

Утверждаю  
Директор ЛЯР ОИЯИ,  
Профессор С.Н. Дмитриев



26 декабря 2017 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ Научно-технического совета Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ

по диссертационной работе **Фомичева Андрея Сергеевича** «Экспериментальные исследования экзотических ядер с  $Z < 20$  на ускорительном комплексе DRIBs», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа была выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ за период 2006-2017 гг.

Основные результаты работы были представлены Фомичевым А.С. на общелабораторном семинаре ЛЯР 20 декабря 2017 г., на котором присутствовали 37 сотрудников из различных подразделений ОИЯИ. По результатам обсуждения представленных материалов было подготовлено **следующее заключение:**

Эффективные исследования короткоживущих систем, находящихся вблизи границ ядерной стабильности, возможны лишь в ядерных реакциях с пучками стабильных и радиоактивных изотопов и с использованием современных эффективных экспериментальных методик. Представленная работа посвящена развитию техники физического эксперимента на комплексе DRIBs с целью получения и изучения свойств экзотических систем с зарядом  $Z < 20$  ( ${}^6\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^6\text{Be}$ ,  ${}^{17}\text{Ne}$ ,  ${}^{26}\text{P}$ ,  ${}^{26,27}\text{S}$ ).

Актуальность исследований определяется следующим:

- для легких систем ( $Z < 20$ ) границы нуклонной стабильности более доступны для получения ядер в этой области, но несмотря на это, свойства этих систем все ещё остаются малоизученными;
- проводимые исследования представляют интерес не только для фундаментальной ядерной физики, но и для ядерных приложений-астрофизики, материаловедения и др.;



- ускорительный комплекс DRIBs в ЛЯР ОИЯИ является единственной функционирующей экспериментальной площадкой в России, позволяющей проводить исследования с радиоактивными пучками на мировом уровне;
- для получения новой экспериментальной информации о свойствах ядер вблизи границ нуклонной стабильности необходимо разрабатывать и использовать новые методы и подходы. Поэтому этим вопросам было уделено особое внимание в данной работе;

### **Научная новизна и практическая ценность работы.**

1. Созданы базовые условия для проведения экспериментов с радиоактивными пучками на комплексе DRIBs в ЛЯР ОИЯИ – устройства для получения, очистки и мониторинга пучка радиоактивных ядер, современные детектирующие системы, современные системы сбора и анализа полученных данных.

2. Разработаны и реализованы новые экспериментальные методики для постановки опытов с радиоактивными и стабильными пучками в диапазоне энергий  $E \sim 10 \div 35$  МэВ/нуклон. С их помощью была получена новая информация о тяжелых продуктах ядерных реакций с использованием пучков ядер  ${}^6\text{He}$  и  ${}^6\text{Li}$ . Создана методика исследования высоколежащих уровней ( $E_T > 4$  МэВ) в спектре возбуждения ядра  ${}^6\text{Be}$ . Разработан метод определения выходов редких каналов протонного распада возбужденных состояний ядер, использованный для поиска ветви  $2p$ -распада первого возбужденного состояния  ${}^{17}\text{Ne}$ . Адаптирована методика оптической время-проекционной камеры для изучения процессов эмиссии запаздывающих протонов ядрами  ${}^{26}\text{P}$  и  ${}^{27}\text{S}$ ; д). Разработана методика поиска неизвестных ядер на границе протонной стабильности, применённая для получения данных о радиоактивном распаде изотопа  ${}^{26}\text{S}$ .

3. Разработанные методы будут использованы для проведения экспериментов на ускорительных комплексах У-400М/АКУЛИНА-2 и SIS-100/Super-FRS для изучения ядер у границ нуклонной стабильности на качественно новом уровне.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Разработка и применение новых методов проведения экспериментов с радиоактивными и стабильными пучками с целью получения новой информации об экзотических ядрах, а именно:

а) изучение реакций полного и неполного слияния для систем  ${}^6\text{He}(64 \text{ МэВ}) + {}^{166}\text{Er}$  и  ${}^6\text{Li}(58 \text{ МэВ}) + {}^{165}\text{Ho}$  с идентификацией составного ядра в выходном канале посредством регистрации двойных и тройных совпадений  $\gamma\text{-}\gamma$ ,  $\gamma\text{-}\gamma\text{-}n$ ,  $\gamma\text{-}p$ ,  $\gamma\text{-}\gamma\text{-}d$ ,  $\gamma\text{-}\gamma\text{-}\alpha$ ;

б) корреляционный анализ экспериментальных данных для продуктов распада ядерной системы  ${}^6\text{Be}$ , полученной в реакции перезарядки  ${}^1\text{H}({}^6\text{Li}, {}^6\text{Be})n$ ;

в) прямая проверка теоретических предсказаний о времени жизни  ${}^{26}\text{S}$  из данных эксперимента по имплантации радиоактивного пучка в кремниевый телескоп;



г) безфоновое изучение каналов  $\beta p$ ,  $\beta 2p$  и  $\beta_{tot}$  при распаде изотопов  $^{26}\text{P}$  и  $^{27}\text{S}$  в рабочем объёме оптической время-проекционной камеры;

д) метод комбинированной массы, применённый для регистрации продуктов реакции  $^1\text{H}(^{18}\text{Ne},d)^{17}\text{Ne}^*$ , позволивший получить новый предел соотношения  $\Gamma_{2p}/\Gamma_{\gamma} < 1.6(3) \times 10^{-4}$  для уровня  $(3/2^-)$  ядра  $^{17}\text{Ne}$ .

*Все перечисленные методы для изучаемых ядер были применены впервые.*

2. Разработка программы исследований на комплексе У-400М/АКУЛИНА-2. Это поиск и изучение новых видов распада – одновременная эмиссия 4-х нейтронов ( $4n$ ), двух протонов ( $2p$ ) и двух нейтронов ( $2n$ ) для ядерных систем, находящихся за границей стабильности ( $^7\text{H}$ ,  $^{13}\text{Li}$ ,  $^{11}\text{O}$ ,  $^{17}\text{Ne}$ ,  $^{26}\text{S}$ ).

3. Формирование перспективной научной программы и изготовление новых инновационных детекторных систем (микростриповые кремниевые телескопы, радиационно-стойкие быстродействующие кремниевые детекторы, гамма-детекторы, нейтронный детектор высокого углового разрешения) для проведения первых экспериментов на фрагмент-сепараторе Super-FRS (ГСИ, Дармштадт) в рамках проекта FAIR (установка EXPERT).

#### **Апробация диссертационной работы.**

Результаты диссертации были представлены автором на многих международных и национальных конференциях, сессиях ПКК ОИЯИ, совещаниях и семинарах, в том числе:

- Международная конференция «ЯДРО-2006», 4-8 сентября 2006, Саров, Россия
- Int. Conference EURORIB'08, June 9-13, 2008, Giens, France
- The Fifth Int. Conference on Exotic Nuclei and Atomic Masses (ENAM), September 7-13, 2008, Ryn, Poland
- Int. Conference "New Opportunities in the Physics Landscape at CERN", May 10-14, 2009, Geneva, Switzerland
- Dubna NuSTAR meeting, October 5-10, 2009, Dubna
- Int. Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy", June 7 - 12, 2010, Kyiv, Ukraine
- Int. Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS – 2011) May 29 – June 3, 2011, Leuven, Belgium
- KLFTP-BLTP Joint Workshop on Nuclear Physics, 6-8 сентября 2011, Пекин, Китай
- Int. Conf. EURORIB'2012, 20-26 мая 2012, Абано Терме, Италия
- Int. Conf. on Nuclear Struct. & Related Topics, July 2-7, 2012, Dubna
- VIII TOURS Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics, September 1-8, 2012, Black Forest, Germany
- 6th APCTP-BLTP JINR Joint workshop, October 8-10, 2012, Pohang, Korea
- NuSTAR week 2013, October 6-10, 2013, Helsinki, Finland
- 5-th Int. Expert Meeting of Fragment Separators, December 10-12, 2013, RIKEN, Japan
- Super-FRS Coll. Meeting, October 23-25, 2013, Walldorf, Germany
- Super-FRS Coll. Meeting, February 27-28, 2014, Walldorf, Germany



- Int. Symp. on Exotic Nuclei (EXON-2014), 8-13 сентября 2014, Калининград, Россия
- Int. Conf. on Nuclear Structure & Related Topics, July 14-18, 2015, Dubna
- JINR PACs for Nuclear Physics, January 21, 2016; June 14, 2017, Dubna и некоторых других семинарах и рабочих совещаниях.

**Личный вклад автора.**

Личное участие автора в работах, составляющих основу диссертации, является определяющим. Под руководством и при непосредственном участии автора проведена разработка новых методов проведения экспериментов с радиоактивными и стабильными пучками, ставших основой для реализации широкой экспериментальной программы изучения экзотических ядер с  $Z < 20$  на ускорительном комплексе DRIBs. Автор участвовал в планировании, организации и проведении данных экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных. Большой вклад был сделан в развитие различных детекторных систем и электроники, а также в систему сбора данных.

Всего автором по теме диссертации опубликованы более 30 работ в изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 15 работ вынесены на защиту.

Диссертация Фомичева А.С. «Экспериментальные исследования экзотических ядер с  $Z < 20$  на ускорительном комплексе DRIBs» удовлетворяет всем условиям диссертации, представляемой на соискание учёной степени доктора физико-математических наук и рекомендуется к защите по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Дубна, 26 декабря 2017 г.

В.К. Утенков  
Председатель НТС ЛЯР