

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 19 апреля 2021 г. № 36

О присуждении Пятовскому Сергею Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Природа гало в стволах широких атмосферных ливней и доля легких ядер в первичном космическом излучении при  $E_0 = 10$  ПэВ (эксперимент ПАМИР)» по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц» принята к защите 8 февраля 2021 г. (протокол заседания № 35) Диссертационным советом Д002.023.04, созданным 9 ноября 2012 г. приказом № 717/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53 (ФИАН).

Соискатель Пятовский Сергей Евгеньевич, 1968 года рождения, в 1991 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, по специальности «физика» с присвоением квалификации «физика». В 2019 г. зачислен в ФИАН в качестве экстерна и сдал кандидатские экзамены по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц». Справка № 19-19 от 2 декабря 2019 г. о сдаче кандидатских экзаменов выдана Физическим институтом им. П.Н. Лебедева Российской академии наук. Начиная с 1991 г. Пятовский С.Е. проводит активную научную работу в Лаборатории адронных взаимодействий Отдела космических излучений Отделения ядерной физики и астрофизики Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук. В настоящее время Пятовский С.Е. работает в ЛАВ ОКИ ОЯФА Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Отделении ядерной физики и астрофизики Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН).

**Научный руководитель** – Пучков Виталий Сергеевич, кандидат физико-математических наук, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник Лаборатории адронных взаимодействий Отдела космических излучений Отделения ядерной физики и астрофизики Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

**Официальные оппоненты:**

Роганова Татьяна Михайловна, гражданство РФ, доктор физико-математических наук, заведующая Лабораторией теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия и переноса излучений в различных средах Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (почтовый адрес: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, тел.: +7 (495) 939-35-53, e-mail: rogatm@yandex.ru);

Стенькин Юрий Васильевич, гражданство РФ, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики Института ядерных исследований Российской академии наук (почтовый адрес: 117312, г. Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а, тел.: +7 (499) 135-77-60, e-mail: yuri.stenkin@rambler.ru)

дали положительные отзывы на диссертацию и указали, что соискатель Пятовский С.Е. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) (почтовый адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31, тел.: +7 (495) 788-56-99, e-mail: aapetrukhin@mephi.ru) в своем положительном заключении, составленном Петрухиным Анатолием Афанасьевичем, доктором физико-математических наук, профессором, научным руководителем Научно-образовательного центра НЕВОД НИЯУ МИФИ, отметила, что «В целом диссертация Пятовского С.Е. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой получены новые результаты по гало, регистрируемым в эксперименте ПАМИР, и их использованию для оценки состава первичных космических лучей в области ПэВных энергий. Эти

результаты представляют интерес для физики и астрофизики космических лучей и будут использоваться в дальнейших исследованиях космических лучей методом РЭК», а также заключила, что «Диссертационная работа Пятовского С.Е. «Природа гало в стволах широких атмосферных ливней и доля легких ядер в первичном космическом излучении при  $E_0 = 10$  ПэВ (эксперимент ПАМИР)» удовлетворяет всем требованиям п. 9 действующего положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Пятковский Сергей Евгеньевич вполне заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц за решение задач, имеющих значение для развития физики и астрофизики космических лучей».

Соискатель имеет 22 опубликованные работы по теме диссертации в российских и зарубежных научных журналах из рекомендованного списка ВАК, в том числе индексируемых в базах Scopus (10642388700) и Web of Science (H-3719-2014). Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Puchkov V.S., Pyatovsky S.E. Origin of Gamma-Ray Families Accompanied by Halos and Detected in Experiments with X-Ray Emulsion Chambers//Physics of Atomic Nuclei. – 2018. – Vol. 81. – No. 2. – pp. 222-230. – doi: 10.1134/S1063778818020151
2. Mukhamedshin R.A., Puchkov V.S., Pyatovsky S.E., Shaulov S.B. Analysis of gamma-ray families with halos and estimation of mass composition of primary cosmic radiation at energies 1-100 PeV//Astroparticle Physics. – 2018. – 102. – pp. 32-38. – doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.astropartphys.2018.05.005>
3. Mukhamedshin R.A., Puchkov V.S., Pyatovsky S.E., Shaulov S.B.  $\gamma$ -families with halos observed by X-ray emulsion chamber in EAS and the estimate of the  $p$ +He fraction in primary cosmic rays at  $E_0 = 1$ -100 PeV//Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2017. – Vol. 44. – No. 12. – pp. 380-384. – doi: 10.3103/S1068335617120090
4. Puchkov V.S., Pyatovsky S.E. Estimation of the  $p$ +He fraction in the mass composition of primary cosmic radiation the energy range of  $E_0 = 1$ -100 PeV according to gamma-ray families featuring halo//Physics of Atomic Nuclei. – 2020. – Vol. 83. – No 2. – pp. 237-246. – doi: 10.1134/S1063778820010111
5. Erlykin A.D., Puchkov V.S., Pyatovsky S.E. The change of the primary cosmic radiation mass composition at energies  $E_0=1$ -100 PeV according to the KASCADE-Grande experiment data//Physics of Atomic Nuclei. – 2021. – Vol. 84. – No 3.

6. Borisov A., Denisova V.G., Guseva Z.M., Kanevskaya E.A., Kogan M.G., Morozov A.E., Mukhamedshin R.A., Puchkov V.S., Pyatovsky S.E., Shaulov S.B., Shoziyoev G., Smirnova M.D. Gamma-ray families with halos: main characteristics and possibilities of using them to estimate the p+He fraction in the mass composition of cosmic rays at energies 1-100 PeV//EPJ Web of conferences. – Ser. 19th International Symposium on very high energy cosmic ray interactions, ISVHECRI 2016, Moscow. – 2017. – pp. 19008. – doi: 10.1051/epjconf/201614519008

Результаты доложены на международных конференциях и научных семинарах, в которых соискатель принял непосредственное участие. Вклад соискателя в опубликованные результаты диссертации определяющий.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, 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** объяснено явление «гало» с количественной оценкой определяющего вклада подпороговых  $\gamma$ -квантов в стволах ШАЛ при формировании гало; **впервые** показано, что основной вклад в образование гало больших площадей вносят  $\gamma$ -кванты с энергиями  $E_{0\gamma} = 100 \text{ ГэВ} - 1 \text{ ТэВ}$ ; **впервые** расчет гало выполнен по полученным специально для эксперимента ПАМИР функциям пространственного распределения, что позволило получить хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных.

**Впервые** построены модельные спектры площадей гало, в том числе с площадями гало более  $500 \text{ мм}^2$ , соответствующие полученным спектрам площадей гало в экспериментах с рентген-эмульсионными камерами.

**Впервые** получены модельные гало всего спектра площадей, в т.ч. гало с площадями более  $500 \text{ мм}^2$ , характеристики которых, такие как поток гало, спектр площадей гало, доля структурных гало и распределение гало по  $\Sigma E_\gamma$ , соответствуют характеристикам экспериментальных гало.

**Впервые** предложен метод гало, отличный от метода ШАЛ, оценки массового состава первичного космического излучения, в основе которого лежит преимущественная регистрация гало, образованных легкими ядрами ПКИ; **впервые** показано, что различающиеся в несколько раз вероятности

образования гало легкими и тяжелыми ядрами позволяют применить статистику гало для оценки доли легких ядер в массовом составе ПКИ.

**Впервые** статистика многоцентровых гало эксперимента ПАМИР проанализирована на предмет чувствительности к массовому составу ПКИ и применена для оценки доли легких ядер методом гало; **впервые** методом гало выполнена оценка доли легких ядер в массовом составе ПКИ при  $E_0 = 10$  ПэВ, составившая  $(39 \pm 6)\%$ , и показано, что при меньшей доле легких ядер полученная в эксперименте ПАМИР статистика гало наблюдаться не будет.

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

Полученные в работе новые результаты (количественная оценка определяющего вклада подпороговых гамма-квантов в формирование площадей гало и оценка доли легких ядер в массовом составе первичного космического излучения при  $E_0 = 10$  ПэВ предложенным новым методом гало) вносят важный вклад в систематическое изучение массового состава первичного космического излучения в области излома спектра по энергии ПКИ при  $E_0 = 3-5$  ПэВ, что позволяет делать выводы о происхождении космических лучей, механизмах ускорения космических лучей в галактической среде и анализировать природу излома спектра ПКИ. Полученные результаты также могут быть использованы при проектировании будущих экспериментов по изучению космических лучей сверхвысоких энергий. Новые научные результаты, полученные при изучении структуры стволов ШАЛ методом РЭК, могут быть применены в будущих экспериментах с мелкоструктурными детекторами с высоким пространственным разрешением.

Характеризуя исследование в целом, можно заключить, что впервые получена уникальная экспериментальная и модельная информация о характеристиках гало в стволах ШАЛ, чувствительных к массовому составу первичного космического излучения, при энергиях ядер вблизи излома спектра ПКИ по  $E_0$ , методом, отличным от метода ШАЛ. Информация о характеристиках гало может послужить развитию представлений о массовом составе, происхождении и ускорении космических лучей.

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

Работа проведена в рамках международного сотрудничества эксперимента ПАМИР. Систематическое исследование характеристик семейств гамма-квантов в стволах ШАЛ методом рентген-эмульсионных

камер является приоритетным направлением эксперимента ПАМИР. Эксперимент ПАМИР уникален как по времени, так и по площади проэкспонированной РЭК. Собранный экспериментальный материал, обработка которого продолжается в настоящее время, представляет высокую научную ценность. Обработка рентгенографической пленки эксперимента ПАМИР обеспечивается специалистами сотрудничества высокой квалификации.

Высокое качество первичного экспериментального материала обеспечено апробированным в течение многих лет оборудованием эксперимента ПАМИР (проявочный центр, фотометры, сканер, вычислительная техника) по определению характеристик семейств гамма-квантов, характеризующих структуры стволов ШАЛ. Работа оборудования эксперимента ПАМИР обеспечивается специалистами в данной области.

В методике рентген-эмульсионных камер эксперимента ПАМИР используются апробированные и научно подтвержденные методы обработки и моделирования экспериментальных данных. Результаты обсуждались на семинарах сотрудничества ПАМИР и в ряде международных конференций, изложены в публикациях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, в журналах, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке программного комплекса ШАЛ+РЭК поиска гало, объединяющий данные результатов моделирования ШАЛ в атмосфере и развитию электромагнитных каскадов в РЭК ПАМИР; в получении количественного вклада в формирование площадей гало подпороговых по энергии гамма-квантов; в оценке методом гало доли легких ядер в массовом составе ПКИ при  $E_0 = 10$  ПэВ. Представленный список опубликованных работ был получен с непосредственным участием автора диссертации. Приведенный в диссертации иллюстративный материал является результатом работы соискателя. Несомненно, работы, осуществленные Пятовским С.Е., главным образом определили результаты исследования вклада подпороговых гамма-квантов в формирование площадей гало, статистика которых получена в эксперименте ПАМИР, и оценки доли легких ядер в массовом составе ПКИ при  $E_0 = 10$  ПэВ.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

На заседании 19 апреля 2021 года Диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация Пятовского Сергея Евгеньевича представляет 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 19 апреля 2021 года Диссертационный совет принял решение присудить Пятовскому Сергею Евгеньевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

При проведении открытого голосования Диссертационный совет в количестве 21 человека (лично присутствовали, - 12, присутствовали в режиме видеоконференции, - 9), из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав Диссертационного совета, проголосовали: «за» - 21, «против» - 0.

Заместитель председателя Диссертационного совета

д.ф.-м.н.



*Полухина*

Полухина Наталья Геннадьевна

Ученый секретарь Диссертационного совета

д.ф.-м.н.

*Баранов*

Баранов Сергей Павлович