

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



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

108840, г. Москва, г. Троицк

Тел. канц.:8(495) 851-02-80

izmiran@izmiran.ru

Калужское шоссе, 4, ИЗМИРАН

Факс:8(495) 851-01-24

http://www.izmiran.ru

ОКПО 02699636

ОГРН 1035009350375

ИНН/КПП

5046005410/775101001



«УТВЕРЖДАЮ»

Зам директора ИЗМИРАН

 А.И. Осин

«_24_» августа 2021 г.

ОТЗЫВ

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

о диссертации **Филиппова Максима Валентиновича**

«Наземный аппаратно-программный комплекс для исследования вариаций низкоэнергичной компоненты космических лучей», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.04.01 - «Приборы и методы экспериментальной физики».**

Диссертационная работа посвящена развитию экспериментальных методов мониторинга космических лучей, в частности, разработке и изготовлению модульного наземного комплекса для регистрации заряженной, нейтронной компонент и γ -квантов вторичного космического излучения. На основе таких детекторов создана международная сеть в 4 пунктах от средних до экваториальных широт. Продолжительный период мониторинга детекторов позволил исследовать аппаратные эффекты и провести разработку методов учёта аппаратных и метеорологических эффектов, а также выполнить первичный анализ экспериментальных данных за 2015-2020 годы.

Диссертационная работа основана на оригинальных статьях автора, опубликованных в ведущих научных журналах и получивших международное признание специалистов. Высокому качеству диссертации, безусловно, способствовало выполнение диссертационной работы **Филиппова М.В.** в ФИАНе, известным рядом выдающихся научных достижений в области ядерной физики, физики высоких энергий, физики космических лучей и космических исследований.

Актуальность

Уже много десятилетий функционирует наземная сеть нейтронных мониторов, мюонных телескопов и станций стратосферного зондирования космических лучей. В регулярной экспозиции эти детекторы работают, в основном, как детекторы галактических и солнечных космических лучей для решения астрофизических задач. Для решения ряда геофизических задач необходимы детекторы, которые были бы максимально чувствительны к низкоэнергичным компонентам вторичных космических лучей. Для медленных геофизических процессов можно использовать детекторы с небольшим геометрическим фактором. С другой стороны, для быстрых атмосферных процессов (грозовых) необходимы уже детекторы, обеспечивающие высокое временное разрешение. Поэтому возникает задача разработки и создания нового поколения детекторов для фундаментальных и прикладных исследований в области ядерно-физического мониторинга процессов в атмосфере, магнитосфере Земли и околоземном пространстве. Решаемые в диссертации задачи актуальны для астрофизики космических лучей и для исследований фонового вторичного космического излучения.

Основные результаты

К основным результатам диссертационного исследования, обладающим научной новизной и научной значимостью, относятся следующие:

1. Разработана и введена в эксплуатацию новая международная сеть научных установок, которая в непрерывном режиме функционирует в разных частях мира: на Долгопрудненской научной станции ФИАН с жёсткостью геомагнитного

обрезания $R_c=2,12$ ГВ, в международном астрономическом комплексе CASLEO, Аргентина, $R_c=9,8$ ГВ, в Евразийском национальном университете имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан, $R_c = 2.9$ ГВ, в Национальном научном центре KACST, Саудовская Аравия, $R_c = 14,4$ ГВ. Для измерения потоков вторичных КЛ и гамма-квантов в этих научных центрах разработаны три типа приборов: 1) установка «CARPET», чувствительная к заряженной компоненте КЛ; 2) установка «Бессвинцовый нейтронный детектор» (НД), чувствительная к нейтронной компоненте КЛ; 3) детектор «Гамма-спектрометр».

2. Вывод о наличии корреляции измерений детектора заряженных частиц CARPET и НД эпитепловых нейтронов с данными стандартного нейтронного монитора (Москва). Для детектора CARPET коэффициент корреляции $R \approx 0.4$, для модулей установки НД $R \approx 0.4 \div 0.5$, что типично для детекторов, которые чувствительны к различным компонентам и различным энергетическим диапазонам, а вклад в скорость счета, определяемый первичной компонентой $\sim 1/2$;

3. Результаты проведенного сравнительного анализа данных установок CARPET и бессвинцового НД с каталогом Форбуш-эффектов и межпланетных возмущений, свидетельствующие о том, что детектор CARPET надёжно детектирует Форбуш-эффекты космических лучей жесткостью 10 GV с амплитудой $\geq 0.7\%$. НД надёжно детектирует ФЭ КЛ жесткостью 10 GV с амплитудой $\geq 1.2\%$; на примере анализа ряда ФЭ показана чувствительность детекторов к вариациям в различные периоды солнечной активности;

4. Результаты разработанной методики калибровки «Гамма-спектрометра» с использованием естественных фоновых источников γ -излучения и полученные калибровочные характеристики.

Научная и практическая значимость полученных результатов

Научная значимость работы заключается в том, что данный аппаратно-программный комплекс предназначен для изучения физической природы периодических и спорадических вариаций вторичной компоненты КЛ. В том числе, появляется принципиальная возможность определения причин

зарегистрированных изменений потоков КЛ и γ -квантов, сопровождающихся вариациями атмосферного электрического поля, а также установления причинно-следственные связи между грозовой активностью в приземной атмосфере и световыми вспышками и γ -всплесками (т.н. TLE - и TGF-события), происходящими на высотах свыше 50-70 км.

Практическая значимость работы состоит в том, что данный аппаратно-программный комплект осуществляет оперативный контроль потоков заряженных частиц, γ -квантов и радиоактивности (естественной и искусственной) в приземном слое атмосферы. Всесторонний анализ полученных новых экспериментальных данных позволит разработать методы прогноза сильных геомагнитных возмущений и землетрясений.

Замечания по работе

По автореферату диссертации могут быть сделаны следующие замечания

1. Автореферат, стр 5, 5 строка сверху - грамматическая неточность.
2. Название созданного автором детектора «нейтронный детектор», на наш взгляд, лучше заменить на «бессвинцовый нейтронный детектор» или «детектор эпитепловых нейтронов», чтобы подчеркнуть его отличие от стандартного нейтронного монитора, который чувствителен к нейтронам >20 МэВ.
3. Сеть детекторов для исследования вариаций низкоэнергичной компоненты космических лучей функционирует уже около 5 лет, и было бы полезно объединить результаты в единую базу данных. Это позволило бы совместно использовать полученные результаты с результатами регистрации других детекторов низкоэнергичной компоненты.

Общая оценка работы

Отмеченные недостатки не могут повлиять на общую высокую оценку диссертационной работы **Филиппова М.В.**, которая является законченной экспериментальной научной работой. Она вносит существенный вклад в развитие экспериментальных методов исследования космического излучения в атмосфере.

Полученные результаты и следующие из них выводы апробированы на различных российских и международных научных мероприятиях. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 11 работах в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные базы Web of Science и/или Scopus. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Созданный комплекс и сеть на его основе являются уникальным детектором космических лучей, открывающим новые пути для исследований в физике космоса и солнечно-земной физике. Следует отметить роль диссертанта в создании экспериментальных и методических основ таких комплексных измерений. Большие возможности таких измерений несомненны, но они пока раскрыты далеко не полностью. Представленная диссертация, безусловно, заметный шаг в правильном направлении.

Материалы диссертации могут быть рекомендованы научным группам, проводящим исследования вариаций космических лучей, гелиосферных и геомагнитных возмущений, а также всем, кто связан с наземным мониторингом космического излучения. Результаты могут найти применение в ИЗМИРАН, НИИЯФ МГУ, ИКФИА СО РАН, ИСЗФ СО РАН, ПГИ РАН и других научных учреждениях.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Стил ь изложения четкий и ясный. Автореферат соответствует содержанию диссертации и правильно отражает содержание работы.

Тематика выполненных **Филипповым М.В.** исследований соответствует паспорту специальности 01.04.01 - «Приборы и методы экспериментальной физики» раздела «физико-математические науки».

Вышесказанное позволяет сделать вывод, что диссертация **Филиппова М.В.** является научно-квалификационной работой, в которой представлен новый комплекс детекторов для регистрации заряженной компоненты, нейтронной компоненты и γ -излучения КЛ. Диссертационная работа **Филиппова М.В.** «Наземный аппаратно-программный комплекс для исследования вариаций

низкоэнергичной компоненты космических лучей» соответствует требованиям, установленным пунктом 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а её автор, **Филиппов Максим Валентинович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертационная работа **Филиппова М.В.** заслушана на семинаре Отдела космических лучей ИЗМИРАН 11 августа 2021 г. Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен в качестве официального на семинаре Отдела космических лучей ИЗМИРАН (протокол № 527 от 11 августа 2021 года).

Отзыв подготовил:

Зав. отделом космических лучей ИЗМИРАН,
кандидат физико-математических наук



Виктор Гугович Янке

Подпись В.Г.Янке заверяю.
Зам. директора ИЗМИРАН



Андрей Иванович Осин

Адрес организации: 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН)

тел.: 8(495) 851-02-80
<http://www.izmiran.ru>

Факс: 8(495) 851-01-24
izmiran@izmiran.ru

тел. 8 (495) 851-09-25; 8 (495) 851-09-24
e-mail: yanke@izmiran.ru

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

17.06.2021 № 1203/287-10

В диссертационный совет Д002.023.04
Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН
119991 Ленинский проспект, 53, Москва

ИЗМИРАН согласен оппонировать диссертацию Филиппова Максима Валентиновича «Наземный аппаратно-программный комплекс для исследования вариаций низкоэнергичной компоненты космических лучей», представляемую на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики.

Директор ИЗМИРАН

В.Д.Кузнецов

Исп. Янке В.Г.,
тел. 8(926) 034-7950, E-mail yanke@izmiran.ru