

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Петрухина Анатолия Афанасьевича
на диссертацию 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

Целью и основным результатом диссертационной работы А.Л. Щепетова является разработка и создание не имеющего аналога в мире многоцелевого экспериментального комплекса на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции (ТШВНС) для проведения исследований в области физики космических лучей и геофизики.

Актуальность создания такого комплекса определяется тем, что в течение 60-ти лет после обнаружения излома в энергетическом спектре космических лучей при энергии ~ 3 ПэВ так и не было найдено общепринятого объяснения причин его образования. Помимо этого, в той же области энергий были зарегистрированы другие явления, которые трудно объяснить в рамках существующих представлений об энергетическом спектре и составе первичных космических лучей и моделей их взаимодействия с ядрами атомов атмосферы. Для решения этих задач необходимы детальные исследования различных компонент ШАЛ, проводимых на одном экспериментальном комплексе, требования к составу которого и к точности измерений на отдельных детекторах непрерывно растут. По этой причине программа коренной модернизации детекторов и установок ТШВНС, в рамках которой выполнялась диссертационная работа, является безусловно актуальной.

Переходя к анализу результатов диссертационной работы, степени их обоснованности, достоверности и новизны, следует отметить, что в

Заключении диссертации сформулировано 7 крупных блоков полученных результатов, большинство из которых включает отдельные пункты в общем количестве 18 штук. Таким образом, в Заключении сформулированы 25 результатов и выводов из проделанной работы, что существенно превышает среднее количество результатов в докторских диссертациях. Поэтому полученные результаты целесообразно разделить на три группы: результаты разработки и создания экспериментального комплекса; результаты моделирования и создания программного обеспечения; физические результаты, полученные по итогам проведенных тестовых исследований.

Результаты первой группы включают создание новой системы детекторов (ливневой установки) для регистрации заряженной компоненты ШАЛ; подсистемы нейтронных детекторов для изучения адронной компоненты ШАЛ; специальных детекторов нейтронов, генерируемых мюонами, для изучения мюонной компоненты ШАЛ; гамма-детекторов для регистрации мягкого излучения, генерируемого адронной компонентой ШАЛ, а также совокупность различных детекторов для исследований в области атмосферной физики высоких энергий, включающих детекторы электронов и электромагнитного излучения в широком диапазоне от гамма-до радио-частот. Отдельного упоминания заслуживает создание системы детекторов для регистрации сейсмических сигналов.

В диссертации приведено достаточно подробное описание перечисленных детекторов и систем, совокупность которых обеспечивает новый подход к исследованиям ШАЛ, особенно их адронной и мюонной компонент, а дальнейшее развитие геофизических и сейсмических исследований вообще представляет новое направление работ на ТШВНС, первоначально предназначенной для исследований космических лучей сверхвысоких энергий. Поэтому эта часть результатов диссертационной работы не вызывает никаких сомнений, отличается обоснованностью, достоверностью и новизной. А если учесть, что все это было сделано в условиях высокогорья и в не самое лучшее время для создания подобного

экспериментального комплекса для фундаментальных исследований, то это достижение трудно переоценить.

Важность второй группы результатов для успешного функционирования созданного экспериментального комплекса также не вызывает сомнений. В первую очередь необходимо отметить разработку программ для оперативного управления всеми подсистемами экспериментального комплекса в процессе измерений, а также для приема, обработки и хранения информации, для которой созданы системы взаимосвязанных баз данных и программных интерфейсов, обеспечивающих доступ к этой информации внешним пользователям в режиме реального времени. Это безусловно важное достижение, которое в значительной степени будет способствовать успешному проведению исследований на созданном комплексе.

Безусловную ценность имеют созданные программные модели детекторов и характерных для ТШВНС объектов окружающей среды, которые использовались в диссертации при проведении различных расчетов, необходимых для оценки условий постановки соответствующих экспериментов и сравнения их результатов с ожидаемыми значениями. В целом эта часть полученных результатов выглядит вполне обоснованно и достоверно, и вполне естественно, что созданное программное обеспечение и совокупность программных моделей выносятся на защиту (п.2 и п.4). Однако, вызывает удивление п.3, в котором на защиту выносятся известные математические методы, использовавшиеся в диссертации для решения различных задач.

Третья часть результатов была получена в период тестовой эксплуатации экспериментального комплекса. Впечатляет длительность этого периода (2015-2019 гг.), которая позволила не только проверить работу всех созданных детекторов и систем, а также методов обработки полученных данных, но и получить ряд интересных научных результатов. В то же время необходимо отметить отсутствие в диссертации данных о результатах

исследования долговременного поведения основных характеристик экспериментального комплекса (частота срабатывания различных детектирующих элементов, стабильность параметров, влияющих на результаты измерений, в первую очередь эффективности регистрации и т.п.).

В диссертации подобной информации практически нет, а имеющихся данных, приведенных, например, на рисунках 2.25 (стр. 124) и 3.8 (стр. 151) явно недостаточно.

Что касается новых физических результатов, полученных в диссертационной работе, то по ним можно сделать следующие заключения. В первую очередь следует отметить результаты по пространственному распределению электронов на малых расстояниях от оси ШАЛ, а также мягкого гамма-излучения от ШАЛ, которые безусловно являются новыми. Также новым является подход к исследованию характеристик потока мюонов путем регистрации нейтронов, генерируемых мюонами в неупругих взаимодействиях. Но здесь есть некоторые подводные камни, которые необходимо уточнить. Так как фактически регистрируются не мюоны, а тепловые нейтроны, то их происхождение нельзя однозначно связать с какими-то определенными частицами при прохождении через установку фронта ШАЛ. Это особенно касается результата по задержанным мюонам, информация о которых извлекается из зарегистрированных нейтронов. Учитывая, что тепловые нейтроны имеют достаточно большой пробег в грунте, то такие нейтроны (скорость ~ 2000 м/с), образованные мюонами или любыми другими частицами при прохождении ливня на расстояниях больше ~ 2 м, попадут в детектор с задержкой ~ 1 мс. К сожалению, в диссертации результаты моделирования таких процессов отсутствуют.

Большой, и вполне оправданный, интерес вызывают результаты исследования электрических разрядов в различных диапазонах энергетического спектра, в том числе от молний на небольших расстояниях ~ 100 м. Как можно понять из диссертации, исследования этих процессов

находятся еще в начальной стадии, и их продолжение приведет к новому пониманию развития электромагнитных процессов в атмосфере.

Тестовые испытания показали и хорошую работу акустической аппаратуры, измерения с помощью которой приведут к лучшему пониманию связи акустических явлений с прохождением высокоэнергетичных ШАЛ, тем более, что в диссертации приведены обнаруженные корреляции между ними.

Переходя к оценке диссертации в целом, следует отметить, что она представляет собой солидный научный труд объемом 300 страниц, который будет несомненно полезным для всех, кто будет работать с созданным экспериментальным комплексом.

Диссертация написана четким языком, хорошо логически структурирована, содержит незначительное количество грамматических и синтаксических ошибок. В основном это стандартные для диссертационных работ недостатки: использование глагола «производятся» вместо «проводятся» (исследования, моделирование, расчеты и т.п.), которое отмечено в 29 случаев (~ 30%), использование в одном предложении слов «который», относящихся к разным понятиям (см. например стр. 113 и 127), отсутствие запятых в причастных оборотах и других выделенных выражениях (стр. 180 и 237).

Все основные результаты диссертационной работы опубликованы, содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа А.Л. Щепетова «Аппаратурно-программный комплекс для исследования космических лучей и геофизических процессов на Тянь-Шаньской высокогорной станции» соответствует требованиям, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук согласно «Положению о порядке присуждения ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 года № 335, а ее автор Щепетов Александр Леонидович безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора

физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики за разработку и создание не имеющего аналога в мире многоцелевого экспериментального комплекса на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции (ТШВНС) для проведения исследований в области физики космических лучей и геофизики, необходимых программных средств, обеспечивающих его функционирование и получение физических результатов во время длительных испытаний экспериментального комплекса.

Официальный
оппонент:




Петрухин Анатолий Афанасьевич
доктор физико-математических наук
по специальности 01.04.16,
профессор, главный научный сотрудник
Научно-образовательного центра НЕВОД
Национального исследовательского
ядерного университета МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31
телефон: 8(499) 324-87-80,
e-mail: AAPetrukhin@mephi.ru

15 января 2021 г.



Подпись
ЗАВЕРЯЮЩИЙ
ДИРЕКЦИИ
ПЕРСОНАЛОМ
С.А. ФЕДКО



Список основных публикаций д. ф.-м. н. Петрухина
по тематике диссертации Щепетова А.Л. за 2015–2020 годы:

1. Cherenkov water detector NEVOD and its further development / A.A. Petrukhin // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A – 2020 – Vol. 952 – P. 161585.
2. Possible explanation of results of CR investigations in the energy interval $10^{15} - 10^{17}$ eV: Nuclear-physical approach / A.A. Petrukhin and A.G. Bogdanov // Journal of Physics: Conference Series – 2019 – Vol. 1181, Is. 1 – P.012022. Code 146680
3. Near-Vertical Local Density Spectra of the EAS Charged Particles in the Energy Range of 1014–1017 eV / M.B. Amelchakov, A.G. Bogdanov, S.S. Khokhlov, R.P. Kokoulin, A.A. Petrukhin, I.A. Shulzhenko, I.I. Yashin // Physics of Atomic Nuclei – 2019 – Vol. 82, No. 6 – P. 699–703.
4. Multicomponent Registration of the EAS / M.B. Amelchakova, N.S. Barbashina, A.G. Bogdanov, D.M. Gromushkin, E.A. Zadeba, V.V. Kindin, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, A. Chiavassa, G. Mannocchi, O.I. Likiy, A.A. Petrukhin, Yu.V. Stenkin, G. Trincherо, S.S. Khokhlov, I.A. Shulzhenko, V.V. Shutenko, K.O. Yurin, I.I. Yashin // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics – 2019 – Vol. 83, No. 8 – P. 987–990.
5. Possible approach to the analysis of nucleus-nucleus interactions at very high energies / A.A. Petrukhin, E.S. Sozinov and V.V. Shutenko // Journal of Physics: Conference Series– 2019 – Vol. 1181, Is. 1 – P.012090. Code 146680.
6. Investigation of very high energy cosmic rays by means of inclined muon bundles / A.G. Bogdanov, R.P. Kokoulin, G. Mannocchi, A.A. Petrukhin, O. Saavedra, V.V. Shutenko, G. Trincherо, I.I. Yashin // Astroparticle Physics – 2018 – Vol. 98. – P.13–20.
7. Investigation of EAS electron and muon components by means of the NEVOD calibration telescope system / M.B. Amelchakov, A.G. Bogdanov,

- R.P. Kokoulin, A.A. Petrukhin, S.S. Khokhlov, I.A. Shulzhenko and I.I. Yashin // *Journal of Physics: Conf. Series* – 2017 – Vol. 798 – P.012044.
8. Energy Deposits of Muon Bundles in Inclined EASes with Energies of 10^{16} – 10^{18} eV / A.G. Bogdanov, N.S. Barbashina, L.I. Dushkin, V.V. Kindin, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, G. Mannocchi, A.A. Petrukhin, O. Saavedra, G. Trincherro, V.A. Khomyakov, S.S. Khokhlov, D.V. Chernov, V.V. Shutenko, E.A. Yurina, and I.I. Yashin // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* – 2017 – Vol. 81, No. 4 – P. 484–486.
 9. Cluster type EAS array of the NEVOD experimental complex / Amelchakov, M.B., Ampilogov, N.V., Astapov, I.I., Barbashina, N.S., Bogdanov, A.G., Chiavassa, A., Gromushkin, D.M., Khokhlov, S.S., Kokoulin, R.P., Kompaniets, K.G., Likiy, O.I., Ovchinnikov, V.V., Petrukhin, A.A., Saavedra, O., Shulzhenko, I.A., Yashin, I.I. // *Journal of Instrumentation* – 2017 – Vol. 12 (6) – C06033.
 10. Energy characteristics of multi-muon events in a wide range of zenith angles. A.G. Bogdanov, N.S. Barbashina, D.V. Chernov, L.I. Dushkin, S.S. Khokhlov, V.A. Khomyakov, V.V. Kindin, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, G. Mannocchi, A.A. Petrukhin, O. Saavedra, G. Trincherro, V.V. Shutenko, I.I. Yashin and E.A. Yurina // *Journal of Physics: Conference Series* – 2016 – Vol. 798 – P. 012049.
 11. Investigation of the energy characteristics of EAS muon component with the NEVOD-DECOR setup. A.G. Bogdanov, N.S. Barbashina, L.I. Dushkin, V.V. Kindin, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, G. Mannocchi, A.A. Petrukhin, E.V. Romanenkova, O. Saavedra, G. Trincherro, V.A. Khomyakov, S.S. Khokhlov, D.V. Chernov, V.V. Shutenko, E.A. Yurina, I.I. Yashin // *Journal of Physics: Conference Series* – 2016 – Vol. 675, No 3 – P. 032035.
 12. Real-time data of muon hodoscope URAGAN. I.I. Yashin, I.I. Astapov, N.S. Barbashina, V.V. Borog, A.N. Dmitrieva, R.P. Kokoulin, K.G. Kompaniets, A.A. Petrukhin, V.V. Shutenko, E.I. Yakovleva // *Advances in Space Research* – 2015 – Vol. 56, No 12 – P. 2693–2705.