

ОТЗЫВ

официального оппонента Шаулова Сергея Борисовича на диссертационную работу Аврорина Александра Дмитриевича «Регистрация мюонов на глубоководном нейтринном телескопе Baikal-GVD», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа А.Д. Аврорина посвящена разработке и практической реализации алгоритмов обработки мюонных событий, зарегистрированных на установке Baikal-GVD. Это основной метод регистрации нейтрино, который заключается в регистрации Черенковского излучения вторичных мюонов, образованных нейтрино в водной среде озера. Проект Baikal-GVD является продолжением работ с первым в мире глубоководным нейтринным телескопом НТ-200. В его рамках предполагается создание на оз. Байкал одного из трех крупнейших в мире нейтринных телескопов с подводной областью регистрации нейтринных сигналов около одного кубического километра. Работа Аврорина А.Д. была выполнена на основе экспериментального материала, полученного на первой очереди установки – кластере Baikal-GVD (введен в эксплуатацию в 2015 году).

Работа установки такого масштаба в режиме, который исключает возможность непосредственного доступа к детекторам и электронике в течении года, налагает жесткие требования на контроль работы всех подсистем установки, достоверность передаваемых данных и их полноту.

Диссертация А.Д.Аврорина включает самостоятельный блок задач по выделению и восстановлению событий на фоне нефизических сигналов и подготовке кадра данных для передачи в центр и последующей обработки (система обработки данных “BARS”).

Подготовка данных имеет принципиальное значение и особенно важна в любом эксперименте, тем более работающем в автономном режиме. Как правило, первичные данные восстановлению не подлежат, в то же время достоверность именно этих данных во многом определяет надежность конечной информации в банках данных.

Ясная архитектура первичных данных важна еще по одной причине. Эксперимент такого типа рассчитан не на один десяток лет и предполагает участие не только его создателей, но и новых участников, которым придется впервые знакомиться со всей его инфраструктурой.

Положения, вынесенные на защиту:

1. Результаты оптимизации режима работы триггерной системы Baikal GVD для регистрации мюонов (эффективная площадь кластера для мюонов с энергией 10 ТэВ составляет $\sim 2 \cdot 10^4 \text{ м}^2$).

2. Архитектура системы обработки данных “BARS” нейтринного телескопа Baikal-GVD, обеспечивающая стандартизацию структур данных, процесса их обработки и физического анализа.

3. Алгоритм и пакет программ для мюонной калибровки данных.

4. Результаты подготовки данных для восстановления мюонных событий, а именно результаты калибровки каналов, формирования событий и определения координат оптических модулей в момент регистрации события.

5. Результаты мюонной калибровки каналов, позволяющие определить величину межканальных временных сдвижек и стабильность работы каналов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (135 страниц, 89 рисунков, 3 таблицы и список цитируемой литературы из 70 наименований).

Во введение диссертации обосновывается актуальность, достоверность и научная новизна работы.

В первой главе описан общий принцип работы крупномасштабных нейтринных телескопов и представлен обзор установок NT-200, AMANDA, ANTARES и IceCube, на которых решались аналогичные задачи регистрации мюонов, образованных в нейтринных взаимодействиях. Подробно описаны методы калибровки и подготовки данных, используемые в этих детекторах.

Вторая глава диссертационной работы посвящена описанию детектора Baikal-GVD. Описана конструкция и система сбора данных телескопа. Особое внимание уделено триггерной системе установки, в частности, задаче оптимизации триггерных условий для регистрации мюонов. Представлены функциональные схемы элементов системы сбора данных, от оптического модуля до центра управления кластера.

В третьей главе приведены требования к пакету обработки данных BARS и его архитектуре, представлено детальное описание пакета. .

В четвертой главе описана методика калибровки оптических каналов (амплитудная и временная), кабельных коммуникаций, выделения физических сигналов и определения их амплитуды, длительности, заряда (интегральная характеристика импульса). Численные характеристики импульсов корректируются с учетом амплитудных, зарядовых и временных калибровочных коэффициентов. Описана процедура формирования общего триггера кластера при поступлении локальных триггеров с секций и определения положений оптических детекторов.

В последней, пятой, главе диссертации представлены результаты анализа данных, полученных при регистрации мюонов на кластере Baikal-GVD. В ней описывается методика формирования событий, регистрируемых

телескопом, и приводятся результаты временной калибровки каналов с помощью атмосферных мюонов.

Приведенные А. Д. Аврориным результаты можно классифицировать как новые, вполне обоснованные и имеющие большое практическое значение. Несомненной заслугой автора является его непосредственное участие в эксплуатации и ежегодных профилактиках установки. Знакомство с установкой "руками" ничем нельзя заменить и, в частности, при написании программных продуктов.

Вместе с тем к работе есть ряд замечаний:

1. Важным условием работы нейтринного телескопа является стабильность его характеристик в течении многих лет эксплуатации. В диссертации практически отсутствует анализ долгосрочной стабильности калибровочных процедур пакета BARS с аппаратной точки зрения.
2. В диссертации указано, что водная среда обладает большей длиной поглощения сигнала по сравнению со льдом, но влияние этого фактора на точность конечных характеристик регистрации нейтрино отсутствует.
3. Недостатком является то, что пакет BARS не имеет графического интерфейса. В процессе эксплуатации установки и особенно при ее настройке после ежегодной профилактики такой интерфейс необходим.
4. Метод определения координат фотодетекторов (глава 4) основывается на предположении о параллельном сдвиге гирлянд установки. Для его обоснования следовало бы рассмотреть варианты конкретных воздействий на установку внешних условий.
5. В главе 5 представлена оригинальная методика мюонной калибровки на установке Baikal-GVD, но отсутствует анализ ее преимуществ по сравнению с аналогичными процедурами, применяемыми в других нейтринных телескопах.

6. К недостаткам следует также отнести некоторую конспективность изложения и использование в ряде случаев рабочих терминов без их пояснения. Например, описание процедуры формирования общего триггера кластера и объединения событий в случае расхождения триггеров от секций практически отсутствует (глава 4). Фраза об объединении событий с помощью анализа временных интервалов между мастерными записями ничего не проясняет и является примером местного слэнга.
7. Есть некоторые замечания к оформлению рисунков. В ряде случаев основные пояснения представлены в виде системной информации графической программы и отсутствуют в надписях к рисункам, что затрудняет их восприятие.
8. Последнее замечание касается довольно большого числа синтаксических ошибок и опечаток, которые не украшают стиль изложения материала.

Выводы:

1. Актуальность: Тема диссертации актуальна в первую очередь для реализации задач эксперимента Baikal-GVD и обеспечения его эффективной работы. Выполненные диссертантом работы:

- оптимизация триггерной системы Baikal-GVD для выделения мюонных событий;
 - исследование разных методов калибровки каналов регистрации;
 - разработка алгоритмов и методов обработки физических событий с целью их подготовки к проведению физического анализа в условиях значительных объемов экспериментальных данных;
- являются необходимым условием получения физических результатов.

2. Новизна: Система калибровки и подготовки данных BARS является оригинальной разработкой и создана на современном уровне.

3. Вклад автора. Разработка и создание пакета BARS, являющегося отдельной подсистемой структуры обработки данных эксперимента Baikal-GVD, полностью выполнена А.Д.Аврориным. Автором осуществлена ее апробация на первом кластере установки Baikal-GVD.

Автор также принимал участие в эксплуатации и профилактике установки Baikal-GVD

4. Практическое значение. Создание пакета BARS обеспечивает многолетнюю эксплуатацию и развитие уникального глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD. Кроме того архитектура подготовки данных и конкретные методики калибровки, разработанные А.Д.Аврориным, могут в дальнейшем найти применение при проектировании установок в области физики высоких энергий.

Сделанные ранее замечания не носят принципиального характера и не умаляют общей высокой оценки работы. Выводы диссертанта не вызывают сомнений в важности и ценности полученных результатов.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, результаты которой опубликованы в 5 статьях в научных журналах, входящих в рекомендованный ВАК перечень. Работы с участием А. Д. Аврорина неоднократно докладывались на отечественных и международных конференциях и рабочих совещаниях, материалы которых также опубликованы в реферируемых журналах.

В заключение, отмечаю, что результаты, представленные в диссертации А. Д. Аврорина, являются достоверными, сама работа выполнена на высоком профессиональном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением

Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 и предъявляемого к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Аврорин Александр Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент Шаулов Сергей Борисович,
доктор физ.-мат. наук, профессор МФТИ,
зав. лабораторией адронной астрофизики ОКИ ОЯФА ФИАН,
Тел. 8(499)135-42-64, E-mail: ser101@inbox.ru
Адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН).

12 ноября 2016 года

С.Б.Шаулов

Подпись С.Б.Шаулова удостоверяю
учёный секретарь ФИАН, к.ф.-м.н.

А.В.Колобов

Шаулов Сергей Борисович

(01.04.16, Физика атомного ядра и элементарных частиц)

Список публикаций по теме диссертации за 2011-2016 годы:

1. Р.А. Антонов, С.П. Бесшапов,, Е.А. Бонвеч, В.И. Галкин, Т.А. Джатдоев, Т.М. Роганова, Т.И. Сысоева, А.С. Петкун, Мих. Фингер, Мир. Фингер, Д.В. Чернов, С.Б. Шаулов, Эксперимент СФЕРА:, Изв. РАН. Сер. физ., 2011, Т.75, №6, С.923-925.
2. Антонов Р.А., Бесшапов С.П., Бонвеч Е.А., Галкин В.И., Джатдоев Т.А., Петкун А.С., Подгрудков Д.А., Роганова Т.М., Сысоева Т.И., Фингер Мих., Фингер Мир.*, Чернов Д.В.*, Шаулов С.Б., Эксперимент СФЕРА: Байкал 2010.// Известия РАН, сер. физ., 2011, №4.
3. С.Б.Шаулов, Гипотеза странной кварковой материи в космических лучах, Препринт ФИАН N 19, стр. 3-42, Москва 2012-12-06
4. Antonov R.A.,Beschaporov S.P.,Bonvech E.A.,Chernov D.V.,Dzhatdоеv T.A.,Finger M.,Galkin V.I. Kabanova N.N.,Petkун A.S.,Podgrudkov D.A.,Roganova T.M.,Shaulov S.B.,Sysoeva T.I., Status of the SPHERE experiment, в журнале ArXiv e-prints, 2012
5. Antonov R.A., Beschaporov S.P., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdоеv T.A., Finger M., Galkin V.I., Kabanova N.V., Petkун A.S., Podgrudkov D.A., Roganova T.M., Shaulov S.B., Sysoeva T.I., Results on the primary CR spectrum and composition reconstructed with the SPHERE-2 detector, в журнале ArXiv e-prints, 2012
6. Антонов Р.А., Бесшапов С.П., Бонвеч Е.А., Галкин В.И., Джатдоев Т.А., Кабанова Н.Н., Петкун А.С., Подгрудков Д.А., Роганова Т.М., Сысоева Т.И., Мир Фингер, Мих Фингер, Чернов Д.В., Шаулов С.Б., РЕКОНСТРУКЦИЯ СПЕКТРА ВСЕХ ЯДЕР И ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНОГО СОСТАВА ПКЛ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ СФЕРА, Известия РАН. Сер. физ., том 77, № 11, с. 1564-1567, 2012

7. S.B.Shaulov, S.P. Bezshapov, Looking for Strange Quark Matter in Cosmic Rays, Proc. of XVII ISVHECRI 2012, European Physical Journal, Web of Conferences 52, 04010, p. 1-8 (2013)
8. S B Shaulov, S P Bezshapov, Status, methods and aims of the knee investigations at CR Spectrum, ECRS 2012 Moscow, Journal of Physics: Conference Series, Volume 409, Number 1, 2013, pp. 12072-12075(4)
9. Antonov, R A; Beschapov, S P; Bonvech, E A; Chernov, D V; Dzhatdov, T A; Finger, Mir; Finger, Mix; Galkin, V I; Kabanova, N V; Petkun, A S; Podgrudkov, D A; Roganova, T M; Shaulov, S B; Sysoeva, T I, Results on the primary CR spectrum and composition reconstructed with the SPHERE-2 detector, Journal of Physics: Conference Series, Volume 409, N 1, 2013 , pp. 12088-12091(4), *Информация о цитировании статьи получена из Scopus, Web of Science*
10. Antonov R.A., Beschapov S.P., Bonvech E.A., Chernov D.V., Dzhatdov T.A., Finger Mir, Finger M., Galkin V.I., Kabanova N.N., Petkun A.S., Podgrudkov D.A., Roganova T.M., Shaulov S.B., Sysoeva T.I., Status of the SPHERE experiment, Journal of Physics, том 409, № 1, с. 012094-012097, 2013
11. Д.В.Чернов, Р.А.Антонов, Т.В.Аулова, С.П.Бесшапов, Е.А.Бонвеч, В.И.Галкин, Т.А.Джатдоев, А.С.Петкун, Д.А.Подгрудков, Т.М.Роганова, Т.И.Сысоева, МИР.Фингер, МИХ.Фингер, С.Б.Шаулов, Исследование чувствительности к химическому составу ПКЛ по данным установки
12. СФЕРА-2, Изв. РАН, сер. физ., 2015, том 79, № 3, с. 392-394 Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics March 2015, Volume 79, Issue 3, pp 359-361 First online: 11 April 2015
13. С.П.Бесшапов, С.Б.Шаулов, Экспериментальные указания на аномальный вклад в космические лучи от близкого одиночного источника, Изв. РАН, сер. физ., 2015, том 79, № 3, с. 343–344 Materials of the XXXIII National Conference on Cosmic Rays Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics March 2015, Volume 79, Issue 3, pp 311-312

14. С.Б.Шаулов, Космические лучи о странных кварковых звездах, монография, ISBN: 978-3-659-77433-1, LAP LAMBERT Academic Pablishin, Deutchland, 2015, P. 1-129
15. С.Б.Шаулов, Введение в механику Вселенной, учебное пособие, М.: МФТИ, 2015, стр. 3-284, ISBN 978-5-7417-0575-9