

Физический



ИНСТИТУТ

имени

П.Н. Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, ГСП-1, Москва,
Ленинский проспект, 53, ФИАН
Телефоны: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>
postmaster@lebedev.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН,
д.ф-м.н

_____ С.Ю. Савинов

24 ноября 2016 г.

Дата

№

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук – на диссертацию Шейфлера Алексея Александровича «Оптический модуль Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD (разработка и испытания регистрирующей системы)», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа Шейфлера А. А. посвящена разработке регистрирующей системы оптического модуля, оптимизированного для работы в составе Байкальского глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD, исследованию его характеристик и созданию автоматизированной системы для калибровки и проверки оптических модулей в условиях их массового производства.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка иллюстративного материала и таблиц, списка сокращений и условных обозначений, списка терминов, списка литературы. Общий объем диссертации составляет 166 страниц, включая 106 рисунков, 20 таблиц и список цитируемой литературы из 89 ссылок.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цель и основные задачи исследования. Излагается научная и практическая значимость полученных результатов диссертационной работы. Перечисляются положения, выносимые на защиту, и указываются данные об апробации работы и личном вкладе автора. Также описывается структура диссертации.

В первой главе рассматриваются различные типы фотодетекторов (оптических модулей), разработанных для нейтринных телескопов: NT-200, НЕВОД, AMANDA, IceCube, ANTARES, NESTOR, NEMO, KM3Net и обсуждается влияние на выбор основных параметров оптических модулей условий их эксплуатации: характеристик излучения Вавилова-Черенкова, величины светового фона, инфраструктуры телескопов, способов развёртывания телескопов, организации системы сбора данных. В конце главы приводится сравнение характеристик оптических модулей.

Во второй главе представлено обоснование требований к техническим и конструктивным параметрам оптического модуля Baikal-GVD.

В третьей главе описываются конструкция оптического модуля и принцип его работы, а также характеристики основных компонентов модуля.

В четвертой главе приводится описание автоматизированного стенда для исследований оптических модулей и их паспортизации, представлены методика измерения параметров модулей и анализ полученных результатов.

В шестой главе представлены выборочные результаты натурных испытаний оптических модулей в оз. Байкал: мониторинг, результаты калибровки, регистрации мюонов. Также дана оценка надежности оптического модуля.

В заключении приводятся основные результаты выполненной работы.

Актуальность диссертационной работы

В настоящее время в оз. Байкал создается Глубоководный нейтринный телескоп Baikal-GVD масштаба кубического километра. Характеристики фотоприемников оптических модулей и функциональность их электронных узлов в значительной степени определяют параметры нейтринного телескопа: величину эффективного объема детектора, энергетическое и угловое разрешение установки, надежность и стабильность работы регистрирующей системы в целом. В свою очередь конструкция оптических

модулей является одним из определяющих факторов для оперативного развертывания крупномасштабной установки, содержащей более двух тысяч оптических модулей.

Основные результаты

К основным результатам диссертационной работы, которые имеют научную новизну и значимость, можно отнести следующие:

- на базе ФЭУ с повышенной квантовой чувствительностью фотокатода (~ 35 %) создан оптический модуль, оптимизированный для работы в составе Глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD;
- разработана методика и создано программное и аппаратное обеспечение для проверки, калибровки и паспортизации оптических модулей;
- проведены измерения основных параметров оптического модуля: темновой скорости счета сигналов, формы импульсов в однофотозлектронном и многофотозлектронном режимах работы, временного разрешения, работа в режиме “насыщения”, параметры послеимпульсов, угловой зависимости отклика ОМ.

Научная новизна полученных результатов

Разработанный в рамках диссертационной работы Шейфлера А. А. оптический модуль является основным регистрирующим элементом уникальной установки: глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD масштаба кубического километра. Представленный вариант оптического модуля сочетает в себе функциональную законченность, позволяющую диагностировать его состояние и осуществлять проверку, калибровку и мониторинг параметров в режиме удаленного доступа, и простоту конструкции, обеспечивающую возможность его надежной и быстрой сборки и оперативного монтажа со льда оз. Байкал. Разработанная Шейфлером А. А. методика исследований характеристик оптических модулей и результаты измерений их параметров в достаточной степени характеризуют ОМ как фотодетекторы нейтринного телескопа.

Автором диссертации впервые получены экспериментальные данные об основных характеристиках оптических модулей Baikal-GVD: темновой скорости счета сигналов, формы импульсов в однофотозлектронном и многофотозлектронном режимах работы, временного разрешения, отклика на

“большие” световые импульсы (работа в режиме “насыщения”), параметры послеимпульсов, угловой зависимости отклика ОМ.

Научно-практическая значимость работы

Разработанная методика и программное обеспечение автоматизированной калибровки и проверки могут быть использованы в детекторах, в регистрирующих системах которых применяются фотоэлектронные умножители.

Результаты проведенных исследований оптических модулей будут востребованы при моделировании отклика детектора, статистической обработке данных, отборе и восстановлении параметров физических событий Глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD в ближайшем будущем.

Замечания по работе

1. На работающих и проектируемых нейтринных телескопах (IceCube, KM3Net) применяются так называемые ”цифровые” оптически модули (преобразование сигналов в цифровой вид осуществляется непосредственно в оптическом модуле). К сожалению, в диссертационной работе не обсуждаются причины, по которым в установке Baikal-GVD используются оптические модули с аналоговым выходом: аналогово-цифровые преобразователи вынесены в отдельный глубоководный модуль.
2. В диссертационной работе подробно представлены результаты измерений характеристик оптических модулей Baikal-GVD: в общей сложности Шейфлером А. А. было протестировано и подготовлено к монтажу в оз. Байкал более 300 модулей. Однако в работе не указаны допустимые границы параметров оптических модулей (высоковольтного напряжения, временного разрешения, темновых шумов и др.) и не представлены данные о возможной отбраковке модулей по этим параметрам.
3. В работе уделено большое внимание исследованию послеимпульсов фотоэлектронных умножителей: их амплитудному распределению и вероятности образования. Однако вопрос о влиянии этих параметров ФЭУ на характеристики нейтринного телескопа в целом не обсуждается.
4. К рисункам 1-14, 1-15, 3-10, 4-38, 6-3, 6-4, 6-7 подписи даны на английском языке, правильнее было бы их привести на русском языке.

Общая оценка работы

Указанные замечания не снижают общую высокую оценку работы. Диссертация Шейфлера А.А. является законченной научно-квалификационной работой и соответствует специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики. Диссертация вносит существенный вклад в развитие методики регистрирующей аппаратуры, используемой в глубоководных нейтринных телескопах нового поколения. Проведенные Шейфлером А.А. исследования позволили создать новый эффективный фотодетектор, оптимизированный для использования в составе нейтринного телескопа Baikal-GVD. Работа хорошо оформлена, имеет много иллюстративного материала, написана ясным и понятным языком.

Диссертационная работа отличается внутренним единством и убедительно доказывает перспективность применения нового оптического модуля в Байкальском нейтринном телескопе. Заявленные цели работы достигнуты: разработан оптический модуль, оптимизированный для работы в составе Baikal-GVD, и разработана автоматизированная система для калибровки и проверки оптических модулей в условиях их массового производства. Эффективность и высокий уровень надежности оптических модулей подтверждается результатами их натурных испытаний в составе первой очереди установки в оз. Байкал в период с 2012 по 2015 гг. Выводы работы соответствуют поставленной цели и решаемым задачам. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых российских и зарубежных журналах, неоднократно докладывались автором на российских и международных конференциях. Опубликованные статьи полностью раскрывают содержание диссертации.

Диссертация Шейфлера Алексея Александровича «Оптический модуль Байкальского глубоководного нейтринного телескопа BAIKAL-GVD (разработка и испытания регистрирующей системы)» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04. 01 – приборы и методы экспериментальной физики – за разработку и испытания регистрирующей системы оптического модуля Байкальского глубоководного нейтринного телескопа BAIKAL-GVD.

Диссертационная работа Шейфлера А.А. заслушана на семинаре Отдела космических излучений ФИАН Отделения ядерной физики и астрофизики 22 ноября 2016 г.

Отзыв на диссертацию, подготовленный д.ф.-м.н. Рябовым В.А., рассмотрен и одобрен на заседании Ученого совета Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН «22» ноября 2016 г., протокол № 52.

Отзыв составил

Заведующий Отделом космических излучений ФИАН,
главный научный сотрудник ФИАН, д.ф.- м.н.

В.А. Рябов

Председатель Ученого совета

Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН,
д.ф.- м.н., профессор

О.Д. Далькаров

Секретарь Ученого совета

Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН,
к. ф.-м. н.

Н.П. Топчиев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук
119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53

Основные публикации по теме защиты:

- Gurevich A.V., Almenova A.M., Antonova V.P., ..., Ryabov V.A. et al. // Observations of high-energy radiation during thunderstorms at Tien-Shan // Physical Review D 94, 023003 (2016); DOI: 10.1103/PhysRevD.94.023003;
1. Chubenko A.P., Shepetov A.L., Antonova V.P.,..., Ryabov V.A. et al. // New complex EAS installation of the Tien Shan mountain cosmic ray station // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 832 (2016), 158–178, DOI: 10.1016/j.nima.2016.06.068;
 2. Ryabov V.A., Chechin V.A., Gusev G.A., Maung K.T. // Prospects for ultrahigh-energy particle observation based on the lunar orbital LORD space experiment // Advances in Space Research, 58 (2016), 464 – 474 , DOI: 10.1016/j.asr.2016.04.030;
 3. Adamson P., Ader C., Andrews M.,..., Ryabov V.A. et al. // First measurement of electron neutrino appearance in NOvA // Physical Review Letters, 2016, Vol. 116, p. 151806; DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.151806;
 4. Adamson P., Ader C., Andrews M.,..., Ryabov V.A. et al. // First measurement of muon-neutrino disappearance in NOvA // Phys. Rev. D, 2016, vol. 93., No. 5, p. 051104 (R) – Rapid Communication; DOI: 10.1103/PhysRevD.93.051104;
 5. Gurevich A.V., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Zybin K.P. // Comment on “Decrease of atmospheric neutron counts observed during thunderstorms” // Physical Review Letters, 2015, Vol. 115, p.179501; DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.179501;
 6. Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Kryakunova O.N., Lutsenko V. Yu., Mitko G.G., Piskal V.V. , Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Thu W. M., Vildanova L.I., Zybin K.P. // The time structure of neutron emission during atmospheric discharge // Atmospheric Research, 2015, 164–165, 339 – 346; DOI: 10.1016/j.atmosres.2015.06.004;
 7. Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Mitko G.G., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Thu W. M.,

- Vildanova L.I., Zybin K.P. // Correlation of radio and gamma emissions in lightning initiation // *Physical Review Letters*, 2013, Vol. 111, p.165001;
8. Agafonov A.V., Bagulya A.V., Dalkarov O.D., Negodaev M.A, Oginov A.V., Rusetskiy A.S., Ryabov V.A., Shpakov K.V. // Observation of neutron bursts produced by laboratory high-voltage atmospheric discharge // *Physical Review Letters*, 2013, Vol. 111, p.115003;
 9. Gurevich A.V., Antonova V. P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Mitko G.G., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P. // Strong flux of low-energy neutrons produced by thunderstorms // *Physical Review Letters*, 2012, vol. 108, p.125001;
 10. Gusev G.A., Chechin V.A., Lomonosov B.N., and Ryabov V.A. // Targets and radio detectors in far-space region for registration of ultrahigh-energy cosmic rays and neutrino // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 2012, v.662, pp. 103 – 105.