

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.06
созданного на базе Объединённого института ядерных исследований
(международная межправительственная организация)

по диссертации на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 11 февраля 2019 г. № 251
о присуждении **Фомичеву Андрею Сергеевичу**, гражданину России ученой степени доктор физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальные исследования экзотических ядер с $Z < 20$ на ускорительном комплексе DRIBs» по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 19 января 2018, протокол № 245 диссертационным советом Д720.001.06 на базе международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований, 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6.

Соискатель Фомичев Андрей Сергеевич 1963 года рождения диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Экспериментальные методы для исследований с радиоактивными пучками в диапазоне энергий 1-65 МэВ/нуклон» защитил в 1996 году в диссертационном совете Д 047.01.05 на базе международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований, 141980, г. Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, д. 6. Работает в международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова, 141980 г. Дубна Московской обл. ул. Жолио Кюри, д. 6 с 1986 года, с 2008-го года по настоящее время начальником сектора.

Диссертация выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова в международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований, 141980 г. Дубна Московской обл. ул. Жолио Кюри, д. 6.

Официальные оппоненты: Сакута Станислав Борисович, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории отделения ядерной физики и пучковых технологий, Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный Исследовательский Центр "Курчатовский Институт", Алхазов Георгий Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики элементарных частиц, Федеральное государственное бюджетное учреждение "Петербургский институт ядерной физики" НИЦ " Курчатовский институт" и Недорезов Владимир Георгиевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией фотоядерных реакций, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, г. Санкт-Петербург в своём положительном заключении (отзыв подготовлен на основании заседания научного семинара 25.06.2018 отделения твердотельной электроники ФТИ с участием астрофизического отдела и циклотронной лаборатории, Алешиным А.Н., председателем семинара, доктором физико-математических наук и Малышкиным В.Г., секретарем семинара, кандидатом физико-математических наук), утвержденным ВРИО директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, доктором физико-математических наук, С.В. Лебедевым отметила, что диссертация А.С. Фомичева посвящена развитию техники физического эксперимента на комплексе DRIBs (Дубненский комплекс радиоактивных пучков) с целью получения новой информации о свойствах экзотических систем с зарядом $Z < 20$ (${}^6\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^6\text{Be}$, ${}^{17}\text{Ne}$, ${}^{26}\text{P}$, ${}^{26,27}\text{S}$). К основным результатам работы можно отнести создание современных установок для получения пучков радиоактивных ядер, разработку методики для проведения экспериментов с радиоактивными и стабильными пучками в диапазоне энергий $E \sim 10 \div 35$ МэВ/А, алгоритмы для анализа сложных корреляционных

спектров продуктов распада экзотических ядерных систем. Эффективность разработанных методик была продемонстрирована при исследовании реакций с участием ядер ${}^6\text{He}$ и ${}^6\text{Li}$, имеющих необычную структуру в виде нейтронного гало и дейтонного кластера, соответственно; изучении спектра возбуждения изотопа ${}^6\text{Be}$ в широком диапазоне энергий; получении новых данных о слабых ветках распада возбуждённых состояний ядер ${}^{17}\text{Ne}$, ${}^{26}\text{P}$ и ${}^{26,27}\text{S}$.

Научная новизна работы заключается в создании новых и развитии существующих методик для проведения экспериментов с пучками радиоактивных ядер на высоком уровне. Наличие именно этого компонента в исследованиях позволило получить уникальные данные о свойствах целого ряда экзотических систем, что в настоящее время определяет перспективу развития этого направления в исследованиях на комплексе DRIBs.

Важно отметить и то, что тема работы и ее результаты имеют свое продолжение в виде совместного участия ФТИ и ОИЯИ в проекте международном FAIR (Дармштадт, Германия). Это относится к методам диагностики радиоактивных пучков на фрагмент сепараторах SuperFRS и АКУЛИНА-2, совместных экспериментах в рамках подпроекта EXPERT коллаборации NuSTAR@FAIR.

Представленная диссертация соответствует специальности – 01.04.01 приборы и методы экспериментальной физики. Тема работы и цели, сформулированные автором, в полной мере раскрыты, результаты опубликованы в известных журналах и доложены на многочисленных конференциях.

Соискатель имеет 141 опубликованную работу, более 1700 цитирований, h-индекс = 24, в том числе по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях опубликована 31 работа.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Григоренко Л.В., Головков М.С., Крупко С.А., Сидорчук С.И., Тер-Акопьян Г.М., Фомичев А.С., Худоба В., *Исследования легких экзотических ядер вблизи границы стабильности в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ*, Успехи физических наук

186 №4 (2016) 337-386.

2. A.S. Fomichev, V. Chudoba, A.V. Daniel, M.S. Golovkov, V.A. Gorshkov, S.A. Krupko, Yu.Ts. Oganessian, G.S. Popeko, S.I. Sidorchuk, R.S. Slepnev, G.M. Ter-Akopian, R. Wolski, V.I. Chepigin, D.E. Katrasev, O.N. Malyshev, A.I. Svirikhin, A.V. Yeremin, Ch. Briançon, K. Hauschild, A. Korichi, M.-H. Ha, F. Hanappe, O. Dorvaux, and L. Stuttge, *Study of complete and incomplete fusion for loosely bound projectiles ${}^6\text{He}$ and ${}^6\text{Li}$ on ${}^{165}\text{Ho}$ and ${}^{166}\text{Er}$ targets*, Physics of Particles and Nuclei Letters, Vol. 9, No. 6–7, (2012) 496-501.
3. A.S. Fomichev, V. Chudoba, I.A. Egorova, S.N. Ershov, M.S. Golovkov, A.V. Gorshkov, V.A. Gorshkov, L.V. Grigorenko, G. Kaminski, S.A. Krupko, I.G. Mukha, Yu.L. Parfenova, S.I. Sidorchuk, R.S. Slepnev, L. Standyło, S.V. Stepantsov, G.M. Ter-Akopian, R. Wolski, M.V. Zhukov, *Isovector soft dipole mode in ${}^6\text{Be}$* , Phys. Lett. B **708** (2012) 6-13.
4. A.S. Fomichev, I.G. Mukha, S.V. Stepantsov, L.V. Grigorenko, E.V. Litvinova, V. Chudoba, I.A. Egorova, M.S. Golovkov, A.V. Gorshkov, V.A. Gorshkov, G. Kaminski, S.A. Krupko, Yu.L. Parfenova, S.I. Sidorchuk, R.S. Slepnev, G.M. Ter-Akopian, R. Wolski, M.V. Zhukov, *Lifetime of ${}^{26}\text{S}$ and a limit for its $2p$ decay energy*, Int. Journal of Modern Phys. E **20** (2011) 1-18.
5. Ł. Janiak, N. Sokołowska, A.A. Bezbakh, A.A. Ciemny, H. Czyrkowski, R. Dabrowski, W. Dominik, A.S. Fomichev, M.S. Golovkov, A.V. Gorshkov, Z. Janas, G. Kaminski, A.G. Knyazev, S.A. Krupko, M. Kuich, C. Mazzocchi, M. Mentel, M. Pfützner, P. Plucinski, M. Pomorski, R.S. Slepnev, and B. Zalewski, *Beta-delayed proton emission from ${}^{26}\text{P}$ and ${}^{27}\text{S}$* , Phys. Rev. C **95** (2017) 034315, pp.1-9.
6. P.G. Sharov, A.A. Bezbakh, V. Chudoba, I.A. Egorova, A.S. Fomichev, M.S. Golovkov, T.A. Golubkova, A.V. Gorshkov, L.V. Grigorenko, G. Kaminski, A.G. Knyazev, S.A. Krupko, M. Mentel, E.Yu. Nikolskii, Yu.L. Parfenova, P. Pluchinski, S.A. Rymzhanova, S.I. Sidorchuk, R.S. Slepnev, S.V. Stepantsov, G.M. Ter-Akopian, R. Wolski, M.V. Zhukov, *Search for $2p$ decay of the first excited state of ${}^{17}\text{Ne}$* , Phys. Rev C **96** (2017) 025807, pp.1-8.

7. R.S. Slepnev, A.A. Bezbakh, V. Chudoba, A.V. Daniel, M.S. Golovkov, A.S. Fomichev, A.V. Gorshkov, V.A. Gorshkov, S.A. Krupko, G. Kaminski, M. Mentel, P. Pluciński, S.I. Sidorchuk, *VME based DAQ in the experiments at ACCULINNA*, Instruments and Experimental Techniques, Vol. **55**, No. 6, (2012) pp. 645–650.
8. V. Eremin, A. Bezbakh, I. Eremin, N. Egorov, A. Fomichev, M. Golovkov, A. Gorshkov, A. Galkin, O. Kiselev, A. Knyazev, D. Kostyleva, S. Krupko, D. Mitina, R. Slepnev, P. Sharov and E. Verbitskaya, *Beam test of full prototypes of silicon detectors for TOF heavy-ions diagnostics in Super-FRS*, Journal of Instrumentations, Vol. **12** (2017) C03001, pp.1-8.
9. L.V. Grigorenko, A.S. Fomichev and G.M. Ter-Akopian, *Light Exotic Nuclei at JINR: ACCULINNA and ACCULINNA-2 Facilities*, Nuclear Physics News, Vol. **24**, №4 (2014) pp.22-27.
10. I. Mukha, L. Grigorenko, X. Xu, L. Acosta, E. Casarejos, A.A. Ciemny, W. Dominik, J. Duenas-Diaz, V. Dunin, J.M. Espino, A. Estrade, F. Farinon, A. Fomichev, H. Geissel, et al., *Observation and spectroscopy of new proton-unbound isotopes ^{30}Ar and ^{29}Cl : an interplay of prompt two-proton and sequential decay*, Phys. Rev. Lett. **115** (2015) 202501, pp.1-7.

В диссертации не выявлены недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, виде, авторского вклада и объеме научных изданий.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их работ в научных кругах, применением в исследованиях наиболее передовых современных методов и технологий.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработаны новые экспериментальные методики для проведения экспериментов с радиоактивными пучками на комплексе DRIBs в ЛЯР ОИЯИ, а именно: системы получения, очистки и мониторинга радиоактивных пучков, новые детектирующие системы, системы сбора и визуализации данных.

Предложенные методы были апробированы в ряде экспериментов на комплексе DRIBs, среди которых:

- 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 $\gamma\text{-}\gamma$, $\gamma\text{-}\gamma\text{-}n$, $\gamma\text{-}\gamma\text{-}p$, $\gamma\text{-}\gamma\text{-}d$, $\gamma\text{-}\gamma\text{-}\alpha$;
- 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) изучение редких каналов (бета-задержанная эмиссия одного или нескольких протонов - βp , $\beta 2p$, $\beta 3p$) при распаде изотопов ${}^{26}\text{P}$ и ${}^{27}\text{S}$ в рабочем объеме 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 ${}^{17}\text{Ne}$.

В результате были получены новые физические результаты для целого ряда экзотических ядер с $Z < 20$: ${}^6\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^6\text{Be}$, ${}^{17}\text{Ne}$, ${}^{26}\text{P}$, ${}^{26}\text{S}$, ${}^{27}\text{S}$.

Соискателем предложена и обоснована долгосрочная программы исследований на комплексе У-400М/АКУЛИНА-2, а именно 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 (${}^7\text{H}$, ${}^{13}\text{Li}$, ${}^{11}\text{O}$, ${}^{17}\text{Ne}$, ${}^{26}\text{S}$). Программа также предусматривает совместное проведение экспериментов на фрагмент-сепараторе Super-FRS в рамках проекта EXPERT с учётом применения новых детекторных систем, таких как микростриповые кремниевые телескопы, радиационно-стойкие быстродействующие кремниевые детекторы, гамма-детекторы, нейтронные детекторы высокого углового разрешения.

Оценка достоверности исследования установлена путем сравнения получен-

ных соискателем результатов с экспериментальными данными, а также подтверждена независимыми исследованиями, выполненными в известных научных центрах. Результаты работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах, входящих в список ВАК, докладывались на более чем 20 национальных и международных конференциях, а также на семинарах в нескольких Лабораториях в мире и хорошо известны специалистам в данной отрасли.

Результаты исследований и разработок уже нашли применение при разработке и создании фрагмент сепараторов АКУЛИНА-2 (ОИЯИ, Дубна, РФ) и Super-FRS (GSI, Darmstadt, Germany), а также в подготовленной программе совместных исследований на этих и аналогичных установках в США и Японии.

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 коллаборации Super-FRS была подготовлена техническая документация (TDR) для проекта EXPERT (документ утверждён экспертным советом FAIR в июле 2017).

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критериям внутренней логики и единства, связывающего части работы, посвященные различным экспериментам, в одно целое, что подтверждается

анализом результатов и сравнением их с экспериментальными данными. Поставленные в работе цели достигнуты, задачи решены на высоком научном уровне.

На заседании 11 февраля 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Фомичеву А.С. учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 18, против присуждения ученой степени - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель совета,
Академик РАН



Ю.Ц. Оганесян

Ю.Ц. Оганесян

Учёный секретарь
диссертационного совета

А.Г. Попеко

А.Г. Попеко

Дата оформления заключения 13 февраля 2019 года