

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Маурчева Евгения Александровича "Моделирование взаимодействия частиц космических лучей с системами детекторов и атмосферой Земли", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Е.А. Маурчева посвящена разработке численных моделей комплексной системы сбора данных по интенсивности различных компонент космических лучей (КЛ), установленной в Полярном геофизическом институте РАН (ПГИ, г. Апатиты Мурманской области), а также методов численного моделирования распространения космических лучей в атмосфере Земли и в детекторах. Для детекторов системы сбора данных были рассчитаны эффективности регистрации КЛ, а также проведена оптимальная параметризация новых вариантов аппаратуры. Кроме того, рассчитаны энергетические и высотные зависимости потоков компонент вторичных КЛ и высотный профиль скорости ионизации в атмосфере при падении на неё как галактических, так и солнечных космических лучей.

Актуальность темы связана с наличием большого количества наземных детекторов различных вторичных компонент КЛ, для понимания результатов которых необходимо количественно изучить генетические связи этих компонент с первичными (галактическими и солнечными) КЛ, а также ускоренными частицами магнитосферного происхождения. К таким детекторам относятся нейтронные мониторы, разнообразные наземные детекторы ионизирующей компоненты, нейтронов, гамма-излучения и т.д. Важны эти вопросы также для эксперимента по регулярному мониторингу КЛ на шарах-зондах, проводимому ФИАН им. П.Н. Лебедева с 1957 г., в том числе в Мурманской области.

Группа, работающая в ПГИ, активно развивает приборную базу для измерения различных компонент вторичных КЛ, что в настоящее время важно для понимания физических процессов в атмосфере Земли, особенно на фоне глобального потепления климата. Для получения правильной информации от новых установок их моделирование является совершенно необходимым. Автором диссертации выполнено моделирование отклика установок, работающих в ПГИ – стандартного нейтронного монитора, сцинтилляционного детектора и разработанного при участии автора узконаправленного нейтронного монитора – оригинальной установки, внедряемой группой ПГИ.

Экспериментальные наблюдения ионизирующей компоненты КЛ в атмосфере Земли проводятся практически с момента открытия КЛ в начале прошлого века, но регулярные измерения начались в 1957 г. в ФИАН и продолжаются до сих пор. Измерения проводятся в нескольких географических пунктах на высотах от уровня моря до высот ~ 30-35 км. Накоплен гигантский экспериментальный материал. Тем не менее до настоящего времени нет удовлетворительной модели, описывающей эти экспериментальные данные, из-за большого объема требуемых расчетов. Такая модель необходима для современной интерпретации модуляции потоков ГКЛ в гелиосфере, а также роли ионизирующей радиации в атмосферных процессах, связанных с химическими реакциями и атмосферным электричеством. Полное моделирование прохождения КЛ через атмосферу Земли еще далеко от завершения. Можно констатировать, что автор начал эту работу и надеяться, что он ее продолжит.

Распространение через атмосферу СКЛ, включая профили ионизации, изучено довольно хорошо, т.к. это важно и для фундаментальной физики, и для космической погоды, и для атмосферных процессов. Опубликованных работ на эту тему очень много, но каждое новое мощное событие СКЛ требует своей оценки.

Новизна исследования и полученных результатов касается прежде всего численного моделирования комплексной системы сбора данных ПГИ, а также некоторых усовершенствований описания атмосферы и распространения КЛ в детекторах. Новизна подхода автора диссертации к моделированию распространения СКЛ состоит в получении профилей ионизации для 4 событий СКЛ, зарегистрированных наземными нейтронными мониторами, в том числе в Апатитах. При этом была использована методика определения энергетических спектров СКЛ, развитая в ПГИ и в модифицированном виде применяемая сейчас повсеместно.

На защиту выносятся создание набора численных моделей, оценка эффективности регистрации детекторов комплекса системы сбора ПГИ, а также разработка программного комплекса RUSCOSMICS для исследования детекторов и моделирования взаимодействия протонов КЛ с атмосферой Земли и результаты этого взаимодействия при падении на атмосферу солнечных протонов и протонов ГКЛ.

Личный вклад. Автор овладел методами моделирования физических приборов и процессов прохождения КЛ через атмосферу Земли, методами Монте-Карло, разработал свой оригинальный модуль вычислений на базе GEANT 4 и выполнил моделирование трех экспериментальных установок, а также процессов распространения ГКЛ и СКЛ через атмосферу Земли.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением современных методов расчета, использованием обновляемой информации о сечениях взаимодействия частиц с веществом, и сравнением результатов расчета с наблюдениями детекторов комплекса системы сбора данных ПГИ, а также с результатами регулярного мониторинга КЛ на шарах-зондах.

Завершенность работы. Диссертация Е.А. Маурчева подводит итоги определённого этапа в многолетней работе по регистрации вторичных КЛ, проводимой в ПГИ РАН с активным участием Е.А. Маурчева.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

В диссертации практически полностью отсутствует обзор существующих пакетов по численному моделированию распространения КЛ в земной атмосфере. В частности, не упомянут пакет PLANETOCOSMICS, широко использовавшийся для аналогичных целей в течение многих лет, и не обсуждается, в чём отличия, преимущества и недостатки его по сравнению с пакетом RUSCOSMICS. Следует отметить, что некоторые недостатки (например, отсутствие возможности расчёта углового распределения КЛ в атмосфере) обусловлены именно ориентацией пакета RUSCOSMICS на описание конкретного комплекса детекторов ПГИ.

Моделирование прохождения ГКЛ через атмосферу Земли, по существу, только начинается. Сравнение результатов расчета с наблюдениями (рис. 2.12) подтверждает ожидаемое согласие с данными, полученными на аэробусе, но показывает значительное расхождение с результатами регулярного зондирования потоков КЛ в атмосфере с помощью шаров-зондов. При расчете не учитывалось присутствие гелия в составе ГКЛ, не анализировалось угловое распределение частиц, что важно для корректного перехода от показаний счетчика к значениям потоков частиц в атмосфере. Кроме того, большой массив экспериментальных данных еще ожидает сравнения с модельными расчетами, например, оценки долговременных вариаций, широтных зависимостей КЛ в атмосфере Земли, приземной радиации. Можно надеяться, что дальнейшее развитие и усовершенствование пакета RUSCOSMICS значительно улучшит описание данных эксперимента ФИАН по регулярному мониторингу КЛ на шарах-зондах.

В диссертации не производится сравнения полученных результатов с результатами других авторов. Это касается оценок эффективности стандартного нейтронного монитора (например, Абунин и др., Изв. РАН., серия физ. 75, № 6, 917–919 (2011). и ионизации, производимой в атмосфере ГКЛ и СКЛ (например, Mironova et al., Space Sci. Rev., 2015, v. 194(1-4), 1-96 и ссылки там).

Указанные недостатки должны быть учтены в дальнейшей работе и не могут повлиять на общую положительную оценку диссертации.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, ее основные результаты докладывались автором на российских и международных конференциях и достаточно полно отражены в научных трудах автора, опубликованных в ведущих международных и российских журналах.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертация Е.А. Маурчева "Моделирование взаимодействия частиц космических лучей с системами детекторов и атмосферой Земли" удовлетворяет требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а Е.А. Маурчев за разработку пакета численного моделирования физических приборов и процессов прохождения КЛ через атмосферу Земли методами Монте-Карло, а также за расчет параметров трех экспериментальных установок ПГИ и процессов распространения ГКЛ и СКЛ через атмосферу безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация Е.А. Маурчева была доложена и обсуждалась на семинаре Лаборатории физики Солнца и космических лучей ФИАН.

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник

*Свиржевский*

Свиржевский Николай Саввович

21.02.2022

Подпись Н.С. Свиржевского заверяю  
Ученый секретарь ФИАН  
кандидат физико-математических наук

А.В. Колобов

Место работы оппонента: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991 Москва Ленинский пр., 53  
Тел. 8(495)4854100, 8(985)1922938, email: svirzhevskyns@lebedev.ru

В диссертационный совет Д 002.023.04  
в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН  
от д.ф.-м.н. Свиржевского Николая Саввовича,  
главного научного сотрудника лаборатории  
физики Солнца и космических лучей имени  
академика С.Н. Вернова (ДНС ФИАН, г.  
Долгопрудный), г. Москва, Ленинский пр-т, 53,  
гл. здание, к. 12.

### СОГЛАСИЕ

Я, Свиржевский Николай Саввович, согласен оппонировать диссертацию Маурчева Евгения Александровича "Моделирование взаимодействия частиц космических лучей с системами детекторов и атмосферой Земли" на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Список основных работ по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. ГЕЛИОСФЕРНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И МОДЕЛЬ ПАРКЕРА  
Н.С. Свиржевский, Г.А. Базилевская, М.С. Калинин, М.Б. Крайнев, В.С. Махмутов, А.К. Свиржевская, Ю. И. Стожков. Геомагнетизм и аэрономия, 2021, Т. 61, № 3, стр. 282-294
2. СОЛНЕЧНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ ВБЛИЗИ МИНИМУМА АКТИВНОСТИ 2009 ГОДА. Калинин М.С., Базилевская Г.А., Крайнев М.Б., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С., Филиппов М.В. Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Т. 83. № 5. С. 610-613.
3. МИНИМАЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ГЕЛИОСФЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В 2008–2010 ГГ. ПО ДАННЫМ WIND И ACE. Свиржевский Н.С., Базилевская Г.А., Свиржевская А.К., Стожков Ю.И. Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Т. 83. № 5. С. 618-621.
4. ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЧАСТОТЫ ВЫСЫПАНИЙ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ. Базилевская Г.А., Калинин М.С., Крайнев М.Б., Махмутов В.С., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С., Стожков Ю.И., Гвоздевский Б.Б. Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Т. 83. № 5. С. 643-646.
5. ВЫСЫПАНИЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В СТРАТОСФЕРЕ И УСЛОВИЯ В МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ В 22-24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ. Базилевская Г.А., Калинин М.С., Крайнев М.Б., Махмутов В.С., Новакова А.Р., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С., Стожков Ю.И., Гвоздевский Б.Б. Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2018. Т. 52. № 3. С. 195-200.
6. ИНТЕНСИВНОСТЬ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ПРИБЛИЖАЮЩЕМСЯ МИНИМУМЕ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ. Крайнев М.Б., Базилевская Г.А., Калинин М.С., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С. Геомагнетизм и аэрономия. 2018. Т. 58. №2. С. 177-186.

*Свиржевский*

Свиржевский Н.С.  
тел. 495-485 41-00  
985-192-29-38 (моб.)

*19.09.2021 г.*

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ**

Ученый секретарь **Колобов А.В.**