

УДК 53.082

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОТОКОВ НЕЙТРОНОВ С ПОМОЩЬЮ НАЗЕМНОГО НЕЙТРОННОГО ДЕТЕКТОРА

© 2019 г. М. В. Филиппов¹, *, В. С. Махмутов¹, Ю. И. Стожков¹,
Ж.-П. Ролан², Е. В. Калинин¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

²Университет Маккензи, Сан-Паулу, Бразилия

*E-mail: mfilippov@frtk.ru

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

Основной целью данной работы является описание программного аппаратного комплекса, созданного на ДНС ФИАН. Прибор состоит из нейтронных детекторов на базе нейтронных счетчиков СНМ-18. Приводятся характеристики прибора, а также первые результаты анализа данных, полученных в наземных измерениях потоков нейтронов за период 2015–2018 гг.

DOI: 10.1134/S0367676519050132

ВВЕДЕНИЕ

В 2013–2014 гг. в Физическом институте им. П.Н. Лебедева сконструирован нейтронный детектор на базе нейтронных счетчиков СНМ-18, являющийся модификацией нейтронного детектора эксперимента ПАМЕЛА [1]. С мая 2015 г. прибор непрерывно работает в астрономическом комплексе CASLEO (31°47'55" ю. ш. 69°17'45" з. д., высота 2550 м над уровнем моря, жесткость геомагнитного обрезания $R_c = 9.8$ ГВ). Проведен первичный анализ экспериментальных данных, полученных на этом детекторе за 2015–2018 гг. Эксперимент проводится с университетом Маккензи (CRAAM, Бразилия) и сотрудниками Астрономического комплекса Эль-Леонсито (CASLEO, Аргентина).

ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННОГО ДЕТЕКТОРА

Основными компонентами программного аппаратного комплекса являются нейтронные детекторы (3 блока), интерфейсный блок, компьютер со специальным программным обеспечением.

Нейтронный детектор (НД) состоит из 9 счетчиков СНМ-18, расположенных в ряд горизонтально и окруженных двумя слоями полиэтилена. Полиэтилен используется для замедления быстрых нейтронов до тепловых энергий ($E_n \approx 0.025$ эВ), которые эффективно регистрируются счетчиками

СНМ-18, которые наполнены газами: гелием-3 – 97% и аргоном – 3%. Электроника каждого модуля НД состоит из двух плат: плата питания и телеметрии и плата усилителей (рис. 1).

На плате питания и телеметрии происходит сбор и обработка дополнительной информации: питающих напряжений, а также метеорологических данных (температуры и атмосферного давления). Совокупность этих данных далее называется “телеметрия”. На плате усилителей-формирователей происходит усиление импульсов от



Рис. 1. Блок-схема основных элементов нейтронного детектора и его взаимодействия с интерфейсным блоком.

СНМ-18 и преобразование их в прямоугольные. Далее импульсы всех 9 каналов объединяются по “ИЛИ” по коаксиальному кабелю передаются в интерфейсный блок.

Для приема данных от детектирующих модулей, их обработки и передачи на компьютер разработан интерфейсный блок. Данные от НД поступают на счетчики интерфейсного блока, где подсчитывается количество импульсов за время интегрирования (1 мс в рабочем режиме).

Длительность сформированных импульсов зависит от энергии проходящей частицы и укладывается в диапазон 10–30 мкс.

Ошибки счета теоретически могут возникать при наложении близких по времени сигналов от различных счетчиков в схеме “ИЛИ”, так как в подобном случае два положительных импульса сольются в один.

Условием появления ошибки примем факт генерации двух или более сигналов от нейтронных счетчиков за время, равное удвоенной длительности одного импульса. Оценим величину погрешности.

За основу возьмем измеренный средний счет нейтронного детектора на данной широте: $N_{cp} \approx 5 \text{ с}^{-1}$.

Длительность одного импульса примем как: $\tau \approx 20 \text{ мкс}$.

Математическое ожидание количества частиц за время $\Delta t = 2\tau$:

$$\mu = N_{cp} 2\tau.$$

Получим распределение Пуассона:

$$P(x) = \frac{(\mu)^x}{x!} e^{-\mu} = \frac{(N_{cp} 2\tau)^x}{x!} e^{-N_{cp} 2\tau},$$

где x – число импульсов;

$P(x)$ – вероятность генерации x импульсов в течение интервала времени Δt .

Вероятность отсутствия импульсов за время Δt :

$$P(x = 0) = e^{-N_{cp} 2\tau},$$

$$P(x = 0) \approx 0.9998.$$

Вероятность генерации одного импульса за время Δt :

$$P(x = 1) = \frac{(N_{cp} 2\tau)^1}{1!} e^{-N_{cp} 2\tau} = N_{cp} 2\tau e^{-N_{cp} 2\tau},$$

$$P(x = 1) \approx 0.0002.$$

Вероятность генерации двух и более импульсов за время $\Delta t = 2\tau$:

$$P(x \geq 2) = 1 - P(x = 0) - P(x = 1),$$

$$P(x \geq 2) \approx 0.000004.$$

Из этого следует, что вероятностью такого события и данным эффектом можно пренебречь.

Точность задаваемого интерфейсным блоком времени интегрирования зависит от точности используемого кварцевого генератора и особенностей алгоритма первичного сбора и обработки данных. Согласно расчетам, относительная погрешность формируемых интервалов времени равна: $\sigma_i \approx 0.011$.

АНАЛИЗ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

На текущий момент в нашем распоряжении имеются данные более чем за 3 года непрерывного мониторинга космических лучей с помощью данного программного аппаратного комплекса. В работе [2] приведены результаты анализа экспериментально полученных распределений интенсивностей потоков нейтронов (интегральный счет за час) для трех блоков нейтронного детектора.

По данным за июнь 2015–июнь 2018 гг. методом наложения эпох был получен суточный ход темпа счета потоков нейтронов для каждого блока НД (рис. 2, верхний график). Наблюдаются два пика, приблизительно в 8 и 20 ч по мировому времени. Средний счет блоков НД несколько отличается друг от друга, что связано с различной эффективностью нейтронных счетчиков: среднесуточный темп счета $N_0 = 13660.66 \text{ имп./ч}$, $N_1 = 13965.94 \text{ имп./ч}$, $N_2 = 13364.02 \text{ имп./ч}$.

Для данных по атмосферному давлению аналогично были получены суточные вариации для каждого блока. После чего данные по трем блокам были усреднены. График суточного хода атмосферного давления представлен на рис. 2 (нижний график). Так как барометрические датчики в настоящее время не откалиброваны в абсолютных единицах давления, используется относительное отклонение от средней величины.

При исследовании вариаций потоков нейтронов наземными установками, необходимо учитывать барометрический и температурный эффекты. На рис. 2 прослеживается явная обратная зависимость темпа счета НД от величины атмосферного давления при некотором временном сдвиге. В работе [3] приводится расчет барометрической по-

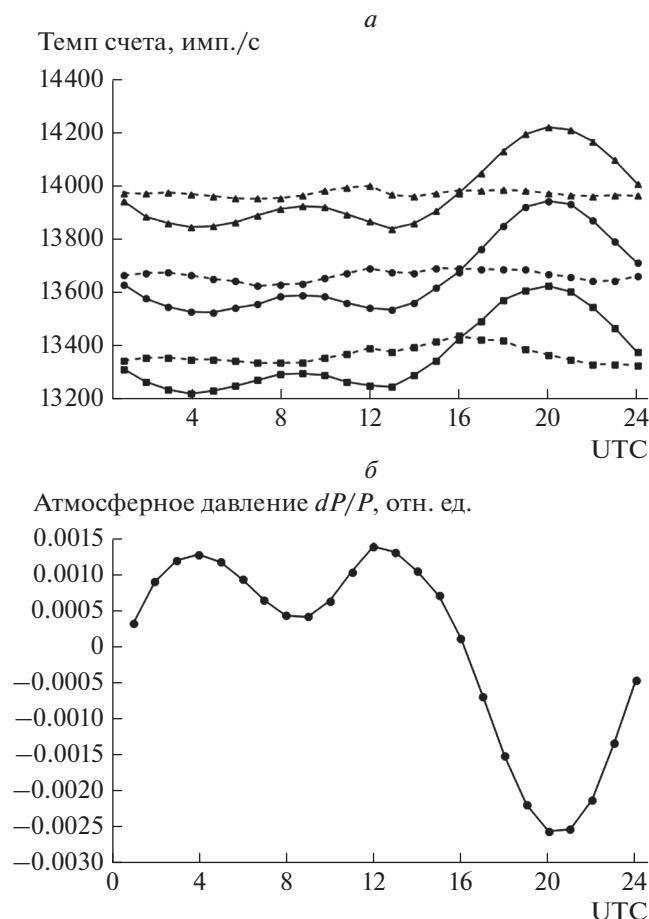


Рис. 2. Суточные вариации потоков нейтронов (верхний график), атмосферного давления (нижний график). На верхнем графике сплошными линиями показаны суточные вариации, не поправленные на давление, штриховыми линиями – поправленные. Данные нулевого канала показаны черными кружками, данные первого канала – треугольниками, данные второго канала – квадратами. Погрешности измеряемых данных являются пренебрежимо малыми величинами и не превосходят размера символов.

правки для прибора CARPET. Проведем аналогичный расчет поправки для НД:

$$\left(\frac{\Delta N}{N}\right)_P = \beta \frac{\Delta P}{P},$$

где $\left(\frac{\Delta N}{N}\right)_P$ – относительное отклонение темпа счета от среднего уровня, связанное с барометрическим эффектом;

$\frac{\Delta P}{P}$ – относительное изменение давления;

β – барометрический коэффициент.

Используя метод наименьших квадратов, определим барометрические коэффициенты для каждого блока НД:

$$\beta_0 = -7.81 (R^2 = 0.98);$$

$$\beta_1 = -6.88 (R^2 = 0.99);$$

$$\beta_2 = -7.48 (R^2 = 0.94).$$

На рис. 2 пунктирными линиями показан суточный ход потоков нейтронов для каждого канала, поправленный на давление. Как видно, суточные вариации существенно сглаживаются при учете барометрического эффекта. Остаточная суточная волна темпа счета нейтронов не превосходит 0.5% и будет исследована в дальнейшей работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ экспериментальных данных свидетельствует об устойчивой и качественной работе всех узлов и систем нейтронного детектора. Исследована суточная волна потоков нейтронов и определена барометрическая поправка для каждого блока НД.

В будущем планируется исследование годовой волны с учетом поправок на давление, сравнение полученных результатов с данными нейтронных мониторов, а также прибора CARPET и гамма-спектрометров, расположенных в CASLEO.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Adriani O., Barbarino G.C., Bazilevskaya G.A. et al.* // Proc. 30th ICRC. Merida. Mexico. 2008. V. 2. P. 325.
2. *Филиппов М.В., Стожков Ю.И., Махмутов В.С. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. № 5. С. 763; *Filippov M.V., Stozhkov Yu.I., Makhmutov V.S. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2015. V. 79. № 5. P. 700.
3. *De Mendonca R.R.S., Raulin J.-P., Echer E. et al.* // J. Geophys. Res. Space Phys. 2013. V. 118. № 4. P. 1403.