

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
и международной деятельности

\_\_\_\_\_ К.В.Григоричев

« 26 » апреля 2019 г

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Иркутский государственный университет" (ИГУ),  
физический факультет

на диссертацию Жежер Яны Валерьевны

«Исследование массового состава космических лучей и поиск нейтрино  
ультравысоких энергий по данным эксперимента Telescope Array»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Диссертационная работа Жежер Я.В. посвящена исследованию космических лучей ультравысоких энергий (КЛУВЭ) на основе данных двух основных крупномасштабных экспериментов, изучающих космические лучи в данном диапазоне энергий — обсерватории им. Пьера Оже и эксперимента Telescope Array.

Актуальность темы определяется рядом вопросов в современной физике космических лучей, для которых пока еще не предложено однозначного теоретического описания. Данные о составе космических лучей и о потоке нейтрино необходимы для изучения процессов рождения, ускорения и распространения космических лучей ультравысоких энергий, а также для предсказания потоков космогенных нейтрино и фотонов. Также результаты определения доли протонов по отношению к гелию могут применяться для изучения вопросов безопасности будущих коллайдеров.

Диссертация Жежер Я.В. состоит из введения, 3-х глав основного текста, заключения, двух приложений и списка цитируемой литературы.

Во Введении дан обзор современных результатов, достигнутых в изучении физики космических лучей, приведены цели и задачи работы, а также отражены новизна и практическая ценность исследования. Описан ряд вопросов, связанных с изучением космических лучей ультравысоких энергий, на которые в настоящий момент не найдено однозначных ответов. Кроме того, сформулированы основные положения, выносимые на

защиту, представлен перечень докладов на научных семинарах и российских и международных конференциях, подтверждающий результаты апробации работы.

Первая глава посвящена исследованию массового состава космических лучей ультравысоких энергий по данным наземной решетки эксперимента Telescope Array. Предложен метод, основанный на использовании усиленных деревьев решений для анализа данных больших размерностей, какими являются данные наземных решеток экспериментов по изучению широких атмосферных ливней. Данный подход позволяет использовать гораздо большую статистику событий, набираемую наземными решетками по сравнению с флуоресцентными телескопами для расширения диапазона измерения средней атомной массы первичных частиц.

Вторая глава посвящена определению нижнего предела на долю протонов по отношению к гелию. Метод определения данной величины основан на использовании распределения глубины максимума развития широких атмосферных ливней. На основе экспериментальных значений экспоненциального декремента затухания, измеренного в эксперименте Telescope Array и обсерватории им. Пьера Оже, были получены ограничения на долю протонов по отношению к гелию для различных моделей адронных взаимодействий. Полученные результаты были применены к ограничению моделей рождения космических лучей ультравысоких энергий, а также к обсуждению безопасности будущих коллайдеров.

Третья глава посвящена поиску нейтрино ультравысоких энергий по данным наземной решетки эксперимента Telescope Array. Основной метод данной главы также основан на методе усиленных деревьев решений, результаты работы которого применялись для поиска критерия кандидатов в нейтринные события в данных наземной решетки эксперимента. Был получен верхний предел на поток нейтрино ультравысоких энергий и приведено сравнение с результатами других экспериментов.

В Заключение представлены основные результаты диссертации. Список цитированной литературы содержит 203 наименования.

Приложение А посвящено подробному описанию процедуры реконструкции событий наземной решетки эксперимента Telescope Array.

В Приложении Б описан принцип работы методов машинного обучения, основанных на усиленных деревьях решений.

Диссертационная работа Жежер Я.В. обладает следующими недостатками:

1. 1. Использование в главах 1 и 3 для тренировки усиленных деревьев решений Монте-Карло наборов модельных событий с моделью QGSJETII-03, в то время как в настоящее время уже существует обновленный вариант, QGSJETII-04, а также другие широко используемые модели, EPOS-LHC и SYBILL.

2. В главе 3 не обсуждается отличие распределений величины  $x_1$  для данных и для Монте-Карло набора сильно наклонных событий, инициированных первичными

протонами: данные лежат "левее" распределения для Монте-Карло, что указывает на то, что события наземной решетки инициированы частицами тяжелее протонов. Не прокомментировано влияние данного отличия на получаемый предел на поток нейтрино.

3. В главе 3 не обоснован выбор нулевого числа фоновых событий при использовании статистики Фельдмана-Казинса, а также не обоснован вид функции ката для поиска кандидатов в нейтринные события.

4. В главах 1 и 3 не обсуждается то, насколько эффективны те или иные переменные, используемые для тренировки усиленных деревьев решений; не показана оптимальность выбранного набора переменных для данных задач.

5. Не является полностью правомерным сравнение результатов главы 1 с результатами обсерватории им. Пьера Оже, основанных на асимметрии времени нарастания сигнала, поскольку последние получены с использованием адронной модели QGSJETII-04.

В целом, диссертационная работа Жежер Я.В. представляет собой научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Выводы и заключения корректно сформулированы и обоснованы. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационной работы. Результаты, вынесенные на защиту, докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях и опубликованы в международных научных журналах, входящих в список ВАК.

Диссертационная работа Жежер Яны Валерьевны «Исследование массового состава космических лучей и поиск нейтрино ультравысоких энергий по данным эксперимента Telescope Array», удовлетворяет всем требованиям ВАК Российской Федерации, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Настоящий отзыв составлен деканом физического факультета Иркутского государственного университета. Диссертация обсуждена на семинаре лаборатории «Астрофизики элементарных частиц и гамма-астрономии» Научно-исследовательского института прикладной физики Иркутского государственного университета 18.04.2019, по результатам обсуждения была дана высокая оценка работы.

Проректор по НР и МД

К.В.Григоричев

Отзыв составлен деканом  
Физического факультета ИГУ  
Д.ф.-м.н.

Н.М.Буднев

Сведения о ведущей организации по диссертационной работе

Жежер Яны Валерьевны

«Исследование массового состава космических лучей и поиск нейтрино ультравысоких энергий по данным эксперимента Telescope Array», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

<p>Полное и сокращенное название организации</p>	<p>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет» /ФГБОУ ВПО «ИГУ»</p>
<p>Место нахождения (город, область)</p>	<p>Г. Иркутск, Иркутская область</p>
<p>Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта организации в сети Internet</p>	<p>664003, г. Иркутск, ул. К.Маркса, 1, (8-3952)243453 e-mail: <a href="mailto:rector@isu.ru">rector@isu.ru</a> <a href="http://www.isu.ru">www.isu.ru</a></p>
<p>Список основных публикаций работников структурного подразделения, составляющих отзыв, за последние 5 лет по теме диссертации</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. N M Budnev, I I Astapov, A G Bogdanov, V Boreyko et al TAIGA the Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma Astronomy — present status and perspectives.// Journal of Instrumentation 2014. V.9. P.C09021. doi:10.1088/1748-0221/9/09/C09021</li> <li>2. V.V. Prosin, S.F. Berezhnev, N.M. Budnev, A. Chiavassa et al Tunka-133: Results of 3 year operation // Nucl.Instrum.Meth. A. 2014 V.756. P. 94 – 101. DOI: 10.1016/j.nima.2013.09.018.</li> <li>3. M. Kunnas, M. Brückner, N. Budnev, M. Büker et al. Hardware and first results of TUNKA-HiSCORE // Nucl.Instrum.Meth. A 2014 V.742. P.269-270. DOI: 10.1016/j.nima.2013.12.025</li> <li>4. D. Kostunin et al.. Tunka-Rex: Status and results of the first measurements //Nucl.Instrum.Meth. A. 2014 V.742. P. 89-94.DOI: 10.1016/j.nima.2013.10.070 e-Print: arXiv:1310.8477 [astro-ph.HE]</li> <li>5. M. Tluczykont et al. Towards gamma-ray astronomy with timing arrays// Journal of Physics Conference Series - 2015. - vol.632. - p. 012042. DOI: 10.1088/1742-6596/632/1/012042.</li> <li>6. N. Budnev et al. The Tunka detector complex: from cosmic-ray to gamma-ray astronomy. // Journal of Physics Conference Series -2015.-vol.632 .-p. 012034. DOI: 10.1088/1742-6596/632/1/012034.</li> <li>7. V.V. Prosin et al. Primary CR energy spectrum and mass composition by the data of Tunka-133 array. //EPJ Web Conferences.- 2015.-vol. 99 – p. 04002.</li> </ol>

DOI: 10.1051/epjconf/20159904002

8. W.D.Apel, J.C.Arteaga-Velázquez, L.Bähren et al. A comparison of the cosmic-ray energy scales of Tunka-133 and KASCADE-Grande via their radio extensions Tunka-Rex and LOPES // Physics LettersB 2016. –V.763. P.179–185  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2016.10.031>

9. O. Gress, I. Astapov, N. Budnev, P. Bezyazeev, et al. The wide-aperture gamma-ray telescope TAIGA-HiSCORE in the Tunka Valley: Design, composition and commissioning // Nucl.Instrum.Meth.A. 2016.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2016.08.031>

10. V.V. Prosin, S.F. Berezhnev, N.M. Budnev, M. Brückner et al Results from Tunka-133 (5 years observation) and from the Tunka-HiSCORE prototype // EPJ Web Conf. 2016. –V.121. –P. 03004. DOI: 10.1051/epjconf/201612103004

11. V.V. Prosin, N.M. Budnev, A. Chiavassa, A.N. Dyachok et al.. Results and perspectives of cosmic ray mass composition studies with EAS arrays in the Tunka Valley // J.Phys.Conf.Ser. 2016. –V.718. – No.5. –P. 052031. DOI: 10.1088/1742-6596/718/5/052031

12. N. Budnev et al. The TAIGA experiment: From cosmic-ray to gamma-ray astronomy in the Tunka valley // Nucl.Instrum.Meth. A. 2017. –V.845. –P. 330-333. DOI: 10.1016/j.nima.2016.06.041

13. R.D. Monkhoev et al. The Tunka-Grande experiment // JINST 2017. – V.12. -No.06. – P. C06019. DOI: 10.1088/1748-0221/12/06/C06019

14. N. Budnev et al. TAIGA experiment: present status and perspectives. // JINST 2017.-V. 12. - No.08. –P. C08018. DOI: 10.1088/1748-0221/12/08/C08018

15 P. A. Bezyazeev, N. M. Budnev, D. Chernykh et al (Tunka-Rex Collaboration) Reconstruction of cosmic ray air showers with Tunka-Rex data using template fitting of radio pulses. // Phys. Rev. D. 2018 V. 97. –P. 122004.  
DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.97.122004>