

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.146-147

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ЗАПУСКУ ШАРОВ-ЗОНДОВ С ПОЛУЧЕННЫМИ ПРИ ПОМОЩИ RUSCOSMICS ВЫСОТНЫМИ ПРОФИЛЯМИ И АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Е.А. Михалко, Е.А. Маурчев, А.В. Германенко

ФГБНУ “Полярный геофизический институт”, г. Апатиты, Россия

Аннотация. Результатом моделирования прохождения протонов первичных космически лучей (КЛ) через атмосферу Земли при помощи программного комплекса RUSCOSMICS является количественная оценка значений потоков частиц вторичных КЛ на разных высотах (до 80 км). Для обеспечения высокого уровня соответствия реальным условиям, эти данные должны проходить обязательную верификацию. Наилучшим методом является их сравнение с высотными профилями скорости счета, полученными в ходе экспериментов по запуску стратосферных шаров-зондов с установленными на них счетчиками Гейгера. Несмотря на то, что проверка корректности происходит для локального участка, такой подход можно назвать преимущественным, поскольку полеты проводятся на протяжении нескольких десятков лет и обеспечивают хорошую точность имеющимся рядом данных. В представленной работе рассматривается верификация результатов моделирования, полученных для случая минимума солнечной активности.

Введение

Как хорошо известно, в результате взаимодействия протонов первичных КЛ с веществом атмосферы Земли (прежде всего, с азотом и кислородом), рождаются каскады вторичных частиц [1]. Начиная с высоты примерно 80 км и до ~ 15-20 км над уровнем моря протоны ГКЛ теряют свою энергию в основном через процесс ионизации. Начиная с плотных слоев атмосферы, протоны с энергиями $E \sim 1$ ГэВ способны участвовать в неупругих соударениях, передавая до половины своей энергии вторичным частицам. Этот процесс может продолжаться от нескольких до десятков раз, в зависимости от энергии первичного протона. Таким образом, используя детекторы заряженной компоненты или нейтронные мониторы различных конфигураций, возможно фиксировать вторичные частицы, частично или полностью восстанавливая информацию о протонах первичных КЛ [2]. В то же время, вычислять параметры потоков вторичных КЛ с помощью детекторов весьма сложно, поскольку это требует большой статистики, что, в свою очередь, приводит к необходимости проводить ряд дорогостоящих экспериментов. Помимо дороговизны, не всегда есть возможность провести эксперимент в нужном месте и в нужное время. Поэтому для исследования и оценки параметров КЛ в атмосфере Земли гораздо эффективнее использовать комбинированную методику, включающую в себя данные, полученные путем как реальных, так и модельных экспериментов.

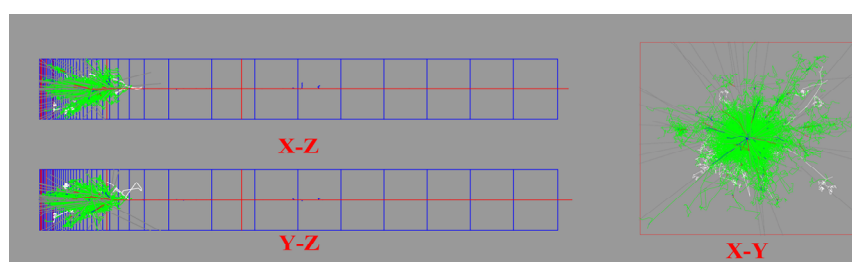


Рисунок 1. Иллюстрация моделирования прохождения протона с энергией $E=100$ ГэВ через 80 км атмосферы, а также рождение каскада вторичных частиц. Геометрия в виде слоев изображена синим цветом, треки частиц также разделены по цветам: красный цвет отображает положительный заряд частицы, синий – отрицательный, белым цветом показаны нейтроны, зеленым - гамма-кванты.

Методика моделирования и экспериментальная база

При моделировании прохождения КЛ через атмосферу Земли был использован программный пакет, описанный в статье [3]. Генератор первичных частиц, расположенный на верхней границе (80 км) столба

атмосферы Земли, задавался в виде точечного источника, что является оптимальной конфигурацией. В ходе экспериментов было выявлено, что различия в его параметризации (к примеру, задание пространственного распределения) влияет только на скорость вычисления (при равномерном распределении статистика набирается чуть медленнее) и в целом не сказывается на исходном результате. Поэтому для всех последующих расчетов использовалась наиболее оптимальная конфигурация, рис. 1.

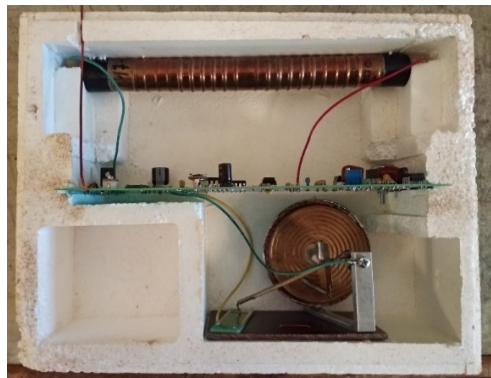


Рисунок 2. Устройство, состоящее из детектирующего объема (один счетчик СТС-6), радиопередатчика и барографа, используемое для полета на шарах-зондах в стратосферу и записи высотного профиля заряженной компоненты вторичных КЛ.

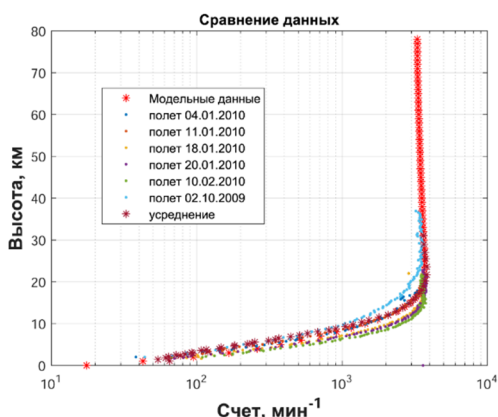


Рисунок 3. Сравнение высотных профилей скорости счета, полученных во время запуска шаров-зондов для разных периодов времени с результатами моделирования прохождения протонов ГКЛ для г. Апатиты.

остается открытым вопрос о моделировании угловых распределений вторичных КЛ, являясь предметом предстоящих исследований.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-32-00626.

Список литературы

1. Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. («Наука». Москва, 1975).
2. Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B. // Astrophysics and Space Sciences Transactions. 2011. V. 7. Is. 4. P. 459-463.
3. Maurchev E.A., Balabin Yu.V. // Solar-Terrestrial Physics. 2016. T. 2. -№ 4. С. 3-10.
4. Stozhkov Yu.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya G.A., Kvashnin A.N., Makhmutov V.S. // Adv. in Space Res. 2009. V. 44. Is. 10. P. 1124-1137.

Существует огромная база данных, представляющая собой высотные профили скорости счета, полученные в результате запуска шаров-зондов с установленными на них счетчиками СТС-6 [4]. Одно из местоположений, где регулярно проводятся эксперименты с этим оборудованием, находится в г. Апатиты. Поэтому, сравнивая экспериментальные данные с данными моделирования для соответствующих географических координат, можно производить валидацию модели. Оборудование, размещенное на шаре-зонде, включает в себя один или два счетчика СТС-6, работающих на совпадение, барограф и радиопередатчик. Общий вид такого устройства представлен на рис. 2. Соответственно, регистрируемый профиль будет состоять из вклада заряженных частиц и ~1 % гамма-квантов, который выражается через простую формулу:

$$J_{\text{общий}} = J_p + J_{e^+e^-} + J_{\mu^+\mu^-} + 0.01 \cdot J_\gamma$$

выражающую сложение суммарного потока протонов, электронов и позитронов, мюонов и гамма-квантов, представленные на рис. 3. С учетом среднестатистической ошибки вычисления при помощи ширины линии. На рис. 3 приводится сравнение экспериментальных данных, полученных в ходе запуска шаров-зондов в г. Апатиты Мурманской области с результатами моделирования прохождения протонов ГКЛ через атмосферу Земли с энергетическими спектрами, соответствующими этим периодам.

Анализ и заключение

Во время проведения представленной работы были выбраны профили полетов, высота которых достигала примерно 30 км. Как видно, полученные путем моделирования прохождения протонов ГКЛ через атмосферу Земли результаты хорошо согласуются с приведенными данными. Особенно явно это заметно на усредненном профиле. Однако, также видно, что максимумы некоторых кривых не совпадают. Предположительно, это может быть связано с тем, что при расчетах не учитываются частицы первичных ГКЛ, которые составляют малую долю от общего потока (ядра гелия, ядра элементов с $Z > 2$, а также электроны). Также