ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.04, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10 июня 2019 г. № 22

О присуждении Зайцеву Андрею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование диссоциации релятивистских ядер 10B, 11C и 12C методом ядерной фотоэмульсии» по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц» принята к защите 8 апреля 2019 года (протокол заседания № 20) диссертационным советом Д002.023.04, созданным 9 ноября 2012 года приказом № 717/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53 (ФИАН).

Соискатель Зайцев Андрей Александрович, 1991 года рождения, в 2014 году с отличием окончил специалитет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Смоленский государственный университет» (СмолГУ) и получил степень специалиста по направлению подготовки 05.02.03 – «Физика с дополнительной специальностью информатика». В 2018 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук по специальности 01.04.16 «Физика атомного ядра и элементарных частиц». Диплом об окончании аспирантуры и справка о сдаче кандидатских экзаменов выданы в 2018 году ФИАН. С августа 2014 года и по настоящее время Зайцев А.А. работает в должности младшего научного сотрудника в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ). С 2017 года и по настоящее время Зайцев А.А. работает по совместительству в должности младшего научного сотрудника в Лаборатории элементарных частиц Отдела физики ядра и элементарных частиц ФИАН.

Диссертация выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Научно-экспериментального отдела физики тяжелых ионов Международной межправительственной организации Объединенного института ядерных исследований.

**Научный руководитель** – Зарубин Павел Игоревич, доктор физико-математических наук, начальник сектора №4 Научно-экспериментального отдела физики тяжелых ионов Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Объединенного института ядерных исследований.

**Официальные оппоненты**:

Демьянова Алла Сергеевна, гражданка РФ, доктор физико-математических наук, начальник Лаборатории ядерных структур Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». (почтовый адрес: 123182 Москва, пл. Академика Курчатова д. 1, тел: +7(499) 196-93-09, e-mail: Demyanova\_AS@nrcki.ru);

Чернышев Борис Андреевич, гражданин РФ, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры №40 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». (почтовый адрес: 115409 Москва, Каширское ш., д. 31, тел: +7 (499) 324-71-05, e-mail: chernyshev@mephi.ru)

дали положительные отзывы на диссертацию и указали, что соискатель Зайцев А.А. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ) (почтовый адрес: 142281, Московская область, г. Протвино, площадь Науки, д.1, тел: +7 (4967) 71-36-23, e-mail: fgbu@ihep.ru) в своем положительном заключении, составленным Садовским Сергеем Анатольевичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ и подписанным Ивановым Сергеем Владиславовичем, доктором физико-математических наук, действующим академиком РАН, директором НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, отметила «высокий методический и экспериментальный уровень работы в целом, а также адекватность выбранной методики поставленным в диссертации задачам. Ряд результатов являются уникальными, поскольку в настоящее время их вообще невозможно получить вне рамок фотоэмульсионной методики», а также заключила, что «диссертация полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц, а ее автор, А.А. Зайцев, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации в российских и зарубежных журналах, индексируемых по базе Scopus (56799871300) и Web of Science (E-1282-2016), в том числе из рекомендованного списка ВАК. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Zaitsev A. A. et al. Dissociation of relativistic 10B nuclei in nuclear track emulsion // Physics of Particles and Nuclei, – 2017. – V.48. – №.6. – pp. 960-963; Зайцев А.А. и др. Диссоциация релятивистских ядер 10B в ядерной эмульсии // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2017. – Т.48 – №6. – С. 919-924.

2. Artemenkov D. A. … Zaitsev A. A. et al. Recent Findings in Relativistic Dissociation of 10B and 12C Nuclei // Few-Body Systems, – 2017 – V.58. – №.2. – pp. 89-92.

3. Artemenkov D. A. … Zaitsev A. A. et al. Charge topology of the coherent dissociation of relativistic 11C and 12N nuclei // Physics of Atomic Nuclei, – 2015. – V.78. – №.6. – pp. 794-799; Артеменков Д. А., Зайцев А.А. и др. Зарядовая топология когерентной диссоциации релятивистских ядер 11C и 12N // Ядерная физика, – 2015. – Т.78. – №.9. – С. 845-850.

4. Artemenkov D. A. … Zaitsev A. A. et al. Study of the Involvement of 8Be and 9B Nuclei in the Dissociation of Relativistic 10C, 10B, and 12C // Phys. Atom. Nuclei, – 2017. – V.80. – №6. – pp. 1126-1132; Артеменков Д. А., Зайцев А.А. и др. Исследование диссоциации релятивистских ядер 10С, 10B и 12C, сопровождаемой ядрами 8Be и 9B // Ядерная физика, – 2017. – Т.80. – №.6. – С. 645-651.

5. Artemenkov D. A., Zaitsev A. A., Zarubin P. I. Search for the Hoyle State in Dissociation of Relativistic 12C Nuclei //Physics of Particles and Nuclei, – 2018. – V.49. – №.4. – pp. 530-539; Артеменков Д.А., Зайцев А.А., Зарубин П.И. Поиск состояния Хойла в диссоциации релятивистских ядер 12C // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2018. – Т.49. – №4. – С. 929-945.

6. .Zaitsev A. A., Zarubin P. I. Application of Nuclear Track Emulsion in Search for the Hoyle State in Dissociation of Relativistic 12C Nuclei // Physics of Atomic Nuclei, – 2018. – V.81. – №.9. – pp. 1237-1243; Зайцев А. А., Зарубин П. И. Применение ядерной эмульсии для поиска состояния Хойла в диссоциации релятивистских ядер 12C // Ядерная физика и инжиниринг, – 2017. – Т.8. – №5. – С. 425-431.

7. Artemenkov D. A. … Zaitsev A. A. et al. Nuclear track emulsion in search for the Hoyle-state in dissociation of relativistic 12C nuclei // Radiation Measurements, – 2018. – V.119. – pp. 199-203.

8. Artemenkov D. A., Zaitsev A. A., Zarubin P. I. Unstable nuclei in dissociation of light stable and radioactive nuclei in nuclear track emulsion // Physics of Particles and Nuclei, – 2017. – V.48. – №.1. – pp. 147-157.

Результаты доложены на 12 международных и российских конференциях, рабочих совещаниях и семинарах, в которых соискатель принял непосредственное участие. Вклад соискателя в эти работы определяющий. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификации научных сотрудников, наличием признанных достижений в области ядерной физики и научного авторитета в крупномасштабных международных экспериментальных проектах.

На диссертацию и автореферат дополнительные отзывы не поступали.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Впервые** экспериментально исследованы особенности кластерной структуры ядер 10B и 11C в процессах релятивистской диссоциации методом ядерных фотоэмульсий по вероятностям образования комбинаций заряженных ядер-фрагментов, в том числе идентификация каналов с распадами нестабильных ядер 8Be и 9B. Полученная таким образом информация позволила дополнить целостную картину эволюции ядерной структуры легких ядер, расположенных в начале таблицы изотопов. Накопленный методический опыт реконструкции событий с релятивистскими распадами нестабильных ядер в ультра узкие струи ядер-фрагментов позволил **впервые** исследовать образование трех α-частиц в состоянии Хойла (второго возбужденного состояния ядра 12C) при диссоциации релятивистских ядер 12С в ядерной фотоэмульсии.

Уникальная детальность наблюдений при рекордном пространственном разрешении обеспечены путем продольного облучения слоев ядерной фотоэмульсии в пучках релятивистских ядер, ускоренных на установках Нуклотрон (ОИЯИ) и бустер ускорителя У - 70 (ИФВЭ).

**Впервые** установлено, что в зарядовой топологии диссоциации релятивистских ядер 10B и 11C превалируют каналы с большой множественностью ядер-фрагментов He и H, при доминировании каналов 2He + H (76%) и 2He + 2H (53%) соответственно. Для ядра 11C установлен новый канал диссоциации на фрагменты Li + He + H, не наблюдавшийся ранее для соседних изотопов ядер углерода.

Для 315 событий 10B → 2He + H получено распределение по инвариантной массе, **впервые** указавшее на то, что в 24 % событий данного канала наблюдаются распады ядер 8Be из основного состояния, являясь при этом продуктом распада ядра 9B в 12 % событий. В случае диссоциации ядра 11C **впервые** установлено, что в каналах 2 He + 2H и 3 He фрагменты являются продуктами распада нестабильного ядра 8Be из основного состояния в 20 % и 25 % событий соответственно. В 13 % событий канала 11C → 2 He + 2H идентифицированы распады ядра 9B.

**Впервые** в диссоциации релятивистских ядер 12С идентифицировано образование троек α-частиц в состоянии Хойла методом ядерных фотоэмульсий и установлена вероятность таких событий на уровне 13 % в двух облучениях, выполненных на синхрофазотроне (3.65 *А* ГэВ) и бустере ускорителя У – 70 ИФВЭ (450 *А* МэВ). Распределение по суммарному поперечному импульсу 3 α-частиц указало на ядерно-дифракционный механизм образования состояния Хойла.

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

**Впервые** реконструированы распады релятивистских ядер 8Be, 9B и 12С в состоянии Хойла, что составляет решение принципиальной методической проблемы исследования структуры легких ядер в сочетании возможностей релятивистской ядерной физики и ядерной эмульсии.

Физический анализ событий в ядерной эмульсии в двух облучениях, выполненных на нуклотроне ОИЯИ в пучках ядер 10B и 11C, позволил убедиться в качестве сепарирующего канала транспортировки пучков для постановки последующих облучений и экспериментов на нуклотроне ОИЯИ.

Используемые в работе вновь воссозданные образцы слоев ядерной фотоэмульсии продемонстрировали свою абсолютную идентичность эмульсии типа БР-2 по всем физическим показателям, что позволяет далее развивать методику и культуру применения слоев ядерной фотоэмульсии в экспериментах, требующих высокое пространственное и энергетическое разрешение для регистрации заряженных частиц.

Выполненный на рекордном уровне точности массив измерений событий диссоциации имеет высокую для фотоэмульсионной методики статистическую обеспеченность и может служить для сравнительного анализа и планирования исследований в этой области на нуклотроне ОИЯИ, а также ускорителях других научных центров (ИФВЭ, ГСИ (Германия), ЦЕРН).

Характеризуя исследование в целом, можно заключить, что получена уникальная по полноте экспериментальная информация о структуре ядер 10B и 11C, которая послужит развитию теории ядерной структуры и станут ориентирами в обосновании новых сценариев синтеза ядер в концепции ядерной астрофизики.

**Достоверность результатов исследования обусловлена тем, что:**

Данное исследование выполнено в рамках эксперимента БЕККЕРЕЛЬ на нуклотроне ОИЯИ. Физическая программа эксперимента БЕККЕРЕЛЬ ориентирована на систематическое изучение кластерной структуры легких ядер, и настоящее исследование ядер 10B и 11,12C является одной из ее принципиальной частей. Эксперимент БЕККЕРЕЛЬ в основном опирается на возможности нуклотрона ОИЯИ по формированию и транспортировке пучков легких релятивистских ядер, включая радиоактивные. Формирование пучков обеспечивается высококлассными специалистами сектора пучков научно-экспериментального отдела нуклотрона ОИЯИ.

С другой стороны – апробированная десятилетиями исследований химико-технологическая и микроскопная база фотоэмульсионного сектора Лаборатории физики высоких энергий имени В.И. Векслера и А.М. Балдина ОИЯИ, работа, которой обеспечивается специалистами в данных областях. Все это позволило передать для анализа автору диссертации первичный экспериментальный материал высокого качества.

**Личный вклад соискателя** состоит в получении исходных данных, определивших содержательную сторону диссертационной работы, а именно в реализации процедур сканирования слоев ядерной фотоэмульсии, ведении журналов фиксации событий, проведении идентификационных и измерительных процедур. При непосредственном участии соискателя была проведена серия облучений слоев ядерной фотоэмульсии на бустере ИФВЭ в медицинском пучке ядер 12C. Также стоит отметить реализованный перечень работ по адаптации расчетных и измерительных процедур в методике ядерных фотоэмульсий к задаче изучения каналов диссоциации ядер 10B и 11,12C. Представленный список опубликованных работ не был бы получен без непосредственного участия автора диссертации в обработке и интерпретации результатов. Приведенный в диссертации иллюстративный материал также является результатом работы соискателя. Стоит отметить, что в перечне семинаров и конференций, на которых представлялись, обсуждались данные, составившие основу диссертационной работы, принадлежат устным и постерным докладам соискателя. Несомненно, работы, осуществленные Зайцевым А.А., главным образом определили результаты исследования по диссоциации релятивистских ядер 10B и 11,12C на ядрах эмульсии в ЛФВЭ ОИЯИ.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

На заседании 10 июня 2019 года диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация Зайцева Андрея Александровича представляют собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п.9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года. На заседании 10 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Зайцеву Андрею Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 22, «против» - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета,

академик, д.т.н. Месяц Геннадий Андреевич

Ученый секретарь диссертационного совета,

д.ф.-м.н. Баранов Сергей Павлович