

Утверждаю  
Зам. директора ФИАН,

член-корреспондент РАН  
Н.Н. Колачевский

«18» сентября 2014 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации Физического института им. П.Н. Лебедева

Российской академии наук

на диссертацию **КУДЖАЕВА Александра Уружбековича**

**«Методы исследования проникающей компоненты ШАЛ на установке «Ковер-2»**

**Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

Работа КУДЖАЕВА Александра Уружбековича «Методы исследования проникающей компоненты ШАЛ на установке «Ковер-2» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН» представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики и посвящена детальному рассмотрению характеристик установки «Ковер-2» и анализу экспериментальных данных, полученных на ней.

Установка «Ковер-2» регистрирует широкие атмосферные ливни космических лучей (далее ШАЛ), а также одиночные частицы, прошедшие атмосферу без взаимодействия. В ШАЛ регистрируются все 3 компоненты ливня, именно, электронно-фотонная компонента, мюонная и адронная компоненты. Метод ШАЛ широко используется для изучения спектров различных компонент космических лучей и их элементного состава в области высоких энергий ( $>10^{14}$  эВ). В частности, регистрация мюонов в ШАЛ позволяет оценить поток гамма-квантов в общем потоке космических лучей и сделать оценки об элементном составе космических лучей в области высоких энергий. Таким образом, тема диссертации является актуальной и представляет несомненный интерес.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы.

Во введении автор работы детально рассматривает постановку задачи, дает обзор характеристик ШАЛ, приводит основные результаты, представленные к защите. Научная новизна работы включает в себя исследование характеристик светосильного мюонного детектора. В нем в качестве детекторов используются пластические сцинтилляторы общей площадью 175 м<sup>2</sup>. Разработана методика разделения в ШАЛ мюонной и адронной компонент.

Первая глава посвящена достаточно детальному обзору литературы по изучению мюонной и адронной компонент ШАЛ. Проанализированы данные известных установок ШАЛ: Akeno, Cascade, EAS-TOP, Тунка-133, НИИЯФ МГУ и др. Рассмотрены вопросы формы функций пространственного распределения для мюонной, электронной и адронной компонент (ФПР) в ШАЛ. Получена ФПР мюонов на установке «Ковер-2» для расстояний более 100 м от оси ливня. Показано, что форма ФПР мюонов слабо зависит от параметра  $s$  – возраста ливня. Приведены данные о зависимости плотности мюонов от полного числа частиц в ливне  $N_e$ . Рассмотрены данные адронной компоненты ШАЛ, в частности, зависимости плотности числа адронов и их энергии от расстояния до оси ливня для ливней с различным содержанием мюонов (используются «усеченные» (truncated) мюоны). Приведены данные по потоку адронов в зависимости от энергии адрона при  $x = 820$  г/см<sup>2</sup>, приведен первичный протонный спектр, полученный разными установками на разных уровнях наблюдений (показатель спектра равен  $\gamma = -2.82 \pm 0.04$  до излома спектра (до  $3 \cdot 10^{15}$  эВ) и  $\gamma = -3.12 \pm 0.11$  для области больших энергий).

Вторая глава посвящена детальному описанию установки «Ковер-2» и рассмотрению ее электроники. Нужно отметить, что автор диссертации внес большой вклад в создание данной установки. В начале этой главы даны основные характеристики жидкостного сцинтилляционного детектора и пластического сцинтиллятора. В центральной части установки «Ковер-2» находятся 400 жидкостных сцинтилляционных детекторов, размерами 70\*70\*30 см<sup>3</sup> каждый. Их общая площадь составляет 196 м<sup>2</sup>. Мюонный детектор находится на расстоянии 48 м от центральной части установки. В нем в качестве детекторов используются пластические сцинтилляционные детекторы. Наиболее вероятное значение энергосодержания в пластическом сцинтилляторе одной релятивистской однозарядной частицей равно 10 МэВ.

Третья глава посвящена рассмотрению вопроса разделения мюонной и адронной компонент в детекторе мюонов. Важным результатом, который необходим для решения этой задачи, является установление того факта, что для событий близких к вертикали

(зенитный угол менее  $30^\circ$ ) для адронов с энергией  $E > 25$  ГэВ их среднее энерговыделение в пластическом сцинтилляторе превышает энерговыделение от мюонов в 5 раз. В этой же главе детально рассмотрен метод разделения мюонов и адронов в мюонном детекторе с помощью измерения барометрического коэффициента. Показано, что энерговыделение в пластическом сцинтилляторе, которое меньше энерговыделения от 1.3 релятивистской однозарядной частицы при пересечении ею сцинтиллятора, создается мюонной компонентой. Этот вывод подтверждается расчетами.

Интересные результаты изложены в четвертой главе, где анализируются характеристики мюонной ( $E_\mu > 1$  ГэВ) и адронной ( $E_h > 25$  ГэВ) компонент. Приведены важные результаты по ФПР мюонов ШАЛ с энергией  $E > 1$  ГэВ, зависимость среднего числа мюонов на ливень от полного числа частиц в ливне ( $\langle N_\mu \rangle \sim N_e^\alpha$ ), приведено дифференциальное распределение числа мюонов в ливне, зависимость среднего числа адронов на ливень от полного числа частиц в ливне ( $\langle N_h \rangle \sim N_e^\alpha$ )

Основные результаты диссертации приведены в заключении.

К недостаткам работы относятся: (1) плохое качество некоторых рисунков (например, рис. 6-8, 11); (2) имеется ряд ошибок в тексте и в формулах, например, в п. 4 заключения приведено выражение  $N_e \sim N_e^\alpha$  вместо  $N_\mu \sim N_e^\alpha$ ; (3) используется слово «шпуки» на стр. 50 (лучше было бы «события»); (4) некоторые рисунки трудно понять, и они являются лишними, например, рис. 42; (5) на стр. 64 и рис. 40 утверждается, что длина свободного пробега  $L(\text{г/см}^2)$  является постоянной при значениях энергетического порога  $\varepsilon \geq 4$ , где порог выражен в числе релятивистских частиц. Однако данные рис. 40 показывают уменьшение  $L$  с ростом  $\varepsilon$ .

Полученные недостатки не влияют на высокую оценку представленной диссертации.

**Актуальность диссертации не вызывает сомнений.** Подтверждением этому служит то, что несколько лабораторий в мире проводят исследования по тематике близкой к изложенной в рассматриваемой работе.

**Новыми результатами, полученными соискателем,** являются детальное исследование характеристик нового прибора – мюонного детектора в комплексе «Ковер-2» и разработка методов разделения адронной и мюонной компонент.

**Практическая ценность данной работы** состоит в том, что полученные результаты будут использованы для получения новых данных о спектре и элементном составе космических лучей в области высоких энергий.

В целом диссертационная работа А.У. Куджаева является **законченным научным экспериментальным исследованием**, которое включает определение характеристик нового мюонного детектора в составе комплексной установки «Ковер-2», которая позволяет регистрировать электронно-фотонную компоненту, мюонную и адронную компоненты ШАЛ. **Выводы, приведенные в заключении, являются достоверными и обоснованными.** Это подтверждается соответствующими расчетами и сопоставлением данных мюонного детектора с данными, полученными другими авторами.

По теме диссертации соискателем опубликовано 11 работ.

Данная работа была обсуждена на семинаре лаборатории физики Солнца и космических лучей ФИАН, который состоялся 17 марта 2014 г. На основе этого обсуждения составлен настоящий отзыв.

**Автореферат полностью отражает содержание диссертации.**

Таким образом, **диссертационная работа Александра Уружбековича Куджаева является законченной научно-квалификационной работой**, в результате которой изучены характеристики новой установки - мюонного детектора, обоснованы методы разделения мюонной и адронной компонент с помощью этого детектора. Полученные результаты можно рассматривать как научное достижение, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Правительством РФ от 24.09.2013 г. № 842. **Автор диссертации Александр Уружбекович Куджаев несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Отзыв составил  
главный научный сотрудник  
лаборатории физики Солнца  
космических лучей ФИАН  
д.ф.-м.н., профессор

Ю.И. Стожков

## Данные об организации

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)
2. Москва
3. Москва, 119991, Ленинский проспект, 53; [postmaster@sci.lebedev.ru](mailto:postmaster@sci.lebedev.ru)  
8(495)938-22-51; <http://www.lebedev.ru/ru/>
4. Основные публикации по теме защищаемой диссертации за 5 лет:
  1. Базилевская Г.А., Крайнев М.Б., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С. Галактические космические лучи и параметры межпланетной среды вблизи минимумов солнечной активности. *Космические исследования*, 2013, т. 51(1), 35-42.
  2. Базилевская Г.А., Махмутов В.С., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С., Стожков Ю.И. Потоки заряженных частиц в околосземном слое атмосферы. *Изв. РАН, сер. физ.*, 2013, т. 77(5), 642-645.
  3. Квашнин А.А., Стожков Ю.И. Критерии отбора электронов с энергиями выше 50 ГэВ по данным эксперимента ПАМЕЛА. *Краткие сообщения по физике ФИАН. М.: ФИАН*, 2013, № 1, 33-42.
  4. Adriani O., Barbarino G.C., Bazilevskaya G.A., ..., Kvashnin A.N., ..., Stozhkov Y.I., et al. Measurements of cosmic-ray proton and helium spectra with the PAMELA calorimeter. *Adv. Space Res.*, 2013, v. 51(2), 219-226.
  5. Adriani O., Barbarino G.C., Bazilevskaya G.A., ..., Kvashnin A.N., ..., Stozhkov Y.I., et al. Time dependence of the proton flux measured by PAMELA during the 2006 July–2009 December solar minimum. *Astrophys. J.*, 2013, v. 765(2), 91/1-8.
  6. De Mendonca R.R.S., Raulin J.-P., Echer E., Makhmutov V.S., Fernandez G. Analysis of atmospheric pressure and temperature effects on cosmic ray measurements. *J. Geophys. Res.: Space Phys.*, 2013, v. 118(4), 1403-1409.
  7. Stozhkov Y., Okhlopkov V. Solar activity, cosmic rays, global climatic changes. *Homage to the Discovery of Cosmic Rays, the Meson–Muon and Solar Cosmic Rays* (J.A. Perez-Peraza, ed.). Hauppauge, NY: Nova Sci. Publ., Inc., 2013, Chapter ID: \_13577, 22 p.