

## **О Т З Ы В**

**официального оппонента доктора физико-математических наук**

**Просина Василия Владимировича**

**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.**

Якутская установка ШАЛ является одной из старейших ныне работающих установок для регистрации широких атмосферных ливней и до сих пор самой большой установкой в России. Современная площадь установки около  $12 \text{ км}^2$ . На установке накоплены данные за много лет работы и получен дифференциальный энергетический спектр в диапазоне от  $3 \cdot 10^{17}$  до  $10^{20}$  эВ. Однако в 70-е годы прошлого века, когда начала работать эта установка, был сделан громадный скачок от плотных установок с раздвижением детекторов в несколько десятков метров к большим установкам с раздвижением детекторов в 0.5 и 1 км. Методы анализа данных и оценки энергии первичных частиц, применявшиеся на плотных установках, оказались непригодны для большой раздвинутой установки. Пришлось изобретать новые методы в те годы, когда в нашей науке только начали появляться первые компьютеры, и началось развитие программ моделирования процессов, происходящих в ШАЛ. В результате оценки энергии делались путем аналитических расчетов, основанных на моделях развития ливней в атмосфере, существенно скорректированных и исправленных в последующие десятилетия. В нынешнем веке появились гигантские установки (AUGER, Telescope Array), где энергия первичных частиц стала оцениваться на основе потока флюоресцентного света от ШАЛ с применением детального Монте-Карловского моделирования по программе CORSIKA. При одинаковой интенсивности первичных космических лучей оценка энергии на этих установках оказалась существенно меньше той, что была получена в Якутске. В результате давно назрела необходимость пересчета энергии для ШАЛ, зарегистрированных на Якутской установке, путем применения современных программ моделирования.

**Актуальность** диссертации Артема Владимировича Сабурова, в которой громадный объем накопленных данных анализируется именно таким образом, абсолютно несомненна. Автором проделан большой объем расчетов по программе CORSIKA пространственного распределения различных компонент ШАЛ вплоть до расстояний в 2 километра от оси ливня. Затем продемонстрирована сложность реконструкции

энерговыведения или так называемого «отклика» в сцинтилляционном детекторе Якутской установки. Оказалось, что пространственные распределения различных компонент отличаются друг от друга, а пространственное распределение отклика существенно отличается от распределений отдельных компонент. Так, например, доля энергии фотонов ШАЛ в суммарном отклике, составляющая на расстоянии 100 м от оси около 10%, на расстоянии 600 м от оси, по отклику на котором оценивается энергия ШАЛ, оказывается равной от 30 до 40%.

**Новизна и практическая значимость** работы А.В. Сабурова заключается в последовательном применении современного моделирования для анализа данных и переосмысления всех основных результатов, полученных на Якутской установке.

Следует отметить **личный вклад** автора, самостоятельно проделавшего многочисленные расчеты и анализ экспериментальных данных.

**Публикации** с участием А.В. Сабурова и его доклады на международных конференциях вызвали большой интерес, начиная, по крайней мере, с 2011 г.

Работа не лишена ряда недостатков.

1. Литературные ссылки относятся к периоду ранее 2014 г. В результате при сравнении с данными установки Тунка-133 (рис. 4.4 и 4.8) не учтены более современные данные по глубине максимума и по среднему составу КЛ, которые стали гораздо ближе к оценкам, полученным в работе Сабурова. Спектр, полученный в эксперименте РАО, и приведенный на рис. 4.12, в настоящее время продлен в область меньших энергий до  $3 \cdot 10^{17}$  эВ. Аналогично продлен в область меньших энергий и спектр установки Telescope Array.
2. При окончательной оценке коэффициента пересчета от измеряемого параметра (отклика детектора на расстоянии 600 м от оси ШАЛ) к энергии автор использует коэффициент, усредненный по 4-м различным моделям (стр.74). Аналогичное усреднение по всем рассмотренным моделям применяется на стр. 88 для крутизны ФПР, а также в таблицах 4.1 и 4.3 при рассмотрении калориметрического метода восстановления энергии. С этим нельзя согласиться, т.к. в природе реализуется лишь одна модель взаимодействия. Это замечание практически не влияет на количественные выводы работы. В диссертации показано, хотя, к сожалению, не везде достаточно подчеркнуто, что современные модели, учитывающие результаты, полученные на большом адронном коллайдере, дают коэффициенты пересчета, отличающиеся друг от друга всего на несколько процентов и достаточно слабо зависящие от предполагаемого состава ПКЛ.
3. При моделировании отклика сцинтилляционного детектора автор пользуется дифференциальными энергетическими спектрами различных компонент ШАЛ и кривыми

средних энергетических потерь каждой из компонент в зависимости от расстояния до оси ШАЛ. По-видимому, лучшую точность мог бы дать М-К расчет с помощью пакета программ GEANT4.

4. Диссертация в целом написана хорошим языком, хотя иногда слишком лаконично. Так в главах 3 и 4 хотелось бы больше пояснений к результатам. Изредка встречаются опечатки в виде пропуска слова или удвоения некоторых слов (стр. 17, 40, 93).

Указанные недостатки не снижают общей высокой оценки работы. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация А.В. Сабурова «Пространственное распределение частиц ШАЛ с энергией выше  $10^{17}$  эВ по данным Якутской установки» является законченной научной работой, выполненной на высоком профессиональном уровне. Диссертация А.В. Сабурова отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор А.В. Сабуров бесспорно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент  
ведущий научный сотрудник отдела космической науки НИИЯФ МГУ  
доктор физ.-мат. наук

Просин В. В.  
5.04.2018

Е-mail: [v-prosin@yandex.ru](mailto:v-prosin@yandex.ru)

Телефон: +7 495 939 10 72

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,  
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.

Подпись В.В. Просина заверяю

Директор НИИЯФ МГУ

Профессор

Панасюк М.И.

Просин Василий Владимирович,  
доктор физико-математических наук,  
01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. [TAIGA-HiSCORE detection of the CATS-Lidar on the ISS as fast moving point source](#), [Porelli A.](#), . . . [Prosin V.](#), et al., *Proceedings of Science*, 301, p. 754, 2017
2. [TAIGA-HiSCORE: results from the first two operation seasons.](#), [Tluczykont M.](#), . . . [Prosin V.](#), et al., *Proceedings of Science*, v. 301, p. 759, 2017
3. [Прототип установки TAIGA-HiSCORE: Статус и первые результаты.](#), [Астапов И.И.](#), . . . [Просин В.В.](#) и др., *Известия РАН, серия физическая*, том 81, № 4, с. 495-498, 2016
4. [Установка Tunka-Grande - статус и перспективы.](#), [Монхоев Р.Д.](#), . . . [Просин В.В.](#) и др., *Известия РАН, Серия физическая*, том 81, № 4, с. 504-506, 2016
5. [Results and perspectives of cosmic ray mass composition studies with EAS arrays in the Tunka Valley.](#), [Prosin V.V.](#) et al., *Journal of Physics: Conference Series*, v. 718, p. 052031, 2016
6. [Results from Tunka-133 \(5 years observation\) and from the Tunka-HiSCORE prototype.](#), [Prosin V.V.](#) et al., *EPJ Web of Conferences*, v. 121, p. 03004, 2016
7. [The HiSCORE concept for gamma-ray and cosmic-ray astrophysics beyond 10 TeV.](#), [Tluczykont Martin](#), [Hampf Daniel](#), [Horns Dieter](#), [Spitschan Dominik](#), [Kuzmichev Leonid](#), [Prosin Vasily](#), [Spiering Christian](#), [Wischnewski Ralf](#), *Astroparticle Physics*, v. 56, p. 42-53, 2014
8. [Tunka-133: Results of 3 year operation.](#), [Prosin V.V.](#) et al. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 756, с. 94-101, 2014
9. [Tunka-25 Air Shower Cherenkov array: The main results.](#), [Budnev N.](#), . . . [Prosin V.](#) et al., *Astroparticle Physics*, v. 50, с. 18-25, 2013