

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.03  
НА БАЗЕ ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 30.06.2014 №525

О присуждении Фоменко Кириллу Александровичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск аксионов, рождаемых в реакции  $p(d, {}^3\text{He})A$  на Солнце, и запрещенных принципом Паули переходов в ядрах  ${}^{12}\text{C}$  на детекторе Борексино» по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 28.04.2014, протокол №524, диссертационным советом Д 720.001.03 на базе Объединенного института ядерных исследований.

Соискатель Фоменко Кирилл Александрович, 1977 года рождения, гражданин РФ, окончил Московский физико-технический институт (государственный университет) по специальности «прикладная математика и физика» в 2000 году. Основное место работы на момент подготовки и защиты диссертации — научный сотрудник Научно-экспериментального отдела физики элементарных частиц Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители — доктор физико-математических наук Дербин Александр Владимирович, Национальный исследовательский центр «Кур-

чатовский институт», Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова (ПИЯФ), кандидат физико-математических наук Смирнов Олег Юрьевич, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ).

Официальные оппоненты:

— Барабаш Александр Степанович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный Научный Центр Российской Федерации Институт Теоретической и Экспериментальной Физики», начальник Лаборатории слабых взаимодействий,

— Копылов Анатолий Васильевич, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт ядерных исследований РАН, заведующий группой Cl-Ag нейтринного телескопа Отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики,

дали положительные заключения о диссертации.

Ведущая организация Курчатовский Центр фундаментальных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», город Москва, в своем положительном заключении, подписанном директором центра фундаментальных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», доктором физико-математических наук, профессором, академиком Панченко Владиславом Яковлевичем указала, что основные результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены впервые, известны специалистам и опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах, а диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 23 опубликованных в ведущих научных изданиях работ в области экспериментальной физики нейтрино и редких процессов, выполненных в составе международной коллаборации Борексино. По теме диссертации опубликовано 3 работы, из них 1 — в журнале, включенном в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций (Ядерная Физика) и 2 — в зарубежных научных изданиях (Physical Review):

1. Дербин А. В., Фоменко К. А. Новые экспериментальные ограничения на вероятности непаулевских переходов в ядре  $^{12}\text{C}$ , полученные на детекторе BOREXINO // Ядерная Физика, 2010, том 73, №12, С. 2110.
2. Bellini G., ... Fomenko K., ... *et. al.* (Borexino Coll.) New experimental limits on the Pauli forbidden transitions in  $^{12}\text{C}$  nuclei obtained with 485 days Borexino data // Phys. Rev., 2010, Vol. C81, P. 034317.
3. Bellini G., ... Fomenko K., ... *et. al.* (Borexino Coll.) Search for solar axions produced in the  $p(d,^3\text{He})A$  reaction with Borexino detector // Phys. Rev., 2012, Vol. D85, P. 092003.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

В отзыве Барабаша А.С. отмечено, что результаты, полученные в диссертации, имеют несомненную научную и практическую ценность. Полученные ограничения на существование аксиона используются экспериментаторами и теоретиками во многих лабораториях мира, а полученные результаты и разработанные методы могут быть использованы при создании установок и проведении экспериментов по поиску редких процессов с детекторами нового типа в подземных лабораториях. Из недостатков диссертации указано,

что обзор по состоянию дел с поиском нарушения принципа Паули не полон: теоретические работы после 1990 года практически не упоминаются, а в обзоре экспериментальных работ не приведены последние результаты американской группы коллаборации VIP.

В отзыве Копылова А.В. отмечено что, хотя эксперимент Борексина проводился силами достаточно большого международного сотрудничества, индивидуальный вклад автора не растворился в общей массе, а был существенен для получения сформулированных в диссертации результатов. Разработанные методы поиска статистически слабо проявившихся пиков рекомендуется использовать в прикладных исследованиях, в частности, связанных с измерениями малой радиоактивности. К недостаткам диссертации отнесено то, что в ряде предложений используются слишком громоздкие, затрудняющие понимание конструкции, и было бы лучше в этих случаях их разбить на 2 или 3 предложения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их экспертной ролью в системе отечественной и мировой науки по тематике диссертационной работы:

Барабаш Александр Степанович — начальник лаборатории Института теоретической и экспериментальной физики. Специалист в области ядерной физики и физики элементарных частиц, автор 385 научных работ, из них 1 монография и 9 авторских свидетельств на изобретение;

Копылов Анатолий Васильевич, старший научный сотрудник Отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики ИЯИ РАН. Область научных интересов связана с солнечными нейтрино, свойствами нейтрино и детекторами нейтрино (сверхнизкофоновыми детекторами). По данной те-

матике им опубликовано более 60 работ;

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», ранее — Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова. В настоящее время НИЦ «Курчатовский институт» является одним из крупнейших научных центров России как по численности, так и по широте научных интересов и экспериментальных возможностей не только в атомной науке и технике, но и в различных областях физики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

— рассчитан поток аксионов с энергией 5.5 МэВ, рождающихся в реакции  $p + d \rightarrow {}^3\text{He} + A$  на Солнце. Получены энергетические спектры для процессов комптоновской конверсии, аксиоэлектрического эффекта, конверсии аксиона в фотон в поле ядра и распада на 2  $\gamma$ -кванта в детекторе Борексина. Проведено моделирование функций отклика детектора для всех четырех каналов методом Монте-Карло;

— вычислены энергии связи для непаулевских состояний ядер с тремя протонами или тремя нейтронами на  $S$ -оболочке, выделены реакции, регистрация которых возможна на детекторе Борексина:  ${}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\tilde{\text{C}} + \gamma$ ,  ${}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\tilde{\text{B}} + p$ ,  ${}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\tilde{\text{C}} + n$ ,  ${}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\tilde{\text{N}} + e^- + \bar{\nu}$  и  ${}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\tilde{\text{B}} + e^+ + \nu$ . Получены функции отклика детектора для вышеперечисленных непаулевских переходов (с излучением  $\gamma$ -квантов и  $p$ -,  $n$ - и  $\beta^\pm$ -частиц) путем моделирования в пакете Geant4;

— в составе экспериментальной группы Борексина проведены серии измерений общей продолжительностью 737.8 суток, выполнены калибровки энергетической шкалы и пространственного разрешения детектора. Созда-

но и модернизировано программное обеспечение для автоматизированного управления сбором данных и мониторинга состояния компонент детектора Борексино. Разработаны и запущены система выявления неисправностей каналов ФЭУ и модуль вывода информации для системы управления электроники;

— установлены оптимальные критерии отбора данных при поиске сигналов, вызванных взаимодействием аксионов. Проведена математическая обработка полученных спектров, заключающаяся в поиске пика с энергией 5.5 МэВ от реакции  $p + d \rightarrow {}^3\text{He} + A$  на Солнце. Получены новые модельно-независимые ограничения на константы связи аксиона с электроном  $g_{Ae}$ , фотоном  $g_{A\gamma}$  и нуклонами  $g_{AN}$ :  $|g_{Ae} \times g_{3AN}| \leq 5.5 \times 10^{-13}$  и  $|g_{A\gamma} \times g_{3AN}| \leq 4.6 \times 10^{-11} \text{ ГэВ}^{-1}$  для массы аксиона  $m_A < 1 \text{ МэВ}$  (90% у.д.). Получены новые ограничения на константы связи  $g_{Ae}$  и  $g_{A\gamma}$  как функций массы аксиона в модели адронного аксиона:  $|g_{Ae} \times m_A| \leq 2.0 \times 10^{-5} \text{ эВ}$  и  $|g_{A\gamma} \times m_A| \leq 1.7 \times 10^{-12}$  (90% у.д.). Данные результаты исключают большую область возможных значений констант связи  $g_{Ae} \in (10^{-11} \dots 10^{-9})$  и  $g_{A\gamma} \in (2 \times 10^{-14} \dots 10^{-7}) \text{ ГэВ}^{-1}$  и масс аксиона  $m_A \in (0.01 \dots 1) \text{ МэВ}$ ;

— выполнен анализ экспериментальных данных с целью поиска сигнала от непаулевских переходов в ядрах  ${}^{12}\text{C}$ . Получены новые, наиболее строгие на настоящий момент, пределы на вероятности непаулевских переходов нуклонов с  $1P_{3/2}$ -оболочки на  $1S_{1/2}$ -оболочку в ядрах  ${}^{12}\text{C}$  с испусканием  $\gamma$ ,  $n$ ,  $p$  и  $\beta^\pm$ -частиц:  $\tau({}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\tilde{\text{C}} + \gamma) \geq 5.0 \times 10^{31} \text{ лет}$ ,  $\tau({}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\tilde{\text{B}} + p) \geq 8.9 \times 10^{29} \text{ лет}$ ,  $\tau({}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{11}\tilde{\text{C}} + n) \geq 3.4 \times 10^{30} \text{ лет}$ ,  $\tau({}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\tilde{\text{N}} + e^- + \bar{\nu}) \geq 3.1 \times 10^{30} \text{ лет}$  и  $\tau({}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\tilde{\text{B}} + e^+ + \nu) \geq 2.1 \times 10^{30} \text{ лет}$  (все для 90% у.д.). На основании полученных пределов на время жизни непаулевских переходов установлены

новые верхние ограничения на относительные интенсивности непаулевских и нормальных переходов:  $\delta_\gamma^2 \leq 2.2 \cdot 10^{-57}$ ,  $\delta_N^2 \leq 4.1 \cdot 10^{-60}$  и  $\delta_\beta^2 \leq 2.1 \cdot 10^{-35}$  (90% у.д.).

Теоретическая значимость исследования определяется результатами выполненного анализа:

— получены новые модельно-независимые ограничения на константы связи аксиона с электроном  $g_{Ae}$ , фотоном  $g_{A\gamma}$  и нуклонами  $g_{AN}$ , а также новые ограничения на константы связи  $g_{Ae}$  и  $g_{A\gamma}$  как функций массы аксиона в модели адронного аксиона;

— получены новые, наиболее строгие на настоящий момент, верхние пределы на вероятности непаулевских переходов нуклонов с  $1P_{3/2}$ -оболочки на  $1S_{1/2}$ -оболочку в ядрах  $^{12}\text{C}$  с испусканием  $\gamma$ ,  $n$ ,  $p$  и  $\beta^\pm$ -частиц;

— установлены новые верхние ограничения на относительные интенсивности непаулевских и нормальных переходов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

— предложенные в работе подходы к анализу результатов, полученных с жидкостинцилляционным детектором большого объема, могут использоваться при проведении фундаментальных исследований, связанных с регистрацией редких реакций и распадов на существующих и планирующихся детекторах;

— разработанные в диссертации пакеты программ могут использоваться для различных целей. В частности, реализованные подходы кроссплатформенного программирования и методика быстрого переноса приложений с систем реального времени (Linux) на пользовательские терминалы под

управлением MS Windows могут быть полезны для широкого круга экспериментов, использующих различные типы рабочих станций.

Оценка достоверности выявила:

— заявленные результаты основываются на экспериментальных данных, полученных на тщательно изученной и откалиброванной экспериментальной установке;

— выводы диссертанта обеспечиваются прозрачной и детально описанной методологией анализа данных эксперимента, подробным указанием источников теоретических и экспериментальных данных, использованных при получении результатов;

— использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в:

— непосредственном участии соискателя в получении исходных данных в научном эксперименте;

— непосредственном участии соискателя в разработке и внедрении технологий и алгоритмов управления сбором данных детектора, калибровках энергетической шкалы и пространственного разрешения детектора, выявлении основных фоновых вкладов в полученных данных;

— личном участии в обработке и анализе полученных исходных данных с использованием современных программных систем и пакетов;

— непосредственном проведении статистических, численных и теоретических расчетов;

— личном участии в апробации результатов исследования в процессе обсуждений на семинарах и рабочих совещаниях Лаборатории ядерных про-



блем ОИЯИ и коллаборации Борексина, докладах автора на научных российских и международных конференциях: «BUE-CTP Conference on Neutrino Physics in the LHC Era» (Luxor, Egypt, 2009), «15 Ломоносовская Конференции по физике элементарных частиц» (Москва, 2011), «CTP: Speakable in quantum mechanics: atomic, nuclear and subnuclear physics tests» (Trento, Italy, 2011);

— подготовке основных публикаций по выполненной работе.


На заседании 30 июня 2014 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что представленная диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Фоменко Кириллу Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени 16, против присуждения ученой степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета Д 720.001.03,

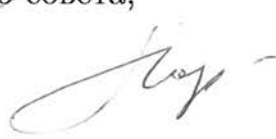
доктор физ.-мат. наук



 Н.А. Русакович.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат физ.-мат. наук

 Г.А. Карамышева.

30 июня 2014 года.