

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



**ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН им. Н.В. Пушкова
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

108840, г. Москва, г.Троицк
Калужское ш., 4, ИЗМИРАН
ОКПО 02699636

Тел. канц.: (495) 851-02-80
Факс: (495) 851-01-24
ОГРН 1035009350375

izmiran@izmiran.ru
<http://www.izmiran.ru>
ИНН / КПП
5046005410 / 775101001

**«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИЗМИРАН**

_____ **А.А. Абунин**
«18» марта 2025

Отзыв

ведущей организации Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и
распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук
на диссертацию

Воронина Дмитрия Михайловича

**«Разработка и создание калибровочных систем для экспериментов в
астрофизике частиц»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук

по специальности 1.3.2. «Приборы и методы экспериментальной физики»

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа Воронина Д.М. посвящена актуальной задаче разработки и создания калибровочных систем для экспериментов в области физики высоких энергий и астрофизике частиц. В этих экспериментах широко применяются детекторы фотонов и соответствующие среды. К детекторам фотонов относятся вакуумные и твердотельные фотоэлектронные умножители, а в качестве детектирующих сред используются атмосфера Земли, толщ воды или льда, либо специальные сцинтилляторы.

Для обеспечения правильной работы детекторов необходимо контролировать их параметры – коэффициент усиления фотоумножителя, скорость счёта импульсов темнового тока, временное разрешение, световыход и т.д.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованной литературы. Объём диссертации составляет 132 страницы, включая 108 рисунков, 1 таблицу и 153 наименования цитируемой литературы.

Во **введении** обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках этой диссертационной работы. Описаны примеры калибровочных систем, применяемых для экспериментов в астрофизике частиц, сформулированы цели и задачи, а также практическая значимость и новизна.

Первая глава посвящена описанию светодиодных калибровочных систем, применяемых для черенковских установок эксперимента TAIGA. Для широкоугольной черенковской установки TAIGA-HiSCORE представлены результаты калибровок с использованием высоковольтного источника света на беспилотном летательном аппарате. Также для применяемых в установке TAIGA-IACT фотоэлектронных умножителей были проведены исследования параметров.

Во **Второй главе** описана калибровочная система для массового тестирования фотоумножителей для системы SPMT эксперимента JUNO.

В **Третьей главе** внимание уделено описанию калибровочных систем для прототипа Баксанского большого нейтринного телескопа. Были применена светодиодная калибровочная система на основе быстродействующего драйвера, а также была осуществлена калибровка при помощи радиоактивных источников.

В **Четвёртой главе** приведено описание разработки и создания детектора мюонного вето и его системы калибровки для эксперимента BabyIAXO.

В **заключении** изложены основные результаты данной диссертационной работы.

Научная новизна и практическая значимость работы: впервые в мире разработана, создана и успешно испытана в калибровочных измерениях для действующего черенковского эксперимента калибровочная система с применением наносекундных светодиодов высокой мощности на борту беспилотных летательных аппаратов. Впервые использованы ультрафиолетовые светодиоды высокой мощности в оптических калибровочных системах.

Достоверность полученных результатов подтверждается успешным применением разработанных калибровочных систем в экспериментах TAIGA и ББНТ, JUNO, а также BabyIAXO.

Личный вклад. Вклад автора был определяющим в разработках и создании всех элементов калибровочных систем, описанных в диссертационной работе. Автором диссертации разработаны и созданы наносекундные источники света, бортовая электронная система беспилотных летательных аппаратов, системы оптоволоконных кабелей.

Публикации. Основные положения, выносимые на защиту, опубликованы в 10 работах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и SCOPUS. Основные результаты работы докладывались автором на российских и международных конференциях.

К замечаниям в работе можно отнести следующее:

1. На странице 50 упоминается «средняя эффективность детектирования фотонов». Нужно было бы указать для какой длины волны света приведены эти данные.
2. Мало внимания уделяется линейности отклика малогабаритных фотоумножителей эксперимента JUNO.
3. В Главе 4 было бы интересно сравнительные исследования сцинтилляционных свойств пластиковых сцинтилляторов с различной окраской. Насколько световыход «пожелтевших» образцов уступает другим световыходу других пластин.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Д.М. Воронина.

Заключение оппонента.

Диссертация Воронина Дмитрия Михайловича «Разработка и создание калибровочных систем для экспериментов в астрофизике частиц» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой представлены калибровочные системы и результаты их применения в экспериментах с использованием фотоэлектронных умножителей. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Д.М. Воронина полностью отвечает требованиям и критериям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Воронин Дмитрий Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертационная работа Воронина Д.М. заслушана на семинаре Отдела космических лучей ИЗМИРАН. Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен в качестве официального на семинаре Отдела космических лучей ИЗМИРАН (протокол № 539 от 13 марта 2025 года).

Отзыв подготовили:

Зав. отделом космических лучей ИЗМИРАН

Виктор Гугович Янке

(почтовый адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4.
ИЗМИРАН. Тел. 8(495)851-0925 (раб), 8(926)034-7950 (моб),
yanke@izmiran.ru)

Зав. лабораторией исследований
вариаций космических лучей ИЗМИРАН

Анатолий Владимирович Белов

(почтовый адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4.
ИЗМИРАН. Тел. 8(495)851-0924 (раб), 8(925)050-1526 (моб),
abelov@izmiran.ru)

Сведения о ведущей организации:

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	ФГБУ науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
Сокращенное наименование организации в соответствии с Уставом	ИЗМИРАН
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования
Почтовый индекс, адрес организации	108840, Российская Федерация, г. Москва, г.Троицк, Калужское шоссе, 4, ИЗМИРАН
Телефон	Тел. 8(495) 851-0280
Адрес электронной почты	izmiran@izmiran.ru
Веб-сайт	http://www.izmiran.ru

Список основных публикаций работников организации по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Melkumyan A.A., Belov A.V., Abunina M.A., Shlyk N.S., Abunin A.A., Oleneva V.A., Yanke V.G. Statistical comparison of time profiles associated with coronal mass ejections and streams from coronal holes in solar cycles 23–24 // Monthly Notices of the Royal

- Astronomical Society. – V. 521. – I. 3. – P. 4544-4560. – 2023. <https://doi.org/10.1093/mnras/stad772>
2. Melkumyan A.A., Belov A.V., Abunina M.A., Abunin A.A., Eroshenko E.A., Yanke V.G., Oleneva V.A. Solar wind temperature-velocity relationship over the last five solar cycles and Forbush-decreases associated with different types of interplanetary disturbances // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. V. 500, No 3, January, P. 2786–2797, <https://doi.org/10.1093/mnras/staa33662020>
3. Shlyk N.S., Belov A.V., Abunina M.A., Abunin A.A., Oleneva V.A., Yanke V.G. Forbush decreases caused by paired interacting solar wind disturbances // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – V. 511. – N. 4. – P. 5897-5908. – 2022. – DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stac478>.
4. Melkumyan A.A., Belov A.V., Abunina M.A., Abunin A.A., Shlyk N.S., Oleneva V.A., Yanke V.G. Forbush decreases associated with coronal mass ejections from active and non-active regions: statistical comparison // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – V. 515. – I. 3. – P. 4430-4444. – 2022. – DOI: 10.1093/mnras/stac2017.
5. Янке В.Г., Белов А.В., Гущина Р.Т., Кобелев П.Г., Трефилова Л.А. Об остаточной модуляции галактических космических лучей в гелиосфере // Космические исследования. – Т. 61. – №1. – С43-51. 2023. <https://doi.org/10.31857/S0023420622060115>
6. Gerontidou M., Katzourakis N., Mavromichalaki H., Yanke V., Eroshenko E. "World grid of Cosmic ray vertical cut-off rigidity for the last decade", Advances in Space Research, V. 67, No 7, P. 2231-2240, 2021. doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.011
7. Papailiou M., Abunina M., Mavromichalaki H., Belov A., Abunin A., Eroshenko E., Yanke V. Precursory Signs of Large Forbush Decreases // Solar Physics, V.296, №100 (2021) <https://doi.org/10.1007/s11207-021-01844-y>
8. Янке В.Г., Белов А.В., Шлык Н.С., Кобелев П.Г., Трефилова Л.А. Экспериментальный спектр вариаций космических лучей в широком диапазоне жесткостей по данным AMS-02. Космические исследования, 2021, Т.59, №6, с. 454-459 doi: 10.31857/S002342062106011X
9. Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина А.А., Абунина М.А., Ерошенко Е.А., Оленева В.А., Янке В.Г. Влияние взаимодействующих возмущений солнечного ветра на вариации галактических космических лучей // Геомагнетизм и аэронавигация. Т.61. №6. С. 694-703. 2021. DOI: 10.31857/S0016794021060134
10. Melkumyan A.A., Belov A.V., Shlyk N.S., Abunina M.A., Abunin A.A., Oleneva V.A., Yanke V.G. Forbush decreases and associated geomagnetic storms: statistical comparison in solar cycles 23 and 24 // Solar Physics V. 299. Article ID 40. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11207-024-02281-3>
11. Papailiou M-C, Abunina M, Mavromichalaki H, Shlyk N, Belov S, Abunin A, Gerontidou M, Belov A, Yanke V, Triantou A. Precursory Signs of Large Forbush Decreases in Relation to Cosmic Rays Equatorial Anisotropy Variation. Atmosphere. 2024; 15(7):742. <https://doi.org/10.3390/atmos15070742>
12. Papailiou M.C., Abunina M., Mavromichalaki H., Abunin A., Belov S., Gerontidou M., Belov A., Shlyk N., Yanke V.G. Precursory signs of Large Forbush decreases: The criterion of anisotropy // Solar Physics V. 299. Article ID 154. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11207-024-02391-y>
13. Янке В.Г., Белов А.В., Гущина Р.Т., Кобелев П.Г., Трефилова Л.А. Прогноз модуляции космических лучей в 25 цикле солнечной активности // «Геомагнетизм и аэронавигация». Том 64. № 2. P.230-239. 2024. <https://doi.org/10.31857/S0016794024020064>
14. Mavromichalaki H., Papailiou M.-C., Livada M., Gerontidou M., Paschalis P., Stassinakis A., Abunina M., Shlyk N., Abunin A., Belov A., Yanke V., et al. Unusual Forbush Decreases and Geomagnetic Storms on 24 March, 2024 and 11 May, 2024. Atmosphere 2024, 15, 1033. <https://doi.org/10.3390/atmos15091033>

15. Кобелев П.Г., Хамраев Ю.Б., Янке В.Г. Анализ метеорологических эффектов нейтронной компоненты космических лучей по данным среднеширотных станций // *«Солнечно-земная физика»*. 2024, Т.10., №4, С. 106–113. <https://doi.org/10.12737/szf-104202411>