделан в развитие различных детекторных систем и электроники, а также в систему сбора данных в стандарте VME. Под непосредственным руководством автора была построена новая установка фрагмент-сепаратор АКУЛИНА-2, физический пуск которой состоялся в 2016 году; разработана программа исследований с радиоактивными пучками на этой установке. Автор принимал активное участие в развитии международного сотрудничества, в частности, в рамках коллaborации Super-FRS была подготовлена техническая документация (TDR) для проекта EXPERT (документ утвержден эксперты советом FAIR в июле 2017).

Объем диссертации составляет 111 страниц, включая 52 рисунка и 8 таблиц. Список литературы включает в себя 133 наименования.

Автореферат полностью и правильно отражает основное содержание диссертации. Работы А.С.Фомичева широко обсуждались на российских и международных конференциях и семинарах. Они хорошо известны специалистам.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор Фомичев Андрей Сергеевич заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 (Приборы и методы экспериментальной физики).

Заведующий лабораторией фотоядерных реакций
ИЯИ РАН,
доктор физико-математических наук,
профессор

В.Г.Недорезов

Подпись В.Г.Недорезова заверяю:
Ученый секретарь ИЯИ РАН,
к.ф.-м.н.

А.В.Вересникова

запись директора ЧЯИ



Г.И. Пурис