

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Щепетова Александра Леонидовича
«Аппаратурно-программный комплекс для исследования космических лучей и
геофизических процессов на Тянь-Шаньской высокогорной станции»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики

Щепетов Александр Леонидович в 1989 году поступил работу в
Лабораторию космических лучей (в настоящее время - Лаборатория космических
лучей и атмосферных процессов) Отделения ядерной физики и астрофизики
Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) и в
настоящее время занимает в ней должность старшего научного сотрудника. Вся
его научная деятельность связана с экспериментальными исследованиями,
которые на протяжении трех последних десятилетий проводились на Тянь-
Шаньской высокогорной научной станции ФИАН (ТШВНС).

Так, с 1989 по 1999 год А. Л. Щепетов участвовал в комплексном
эксперименте HADRON, основной целью которого было изучение характеристик
взаимодействий сверхвысокой энергии, которые вызываются
сильновзаимодействующими частицами, следующими в составе стволов широких
атмосферных ливней (ШАЛ) с первичной энергией $E_0 \simeq (10^{14} - 10^{17})$ эВ. В
частности, в ходе этих исследований для регистрации адронной компоненты ШАЛ
был впервые применен нейтронный супермонитор НМ64, в работе с которым был
обнаружен новый, ранее неизвестный, эффект – повышенная множественность
генерации испарительных нейтронов при взаимодействиях адронов из ШАЛ,
принадлежащих к энергетической области излома первичного спектра
космических лучей, $E_0 = 3$ ПэВ. Как известно, излом в спектре космических
лучей, о существовании которого известно на протяжении более полувека, до сих
пор не получил общепринятого объяснения, и любая информация о поведении

феноменологических характеристик взаимодействий космических лучей в этом диапазоне энергий имеет особую ценность. А. Л. Щепетов был одним из основных участников экспериментов с нейтронным монитором на Тянь-Шаньской станции, и эти работы составили основу кандидатской диссертации, защищенной Александром Леонидовичем в 2001г.

С начала 2000-х годов А. Л. Щепетов принимал активное участие в работах, связанных с коренной модификацией экспериментальных установок ТШВНС и превращением ее в единый многоцелевой экспериментальный комплекс для проведения связанных общей логикой исследовательских работ в области физики космических лучей, астрофизики, атмосферной физики высоких энергий и сейсмологии. В ходе этой деятельности на Тянь-Шаньской станции был создан ряд установок нового поколения для регистрации частиц космических лучей и изучения характеристик их взаимодействия с веществом: распределенная система детекторов ШАЛ с расширенным динамическим диапазоном измерения плотности потока заряженных частиц; система подземных детекторов для регистрации мюонной компоненты ШАЛ; детекторы адронной компоненты ШАЛ на основе нейтронных счетчиков и гамма-детекторов с низким энергетическим порогом регистрируемых частиц; большой ионизационно-нейтронный калориметр INCA. Все эти направления развития Тянь-Шаньского экспериментального комплекса связаны с дальнейшим подробным исследованием энергетической области 10^{14} – 10^{17} эВ в спектре первичных космических лучей и сбором научных данных, необходимых для решения проблемы излома. Детекторы нового высокогорного комплекса по исследованию космических лучей позволили подробно исследовать пространственную структуру потока частиц ШАЛ с энергией $E_0 \simeq (10^{14} - 10^{17})$ эВ, в том числе в центральной области ливней, на расстоянии $\sim(1-3)$ м от оси, что оставалось недостижимым в прежних экспериментах с космическими лучами. Применение в составе комплекса нейтронных и гамма-детекторов с низким энергетическим порогом дало возможность изучать ранее нерегистрировавшиеся потоки тепловых нейтронов и мягких, $\simeq (30 - 3000)$ кэВ, гамма-квантов в области

ствола ШАЛ, что качественно улучшает информативность данных об адронной компоненте ШАЛ и открывает новый канал для получения сведений о взаимодействиях энергичных адронов космических лучей с веществом. Использование подземных детекторов для регистрации энергичных мюонов, позволило обнаружить ранее неизвестные особенности в поведении мюонной компоненты космических лучей.

Личный вклад А. Л. Щепетова в создание на Тянь-Шаньской станции нового комплекса для исследований, связанных с физикой космических лучей, заключается в проектировании, монтаже и наладке электронной аппаратуры для детекторов всех упомянутых выше экспериментальных установок. На основе пакета Geant4 А. Л. Щепетовым были построены модели новых детекторов и проводилось моделирование процессов регистрации ими частиц с учетом специфических особенностей ТШВНС. Им же были разработаны алгоритмы обработки поступающей от вновь созданных установок информации и необходимое для реализации этих алгоритмов их программное обеспечение. Окончательный ввод в строй новой установки для регистрации ШАЛ, ее эксплуатация во время тестовых измерений 2015–2019 гг и обработка полученного в этот период материала проводились при определяющем участии А. Л. Щепетова.

Другое направление исследований на новом многофункциональном экспериментальном комплексе Тянь-Шаньской станции связано с изучением той роли, которые взаимодействия частиц космических лучей с веществом земной атмосферы играют в процессах, связанных с атмосферным электричеством. С этой целью в течение последних десятилетий на станции поэтапно создавался экспериментальный комплекс «Гроза», включающий в себя установки для регистрации энергичных электронов и гамма-излучения, которые генерируются в грозовых облаках в начальной стадии развития молниевых разрядов, а также гамма-, оптического и радио (в различных диапазонах частот) излучения молний. При этом предусмотрена взаимная синхронизация экспериментальных подсистем ТШВНС, которые предназначены для исследования космических лучей и

атмосферного электричества. В ходе этих работ по инициативе А. Л. Щепетова были созданы специальные высотные пункты для проведения исследований, связанных с регистрацией различного излучения от молниевых разрядов в непосредственной близости (десятки и сотни метров) к пространственной области их развития в грозовых облаках. Им же была разработана специальная методика надежных измерений в таких условиях, и он лично обеспечивал их проведение на протяжении грозовых сезонов 2015–2019 гг. В результате этих экспериментов были получены временные распределения интенсивности и распределения по энергиям для потоков ускоренных электронов (с энергиями >2 МэВ и $>(80-100)$ МэВ) и гамма-квантов (в диапазоне $(20-3000)$ кэВ), которые регистрировались на расстоянии $\sim(50-100)$ м от молниевых разрядов в событиях, относящихся к различным типам грозовой активности: медленные возрастания интенсивности жестких излучений в период, предшествующий молниевому разряду, и короткий мощный всплеск излучений в момент инициации молнии. В экспериментах по синхронной регистрации излучения от молний в радио-, оптическом и гамма-диапазонах электромагнитного спектра были обнаружены различные типы электрических разрядов, существенно отличающиеся по своему временному поведению: короткие импульсы с длительностью менее одной миллисекунды и длительные непрерывные разряды с продолжительностью $(300-500)$ мс. Наблюдались события с различными особенностями в спектре излучений: кратковременные (<100 мкс) импульсы гамма-излучения на начальной стадии разряда, «голубые» и «красные» вспышки с максимальной амплитудой соответственно в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах длин волн, «темные» разряды без заметного излучения в оптическом диапазоне. Все эти экспериментальные данные необходимы для разработки современных моделей развития молнии, многие вопросы в физике которой к настоящему времени, как известно, остаются открытыми.

Другое направление исследований геофизической тематики, развиваемое на ТШВНС, заключается в поиске возможной связи между космическими лучами и

сейсмическими эффектами. Согласно существующим гипотезам, ионизация, создаваемая при прохождении энергичных мюонов космических лучей через сейсмически напряженные области в глубине литосферы, может провоцировать образование микротрещин, сопровождающееся генерацией упругих колебаний, которые затем распространяются в виде звуковой волны и могут быть зарегистрированы на поверхности Земли. Такой механизм, в случае его реализации, мог бы оказаться весьма полезным для слежения за уровнем сейсмической активности в окружающем регионе, и, в частности, для прогноза землетрясений. На ТШВНС уникальным образом сочетаются все необходимые условия для эффективной проверки этой теории: здесь имеются детекторы, которые могут обеспечить непрерывный мониторинг событий ШАЛ, служащих источником энергичных мюонов, а сама станция располагается в сейсмически активном регионе, непосредственно над глубинным литосферным разломом. В соответствии с этим, при активном участии А. Л. Щепетова на Тянь-Шаньской станции был создан пункт регистрации акустических сигналов сейсмического происхождения, и им же проводился специальный эксперимент, в результате которого были впервые обнаружены ранее неизвестные, статистически значимые корреляции между такими сигналами и прохождением мощных ШАЛ.

По инициативе А. Л. Щепетова и при его определяющем участии на Тянь-Шаньской высокогорной станции была создана объединенная база данных, где содержится информация обо всех проводимых на ТШВНС экспериментах, и в которую в реальном времени загружаются данные со всех измерительных установок. К этой базе организован доступ по сети Интернет, что позволяет вести обработку экспериментальных данных станции участниками различных исследовательских групп по всему миру.

Таким образом, можно констатировать, что при активном участии А. Л. Щепетова к настоящему времени на Тянь-Шаньской высокогорной станции ФИАН, впервые в условиях высокогорья, был создан отвечающий современному уровню экспериментальной техники многоцелевой комплекс детекторов для

проведения взаимосвязанных исследований в области физики космических лучей, атмосферной физики высоких энергий, физики солнечно-земных связей, геофизики. Результаты, полученные в ходе этой деятельности неоднократно публиковались в ведущих рецензируемых журналах: «Atmospheric Research», «The European Physical Journal Plus», «Journal of Physics: Conference Series», «Journal of Physics G: Nuclear and Particles Physics», «Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment», «Physical Review D», «Physical Review Letters», «Успехи физических наук», а также представлялись в докладах на ряде международных научных конференций по исследованию космических лучей (ICRC), российских конференций (ВККЛ) и международных симпозиумов по космическим лучам и физике атмосферного электричества (ТЕРА).

Принимая во внимание вышесказанное, подтверждаю определяющий личный вклад соискателя в изложенные в диссертации результаты и считаю, что следует признать диссертационную работу Александра Леонидовича Щепетова по содержанию и уровню представленных результатов соответствующей требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Научный консультант диссертации
доктор физико-математических наук,
заместитель директора ФИАН



Рябов Владимир Алексеевич

21.09.20

Подпись Рябова В.А. заверяю,
ученый секретарь ФИАН,
кандидат физико-математических наук



Колобов Андрей Владимирович