

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **15.09.2022 г. № 12/85**

О присуждении **Романенко Виктору Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск источников космического гамма-излучения сверхвысоких энергий на установке «Ковер-3» по специальности 01.04.16 — «Физика атомного ядра и элементарных частиц» принята к защите 30 июня 2022 года, протокол № 8/81 диссертационным советом Д 002.119.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства образования и науки России № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Романенко Виктор Сергеевич 1994 года рождения. В 2018 году соискатель окончил Институт физики и математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». В 2018 году соискатель В.С. Романенко поступил в очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), и обучается по настоящее время по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц. В настоящее время работает в должности стажера-исследователя в филиале Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, в филиале Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Петков Валерий Борисович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, заведующий филиалом Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН.

Официальные оппоненты:

Кузьмичев Леонид Александрович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова", Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ), Лаборатория космического излучения высоких энергий, заведующий лабораторией.

Позаненко Алексей Степанович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук, отдел 64 (Наблюдательная и теоретическая астрономия и радиоинтерферометрия), ведущий научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" (НИЯУ ИМФИ), в своем положительном заключении, подписанном Гуровым Юрием Борисовичем доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ и утвержденном ректором НИЯУ МИФИ доктором физико-математических наук Шевченко Владимиром Игоревичем,

указала, что работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Романенко Виктор Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Соискатель имеет 9 работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК [1-9]. Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно.

Список работ, по результатам диссертационного исследования:

1. **Романенко В. С.**, Петков В. Б., Лидванский А. С. Гамма-астрономия сверхвысоких энергий на установке «КОВЕР» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН //ЖЭТФ. – 2022. – Т. 161. – №. 4. – С. 523–532.
2. Dzhappuev D. D., Afashokov Yu. Z., Dzaparova I. M., Dzhatdov T. A., Gorbacheva E. A., Karpikov I. S., Khadzhiev M. M., Klimenko N. F., Kudzhaev A. U., Kurenaya A. N., Lidvansky A. S., Mikhailova O. I., Petkov V. B., Podlesnyi E. I., **Romanenko V. S.**, Rubtsov G. I., Troitsky S. V., Unatlov I. B., Vaiman I. A., Yanin A. F., Zhezher Ya. V. and Zhuravleva K. V. Observation of Photons above 300 TeV Associated with a High-energy Neutrino from the Cygnus Region //The Astrophysical Journal Letters. – 2021. – Т. 916. – №. 2. – С. L22.
3. Dzhappuev D. D., Afashokov Yu. Z., Dzaparova I. M., Gorbacheva E. A., Karpikov I. S., Khadzhiev M. M., Klimenko N. F., Kudzhaev A. U., Kurenaya A. N., Lidvansky A. S., Mikhailova O. I., Petkov V. B., **Romanenko V. S.**, Rubtsov G. I., Troitsky S. V., Unatlov I. B., Yanin A. F., Zhezher Ya. V. and Zhuravleva K. V. Carpet—2 Search for Gamma Rays above 100 TeV in Coincidence with HAWC and IceCube Alerts //JETP Letters. – 2020. – Т. 112. – №. 12. – С. 753–756.
4. Dzhappuev D. D., Dzaparova I. M., Gorbacheva E. A., Karpikov I. S., Khadzhiev M. M., Klimenko N. F., Kudzhaev A. U., Kurenaya A. N., Lidvansky A. S., Mikhailova O. I., Petkov V. B., Ptitsyna K. V., **Romanenko V. S.**, Rubtsov G. I.,

- Troitsky S. V., Yanin A. F. and Zhezher Ya. V. Carpet-2 search for PeV gamma rays associated with IceCube high-energy neutrino events // *JETP Letters*. – 2019. – Т. 109. – №. 4. – С. 226–231.
5. **Romanenko V. S.** Carpet-2 observation of $E > 300$ TeV photons accompanying a 150-TeV neutrino from the Cygnus Cocoon // *Proceedings of 37th International Cosmic Ray Conference—PoS*. – 2021. – Т. ICRC 2021. – С. 849.
 6. **Romanenko V. S.** The Carpet-3 EAS array: the current status // *Proceedings of 37th International Cosmic Ray Conference—PoS*. – 2021. – Т. ICRC 2021. – С. 275. DOI: 10.22323/1.395.0275.
 7. **Романенко В. С.**, Петков В. Б., Афашоков Ю. З., Горбачева Е. А., Джаппуев Д. Д., Дзапарова И. М., Жежер Я. В., Журавлева К. В., Карпиков И. С., Куджаев А. У., Клименко Н. Ф., Куреня А. Н., Лидванский А. С., Михайлова О. И., Рубцов Г. И., Троицкий С. В., Унатлоков И. Б., Хаджиев М. М., Янин А. Ф. Эксперимент “Ковер-3”: поиск гамма-излучения сверхвысокой энергии от астрофизических объектов // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. – 2021. – Т. 85. – №. 4. – С. 545-547.
 8. **Romanenko V. S.** Afashokov Yu. Z., Dzaparova I. M., Dzhappuev D. D., Dzhatdov T. A., Gorbacheva E. A., Karpikov I. S., Khadzhiev M. M., Klimenko N. F., Kudzhaev A. U., Kurenya A. N., Lidvansky A. S., Mikhailova O. I., Petkov V. B., Podlesnyi E. I., Rubtsov G. I., Unatlov I. B., Vaiman I. A., Yanin A. F., Zhezher Ya. V. and Zhuravleva K. V. Searches for sub-PeV photons in coincidence with neutrinos // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2156. – №. 1. – С. 012097.
 9. **Romanenko V. S.**, Petkov V. B., Dzhappuev D. D., Lidvansky A. S., Gorbacheva E. A., Dzaparova I. M., Kudzhaev A. U., Klimenko N. F., Kurenya A. N., Mikhailova O. I., Mikhailova O. I., Khadzhiev M. M., Troitsky S. V., Yanin A. F., Zhuravleva K. V. Carpet-3 experiment for ultrahigh-energy astrophysics: Current-state and prospects // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1787. – №. 1. – С. 012038.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Отмечены следующие критические замечания:

- На стр. 73–75 сказано, что «численное значение N_e определяется путем фитирования НКГ функции для фиксированного возраста $s = 1$ ». Но установка регистрирует ШАЛ и с другими s . Не объяснено, как такие ливни могут изменить величину «хвоста», попадающего в фотоноподобные ливни.
- На стр. 73 сказано, что «отбираются события, в которых ось ливня находится внутри центрального детектора». Если посмотреть на схему установки «Ковер-2» (рисунок 2.1 на стр. 63), то видно, что мюонный детектор расположен достаточно далеко от центрального детектора, на периферии регистрируемых ШАЛ, где флуктуации количества частиц достаточно большие. Непонятно, какое влияние это оказывает на корректность отбора фотоноподобных ливней, в диссертации не обсуждается.
- Приведенный на стр. 90–92 анализ потока γ -излучения из области Кокона Лебеда основан на расчетах вероятности $p(d)$ получить соответствующее количество событий из ожидаемого фона. Результат расчетов приведен на рис. 3.7, стр. 91. В диссертации не описано, как была рассчитана эта кривая, но ее скачкообразное поведение вызывает сомнение в ее корректности. В диссертации не обсуждается вопрос, какие факторы могут приводить к смещению вероятности на порядок при изменении временного окна на 2–3 дня при его ширине 80 дней. В то же время выбор временного окна, например, 78 дней вместо 82 существенно изменит конечный результат.
- В диссертации не обсуждается вопрос о достоверности полученных результатов. В соответствующем месте (стр. 11) достоверность и апробация результатов объединены в один пункт, в котором сообщается, где

опубликованы полученные результаты, но сам факт опубликования результата не может свидетельствовать о его достоверности.

- В качестве методики выделения ШАЛ от гамма-квантов автор приводит методику, основанную на числе мюонов, и не упоминает методику, основанную на пространственном распределении электронов, используемую в эксперименте НАУС.
- В третьей главе обсуждаются критерии отбора фотоноподобных событий (параграф 3.1.2), при этом для выделения 3 событий требуется, чтобы ось ШАЛ была внутри центрального детектора. Не совсем понятно, почему введено это ограничение, т.к это ограничивает площадь установки до 200 м^2 .
- Для выделения фотоноподобных событий устанавливается граница на отношение числа мюонов в событии (увеличенная на 0.1, чтобы избавиться от нуля) к числу электронов (рис.3.3). При выбранном условии вероятности отобрать событие от фотона равна 50%. Было бы полезно указать, какая доля в отобранных по этому критерию событий будет от обычных ШАЛ, учитывая, что число ШАЛ от космических лучей в $10^4 - 10^5$ больше, чем число ШАЛ от гамма-квантов. Не объяснено, в частности, какая доля событий на рис. 3.3, попадающая в голубую область (область фотоноподобных событий), является событиями от космических лучей.
- В предположении вспышки гамма-квантов в источнике из полученных результатов можно получить поток фотонов с энергией выше 300 ТэВ. Поток оказался очень большим - $5.6 \cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$, на 3 порядка выше ожидаемого при экстраполяции данных из области низких энергий. К сожалению, как получается такой поток из полученных данных, в диссертации не описано.
- В публикации, посвященной этому результату (Dzhappuev et al., The Astrophysical Journal Letters, 916:L22 (5pp), 2021 August 1) увеличение числа событий от источника до 50 за 80 суток объясняется вкладом событий от гамма-квантов, не прошедших условие отбора на фотоноподобных событий. При этом событий прошедших отбор всего 3. Если это так, то среднее число

мюонов в этих 50 событиях должны быть ниже, чем для событий вне периода вспышки. В диссертации не сказано, проверялось ли это.

- На ряд вопросов ответа в диссертации не приведено – увеличится ли эффективная площадь установки или она по-прежнему будет равна 200 м^2 , понизится ли энергетический порог регистрации событий от гамма-квантов, на сколько улучшится режекция фоновых событий от космических лучей?
- На странице 76 зенитный угол почему-то назван горизонтальным углом. Вместо термина «дискриминатор с плавающим порогом» (стр. 101 и далее в 4 главе) желательно использовать термин, принятый в отечественной литературе – «дискриминатор со следящим порогом».
- При оценке вероятности возможной вспышки в Коконе Лебеда исследовались различные временные окна для поиска максимального кол-ва фотоноподобных событий. Результирующая вероятность возможной вспышки в Коконе Лебеда, очевидно, должна учитывать количество переборов количества длительности окон. То есть результирующая консервативная вероятность должна быть равна произведению количества вариантов перебора (60) длительности окон на значимость превышения над фоном в наилучшем случае (наиболее значимом найденном окне), а именно, $2.4 \cdot 10^{-4} * 60 = 1.28 \cdot 10^{-2}$. Автором это учтено моделированием методом Монте-Карло и получена вероятность случайного события $1.5 \cdot 10^{-3}$. Не объяснено, в чем причина несоответствия вероятности при консервативной оценке и использовании моделирования методом Монте-Карло?
- Длительности наилучшего окна для всех событий и фотоноподобных событий, 82 и 70 дня близки друг к другу. Это наводит на мысль, что наблюдаемое увеличение событий все же может быть фоновым, так как фотоноподобных событий всего 5, а всех событий – 346. В противном случае надо попытаться объяснить возможное совпадение длительности окон при регистрации событий различной природы.
- На рисунке 3.6 приведены 3 фотоноподобных события для области локализации, а в тексте обсуждается 5 фотоноподобных событий.

- При оценке вероятности вспышки имело бы смысл использовать совместную оценку совпадений возможной вспышки в Коконе Лебедя с нейтринным событием IceCube–201120A. Эта условная вероятность того, что в окне с определенной длительностью относительно времени регистрации IceCube–201120A зарегистрировано увеличение количества высокоэнергетических фотонов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией ученых и наличием работ высокого уровня по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Получены ограничения на потоки гамма–излучения сверхвысоких энергий от направлений прихода нейтрино высоких энергий и фотонов сверхвысоких энергий;
- Зарегистрирована возможная вспышка гамма-излучения с энергией более 300 ТэВ из области Кокона Лебедя, который является известным источником фотонов сверхвысоких энергий. Причем максимум возможной вспышки совпал по времени с нейтринным событием IceCube-201120A из той же области.
- Была увеличена площадь подземного мюонного детектора установки “Ковер-3” до 410 м². Выполнены все подготовительные работы и запущен набор данных.
- Увеличена наземная часть установки “Ковер-3”. Выполнена сборка счетчиков на основе пластического сцинтиллятора с последующей комплектацией ими новых выносных пунктов регистрации установки. Обеспечена передача сигналов в аппаратный зал, для обработки сигналов.
- Разработана и собрана новая система сбора данных установки “Ковер-3”, также запущен набор данных с наземной части установки.
- Для работы новой системы сбора данных разработана онлайн программа, которая обеспечивает настройку, контроль работы, сбор и хранение экспериментальных данных.

Практическая значимость полученных соискателем результатов исследования подтверждается следующими аргументами. Полученные ограничения на потоки гамма-излучения сверхвысоких энергий могут быть полезны для проверки как существующих теоретических моделей происхождения нейтрино, так и для создания новых. Полученный результат по наблюдению возможной вспышки в области Кокона Лебеда продемонстрировал свою научную и практическую значимость в независимой работе под руководством Быкова А.М. (ApJL, 921, L10, 2021). В которой была построена теоретическая модель генерации нейтрино и фонов сверхвысоких энергий, а также объяснена наблюдаемая возможная вспышка в потенциальном источнике. Практическую значимость представляет новая установка “Ковер-3”, которая будет обладать большей чувствительностью к первичному гамма-излучению сверхвысоких энергий и эффективной площадью.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов диссертации, выносимых на защиту. Соискатель принимал активное участие в анализе и обсуждении экспериментальных данных. Участвовал в работах по ремонту и настройке оборудования, для поддержания работы установки. Автор принимал непосредственное участие при обработке экспериментальных данных по обнаружению возможной вспышки в области Кокона Лебеда, а также лично докладывал этот результат на крупных международных конференциях: «17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics» и «37th International Cosmic Ray Conference». Также соискатель провел большую работу в рамках создания установки “Ковер-3”. Были проведены пусконаладочные работы в подземном мюонном детекторе, а также запуск набора экспериментальных данных и устранение неисправностей. Соискателем лично была разработана и собрана система сбора данных установки “Ковер-3”, для которой было разработано программное обеспечение для настройки оборудования, сбора и хранения экспериментальных данных.

На заседании 15 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Романенко Виктору Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **20** человек, из них **8** докторов наук по специальности 01.04.16 — Физика атомного ядра и элементарных частиц, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: **за** — **20**, **против** — **0**, **недействительных бюллетеней** — **0**.

Председатель заседания,
заместитель председателя
диссертационного совета Д 002.119.01
доктор физ.-мат. наук _____ Безруков Л.Б.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.119.01
кандидат физ.-мат. наук _____ Демидов С.В.

15.09.2022 г.

м.п.