

ОТЗЫВ

официального оппонента Рубцова Григория Игоревича
на диссертацию Сабурова Артема Владимировича
«Пространственное распределение частиц ШАЛ с энергией
выше 10^{17} эВ по данным Якутской установки»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.16 — физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация Сабурова А.В. посвящена исследованию характеристик космических лучей ультравысоких энергий с помощью данных, зарегистрированных детекторами заряженных частиц и мюонов наземной решетки Якутской комплексной установки ШАЛ. Актуальность темы диссертации определяется двумя обстоятельствами. С одной стороны, данные о массовом составе космических лучей с энергиями выше 10^{17} эВ содержат значительные систематические и статистические погрешности. С другой стороны, Якутская установка обладает рекордной экспозицией по отношению к мюонной компоненте ШАЛ, плотность которой чувствительна к типу первичной частицы. Новизна диссертационной работы заключается в том, что ряд результатов диссертации впервые получен на основе моделирования ШАЛ с помощью современных адронных моделей.

Диссертация Сабурова А.В. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Введение содержит обоснование актуальности работы, цели исследования, результаты, представляемые к защите, описание их апробации и практической значимости.

Первая глава диссертации посвящена описанию Якутской комплексной установки ШАЛ. Дано описание системы регистрации плотности числа частиц, включающее подробное описание калибровки сцинтилляционных детекторов. Представлены методы геометрической реконструкции и оценки первичной

энергии ШАЛ, применяемые для анализа данных установки.

Во второй главе дан обзор программного пакета CORSIKA и применяемых совместно с пакетом моделей адронных взаимодействий. Описаны основные характеристики моделей семейства QGSJET, SIBYLL, EPOS с учетом обновлений на базе результатов БАК.

Третья глава посвящена выполненному автором моделированию функций пространственного распределения заряженных частиц и мюонов в ШАЛ. Моделирование проведено с помощью пакета CORSIKA и адронных моделей QGSJET II-04 и EPOS-LHC. Выполнено сравнение результатов с предсказаниями моделей прошлых поколений QGSJET 01 и SIBYLL-2.1.

В четвертой главе выполнен анализ данных Якутской установки ШАЛ на основе результатов моделирования, полученных в третьей главе. Данные о массовом составе первичных космических лучей получены двумя независимыми способами: по функции пространственного распределения заряженных частиц ШАЛ и по плотности мюонов в ШАЛ. Впервые выполнен расчет энергетического баланса ШАЛ на основе современных адронных моделей. Представлен уточненный спектр космических лучей.

В Приложении описана структурная схема базы данных, разработанной автором для хранения событий Якутской установки ШАЛ, данных о конфигурации установки и погодных условий.

Сильной стороной диссертации является применение современных методов анализа, опирающихся на Монте-Карло моделирование. Использование современных адронных моделей позволяет корректно сравнивать полученные в диссертации результаты Якутской установки с результатами других экспериментов. В работе представлена новая, согласованная с Монте-Карло моделированием, оценка энергии и показана устойчивость данной оценки энергии к химическому составу. При построении оценки энергии найдена и исправлена неточность в калориметрическом методе, применяемом на установке ранее. В диссертации разработаны и реализованы

два независимых метода оценки массового состава по наклону ФПР и по мюонной плотности. Показано, что оценка глубины максимума ШАЛ по мюонной плотности на расстоянии 300 м от оси ШАЛ, устойчива к химическому составу первичных частиц. Созданная база данных событий Якутской установки ШАЛ является методологическим преимуществом диссертации Сабурова А.В. Следует также отметить подробное описание установки, включающее важные детали, в том числе описание калибровочных экспериментов определения сигнала от одной частицы.

Работа не лишена недостатков. Приведенное на рисунке 4.8 сравнение средней глубины максимума ШАЛ с другими экспериментами некорректно, так как в разных экспериментах эта величина имеет разный смысл, на который среди прочих факторов влияют условия отбора событий. Корректное сравнение должно быть сделано в терминах логарифма массы первичной частицы, как это представлено на рисунке 4.4.

Полученный после корректировки энергетических коэффициентов спектр Якутской установки ШАЛ остается выше спектров, измеренных другими установками (Тунка-133, Telescope Array). В диссертации нет объяснения данного остаточного несоответствия.

Для моделирования откликов ШАЛ используется упрощенная модель энерговыделения в сцинтилляторе, а не общепринятая универсальная модель GEANT 4.

В диссертации присутствуют опечатки и недостатки изложения. Из текста диссертации неясно почему для анализа глубины максимума оставлены только две адронные модели QGSJET 01, QGSJET II-04, тогда как другие результаты, в том числе логарифм массы первичной частицы, получены усреднением по четырем моделям.

Приведенные замечания не умаляют значимость представленной работы и никак не влияют на результаты и общую высокую оценку диссертации. Диссертация Сабурова А.В. представляет собой законченный научный труд.

Основные представленные к защите результаты являются новым, их достоверность не вызывает сомнений. Результаты диссертации своевременно опубликованы, доложены на международных конференциях. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Основные выводы диссертации, результаты и методы работы могут найти дальнейшее применение в исследованиях, выполняемых в ИКФИА СО РАН, ИЯИ РАН, ОИЯИ, НИИЯФ МГУ, ФИАН, ИКИ РАН и других научных центрах, а также при проектировании экспериментов ШАЛ следующего поколения.

Представленная диссертация «Пространственное распределение частиц ШАЛ с энергией выше 10^{17} эВ по данным Якутской установки» отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Сабуров А.В. безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

заместитель директора по научной работе ИЯИ РАН,
доктор физико-математических наук

Г.И. Рубцов

9 апреля 2018 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ ОППОНЕНТЕ:

Рубцов Григорий Игоревич;

Ученая степень: доктор физико-математических наук;

Ученое звание: без звания;

Должность: заместитель директора по научной работе;

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт ядерных исследований Российской академии наук;

Адрес: Москва, проспект 60-летия Октября, 7а;

Телефон: 8(499)135-05-85;

Адрес электронной почты: grisha@ms2.inr.ac.ru

Рубцов Григорий Игоревич, д.ф.-м.н.

01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц

1. Fomin, Yu. A.; Kalmykov, N. N.; Karpikov, I. S.; et al. "Constraints on the flux of similar to(10(16)-10(17.5)) eV cosmic photons from the EAS-MSU muon data", Physical Review D Volume: 95 Issue: 12 (2017). DOI:

10.1103/PhysRevD.95.123011

2. Rubtsov, Grigory; Satunin, Petr; Sibiryakov, Sergey, Constraints on violation of Lorentz invariance from atmospheric showers initiated by multi-TeV photons, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics Issue: 5 (2017). DOI: 10.1088/1475-7516/2017/05/049

3. Abbasi, R. U.; Abe, M.; Othman, M. Abou Bakr; et al., First upper limits on the radar cross section of cosmic-ray induced extensive air showers, Astroparticle Physics Volume: 87 Pages: 1-17 (2017). DOI: 10.1016/j.astropartphys.2016.11.006

4. Fomin, Yu. A.; Kalmykov, N. N.; Karpikov, I. S.; et al., "No muon excess in extensive air showers at 100-500 PeV primary energy: EAS-MSU results", Astroparticle Physics Volume: 92 Pages: 1-6 (2017). DOI: 10.1016/j.astropartphys.2017.04.001

5. Rubtsov, Grigory; Satunin, Petr; Sibiryakov, Sergey, "Prospective constraints on Lorentz violation from ultrahigh-energy photon detection", Physical Review D Volume: 89 Issue: 12 (2014). DOI: 10.1103/PhysRevD.89.123011