

**Отзыв научного руководителя
на диссертационную работу Маурчева Евгения Александровича
«Моделирование взаимодействия частиц космических лучей с системами детекторов
и атмосферой Земли» выполнена в секторе космических лучей Федерального
государственного научного учреждения «Полярный Геофизический институт»,
представленной к защите на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «приборы и методы
экспериментальной физики»**

Маурчев Евгений Александрович окончил Петрозаводский государственный университет в 2009 году, и в том же году поступил в аспирантуру Полярного геофизического института, присоединившись к экспериментам по исследованию космических лучей. С 2009 года и по настоящее время является сотрудником Полярного геофизического института (ПГИ).

Диссертационная работа Маурчева Е.А. посвящена важной теме - численному моделированию распространения космических лучей (КЛ) в атмосфере Земли и детекторах корпускулярного излучения, их взаимодействия с окружающим веществом, получения данных для оценки радиационной безопасности. В настоящее время решение такой задачи является весьма важным при длительных и постоянных трансатлантических перелетах, поскольку они значительное время проходят через полярные области Земли. Работа Маурчева Е.А. включает исследование не только галактических КЛ (ГКЛ), но и оценивает вклад солнечных КЛ (СКЛ), интенсивность потока которых в первичных частицах для энергий до 10-20 ГэВ может превосходить этот же параметр для ГКЛ на несколько порядков, таким образом влияние СКЛ на атмосферу Земли, экипаж судов и пассажиров может быть значительным.

Маурчевым Е.А. использован новый подход в численном моделировании распространения и взаимодействия частиц КЛ. На сегодня уже существует ряд методик, позволяющих исследовать влияние КЛ на атмосферу Земли (например, при помощи PLANETOCOSMICS или CORSIKA), но эти программные комплексы не имеют модулей для расчета детектирующего оборудования, а при расчете параметров вторичных КЛ дают корректный результат в сильно локализованной области (столб воздуха с длиной ребер 80 км). Также эти программные продукты не позволяют адаптировать код к решению более частных задач, таких как моделирование возрастания фонового гамма-излучения на уровне земли во время осадков. Для создания универсальной методики в виде программного комплекса RUSCOSMICS Маурчевым Е.А. использован пакет для разработки программ GEANT4, включающий в себя всю известную на сегодня информацию об взаимодействии элементарных частиц и их свойствах, и имеющий реализацию на базе объектно-ориентированного языка программирования C++. Такой подход позволяет сделать процесс написания модели наиболее удобным и гибким, а в ходе расчетов учитывать все необходимые каналы реакций частиц. При этом программный комплекс RUSCOSMICS способен не только выводить основную информацию о характеристиках потоков вторичных КЛ в локальной области, но и производить расчеты этих параметров для всей атмосферы Земли.

Таким образом, численное моделирование, представленное в работе Маурчева Е.А. и выполненное при помощи самостоятельно разработанного программного обеспечения, является наиболее полным и точным в настоящее время. В нем используется современная база данных моделей взаимодействия элементарных частиц и их свойств. Также для корректного расчета требуются параметры атмосферы Земли, описывающие состав, плотность, температуру на всех высотах от уровня земли до заданного верхнего предела. Эти значения вычисляются автоматически при помощи интегрированной в RUSCOSMICS модели атмосферы NRLMSISE-00. Немаловажным является и то, что в процессе расчетов атмосферный столб разбивается на необходимое количество слоев, позволяя или

уменьшать время моделирования, или повышать статистическую точность путем минимизации ошибок, связанных с неоднородностью вещества.

В первую очередь, при помощи созданного пакета для численного моделирования прохождения частиц КЛ через атмосферу Земли также были рассчитаны профили ионизации в атмосфере от 80 км до уровня земли для разных значений жесткости геомагнитного обрезания в случае использования первичных частиц со спектром ГКЛ. Затем RUSCOSMICS был использован для оценки скорости ионизации вещества атмосферы во время событий GLE. Эта задача намного сложнее, поскольку поток СКЛ имеет сильную анизотропию, энергетический спектр обладает особенностями, а при определении потока КЛ в необходимой точке земного шара требуется знание асимптотических конусов приема.

В работе также представлен результат, полученный в ходе использования RUSCOSMICS для решения ряда прикладных задач физики КЛ. Приводятся функции эффективности регистрации нескольких детекторов: кристалла сцинтилляционного гамма-детектора, нейтронного монитора. Рассчитанные значения были использованы при обработке результатов реальных измерений на этих детекторах в области высоких широт.

Основные результаты, полученные в ходе выполнения работы, докладывались на конференциях и семинарах, посвященной тематике космических лучей и мониторинга геофизических полей в атмосфере: Европейских симпозиумах по космическим лучам (ECRS), на Ассамблеях КОСПАР (COSPAR), на международных конференциях по космическим лучам (ICRC), на всероссийских конференциях по космическим лучам (ВККЛ), на международных конференциях «Атмосфера, Ионосфера, Безопасность».

В процессе работы Маурчев Е.А. проявил себя как сформировавшийся квалифицированный исследователь, который имеет опыт работы в области астрофизики космических лучей, на высоком уровне владеет экспериментальными методами с применением современной измерительной техники, методами вычислительной математики, способный самостоятельно решать сложные задачи экспериментального и вычислительного характера, проявляя при этом настойчивость и творческую активность. Большим плюсом является то, что соискатель не только имеет профессиональные навыки работы с вычислительной техникой, но и разрабатывает специализированное программное обеспечение на нескольких языках программирования.

к.ф.-м.н., зав. сектором космических лучей

Полярного геофизического института

Балабин Юрий Васильевич

Полярный геофизический институт,

184209, г. Апатиты, Академгородок, 26а

тел.: (81555) 79764

эл.почта: balabin@pgia.ru

Подпись Ю.В. Балабина заверяю:

И.О. ученого секретаря ПГИ

Попова Татьяна Аркадьевна



14.04.2021

14.04.2021