

УДК 524.1

МЕТЕОЭФФЕКТЫ В ИНТЕНСИВНОСТИ ГРУПП МЮОНОВ

Н. В. Толкачева¹, А. Г. Богданов, А. Н. Дмитриева,
Р. П. Кокоулин, В. В. Шутенко

Анализируются данные эксперимента по исследованию групп мюонов космических лучей на установке ДЕКОР за период 2004–2007 гг., в ходе которого обнаружены существенные изменения интенсивности групп на поверхности Земли. Найдено, что эти вариации вызваны изменением метеоусловий (температуры и атмосферного давления), и получены барометрический и температурный коэффициенты. Оказалось, что абсолютные величины коэффициентов для мюонных групп значительно выше, чем известные значения для одиночных мюонов. Обсуждается возможный физический механизм формирования эффекта. Поскольку группы мюонов формируются на больших высотах (порядка нескольких километров), обнаруженный эффект может быть использован для мониторинга изменений температуры воздуха в верхней тропосфере.

Ключевые слова: широкие атмосферные ливни, группы мюонов, вариации интенсивности, температурный и барометрический коэффициенты.

При анализе данных длительного эксперимента по исследованию групп мюонов космических лучей на установке ДЕКОР [1] было замечено сильное изменение частоты событий во времени (в частности, сезонные вариации с размахом до 15%). Поскольку регистрируемые события соответствуют высоким энергиям первичных частиц ($\geq 10^{15}$ эВ), поток которых практически постоянен, наблюдаемый эффект может быть связан с изменениями состояния атмосферы.

Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31.

¹ E-mail: gnome2004@yandex.ru

Экспериментальная установка представляет собой многослойную систему стримерных трубок, размещенную вокруг черенковского водного калориметра НЕВОД (НИЯУ МИФИ). Боковая часть координатного детектора расположена в галереях вокруг бассейна и включает 8 супермодулей, каждый из которых имеет площадь 8.4 м^2 и позволяет регистрировать частицы в широком диапазоне зенитных углов (от 30° до 90°) с угловой точностью лучше 1° . Отбор групп мюонов в ДЕКОР основан на квазипараллельности треков частиц. В данной работе анализируются результаты измерений на установке ДЕКОР за период 2004–2007 гг. (322 набора данных суммарной продолжительностью 9507 часов). При обработке использовались данные датчика давления комплекса НЕВОД и значения приземной температуры по данным метеостанции “Москва” [2].

Для нахождения барометрического B_P или температурного B_t коэффициентов обычно используется линейная регрессия [3]. Но, поскольку атмосферное давление и температура коррелируют между собой (особенно для не очень продолжительных интервалов времени), для более корректной оценки нами использовалась двойная линейная регрессия с одновременным определением обоих коэффициентов. В этом случае зависимость частоты регистрации групп мюонов от давления и температуры аппроксимируется функцией

$$f(P, t) = a + b(P - P_0) + c(t - t_0);$$

$$B_P = b/f(P_0, t_0) \cdot 100\%[\%/мбар], \quad B_t = c/f(P_0, t_0) \cdot 100\%[\%/^\circ\text{C}], \quad (1)$$

где в качестве нормировочных значений выбраны $P_0 = 100$ мбар, $t_0 = 0$ °С.

Методом наименьших квадратов одновременно были получены оценки барометрического и температурного коэффициентов и их погрешности: $B_P = -(0.314 \pm 0.020)\%/мбар$ и $B_t = -(0.445 \pm 0.021)\%/^\circ\text{C}$. Остаточный среднеквадратичный разброс частоты групп, обусловленный приближенностью модели (1) и возможной нестабильностью аппаратуры, составил менее 2%.

Зависимости частоты групп мюонов от температуры и давления, исправленной на барометрический и температурный эффекты, соответственно, представлены на рис. 1 и рис. 2. Коэффициенты корреляции для этих зависимостей составили -0.78 и -0.69 .

Наличие метеоэффектов в потоке одиночных мюонов на поверхности Земли ($B_P \approx -0.2\%/мбар$ и $B_t \approx -0.2\%/^\circ\text{C}$) хорошо известно [3]. С увеличением энергии мюонов абсолютная величина коэффициентов уменьшается, а температурный коэффициент меняет знак. Характерные энергии мюонов в широких атмосферных ливнях (и, в частности, в группах) в несколько раз выше, чем для одиночных частиц [4], поэтому интерпретация

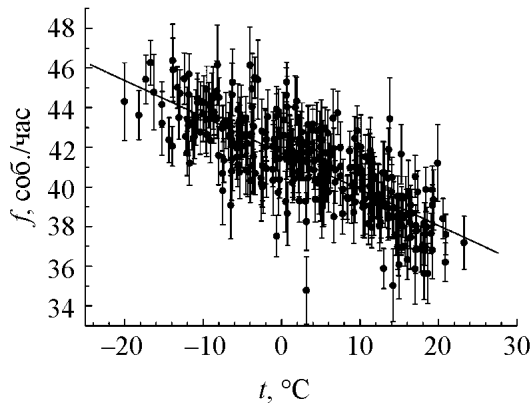


Рис. 1: Корреляция частоты групп мюонов с приземной температурой.

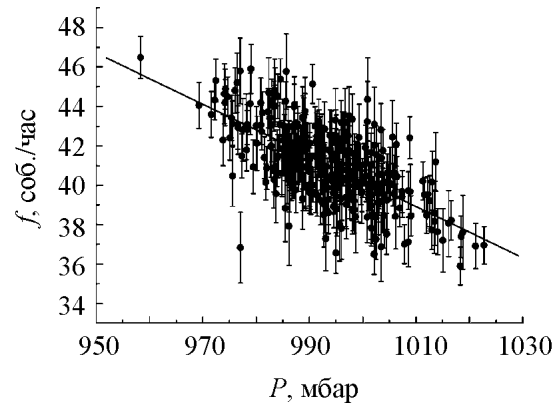


Рис. 2: Корреляция частоты групп мюонов с атмосферным давлением.

полученных значений барометрического и температурного коэффициентов для частоты регистрации групп мюонов (отрицательных и значительно больших по абсолютной величине) в рамках обычных механизмов (изменение вероятности поглощения и распада малоэнергичных частиц в атмосфере) невозможна. Естественным объяснением наблюдаемых эффектов может быть изменение функции пространственного распределения (ФПР) мюонов при изменении высотного распределения плотности воздуха. Действительно, если воспользоваться связью ожидаемой интенсивности групп с ФПР мюонов [1] и простыми геометрическими соображениями, можно получить следующее соотношение для зависимости частоты групп от абсолютной температуры T :

$$f(T) \sim (T_0/T)^b, \quad (2)$$

где $b \approx 1.6 - 1.8$, что приводит к оценке $B_t \approx 0.6\%/^\circ\text{C}$.

Для более корректной оценки ожидаемых значений барометрического и температурного коэффициентов было проведено моделирование ФПР мюонов для разных вариантов состояния атмосферы с помощью пакета CORSIKA (версия 6.900, май 2008 г.) [5]. Найденные оценочные значения коэффициентов ($B_P = -(0.239 \pm 0.013)\%/мбар$ и $B_t = -(0.557 \pm 0.029)\%/^\circ\text{C}$) удовлетворительно согласуются с полученными экспериментальными результатами.

Поскольку основная часть мюонов ($\sim 60\%$), регистрируемых в составе групп, образуется на высотах от 3 до 11 км [4], обнаруженный эффект может быть использован для мониторинга изменений температуры воздуха в верхней тропосфере.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД НИЯУ МИФИ при поддержке Рособразования и Роснауки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] И. И. Яшин и др., Изв. РАН. Серия физическая **71**(4), 573 (2007).
- [2] Сервер “Погода России”. Архив погодных условий (поддерживается ИКИ РАН). Доступ на веб-странице: <http://meteo.infospace.ru/>.
- [3] Л. И. Дорман, *Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей* (Наука, Москва, 1975).
- [4] Н. В. Толкачева, в сб. *Труды 9-ой Баксанской молодежной школы экспериментальной и теоретической физики* (Изд. МИФИ, Москва, 2009), т. 2, с. 110.
- [5] D. Heck et al., Forschungszentrum Karlsruhe Report FZKA 6019, 1998. Available at <http://www-ik.fzk.de/corsika/>.

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара “Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики”, Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 12 мая 2010 г.