

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Н.Т. Буртебаев\*, В.В. Оскомов, Н.О. Садуев, О.А. Каликулов

*НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби, \*Институт ядерной физики НЯЦ РК, г. Алматы*

Исследована качественная картина частного случая, образования электрон-фотонной и мюонной компоненты при прохождении первичных космических лучей через земную атмосферу и одного из методов их регистрации на высоте 850 м над уровнем моря.

### Введение

Космические лучи - это потоки атомных ядер высоких энергий, приходящих на Землю из просторов Вселенной. Кроме того, к космическим лучам принято относить и вторичное излучение, возникшее в результате взаимодействия первичного космического излучения с ядрами атомов атмосферы Земли.

### Прохождение космических лучей через атмосферу Земли

Наша задача дать, в основном, качественную картину частного случая, порождения электрон-фотонной и жесткой (мюонной) компоненты при прохождении первичных космических лучей через земную атмосферу и одного из методов их регистрации на установке КазНУ им. Аль-Фараби.

Итак, на верхнюю границу атмосферы Земли после длительного путешествия приходят частицы первичного космического излучения. Им предстоит преодолеть до уровня моря (по вертикали) почти  $1030 \text{ г/см}^2$  вещества, в то время как в космосе весь их путь составил  $5 \text{ г/см}^2$ . Атмосфера Земли состоит в основном из азота ( $\text{N}_2 \sim 75,5\% \text{ масс.}$ ) и кислорода ( $\text{O}_2 \sim 23\% \text{ масс.}$ ) и углекислого газа. Плотность атмосферы на уровне моря -  $0,0012 \text{ г/см}^3$ .

На высотах порядка нескольких десятков километров ( $\sim 10^6 \text{ см}$ ) от поверхности Земли первичные космические лучи взаимодействуют с ядрами атомов воздуха. В этих взаимодействиях рождаются различного рода частицы: пионы -  $\pi$ , каоны -  $K$ , нуклон - антинуклонные пары, гипероны и т.д. Как правило, одна из вторичных частиц, того же типа, что и первичная, получает, в среднем, около 50% начальной энергии (так называемый эффект "лидирования"). Поэтому такая частица в состоянии еще несколько раз провзаимодействовать в атмосфере. Первичный нуклон с энергией  $> 10^{12} \text{ эВ}$  может испытать до десятка таких последовательных столкновений с ядрами атомов воздуха. Генерированные в этих взаимодействиях заряженные пионы -  $\pi^\pm$  затем или распадаются или могут сами провзаимодействовать с ядрами.

Нейтральные же пионы -  $\pi^0$  из-за малого времени их жизни  $\sim 10^{-16} \text{ с}$  практически сразу распадаются на два гамма-кванта, давая, тем самым, начало электронно-фотонной компоненте ( $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ).

Действительно, энергия, которую получает эта пара квантов, много больше массы покоя нейтрального пиона  $\pi^0$  ( $\sim 135 \text{ МэВ}$ ), и, следовательно, для таких  $\gamma$ -квантов наиболее вероятным процессом взаимодействия со средой будет образование электрон-позитронных пар ( $e^+ e^-$ ).

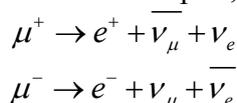
Электроны, в свою очередь, за счет тормозного излучения на ядрах атомов воздуха, дают опять высокоэнергичные  $\gamma$ -кванты, те опять  $e^+ e^-$  пару и т.д.. Таким образом в воздухе появляется электронно-фотонный каскад.

Итак, мы видим, что в атмосфере развивается, во-первых, каскад из ядерно-активных частиц (пионы, каоны, нуклоны и т.д.) и, во-вторых, электронно-фотонный каскад за счет процессов тормозного излучения и образования пар

Однако, размножение частиц в этих каскадах ограничивается процессами диссипации энергии. Для ядерных каскадов на пионах и каонах такими диссипативными процессами будут распады частиц, в результате которых вместо ядерно-активных частиц рождаются ядерно-пассивные (мюоны и нейтрино) или, как в случае распада нейтрального пиона, энергия перейдет в электронно-фотонную компоненту [1-3].

В случае электронно-фотонных каскадов диссипация энергии идет за счет ионизационных потерь электронов и комптон-эффектов, фотоэффектов и образования пар для фотонов. Развитие электронно-фотонных каскадов продолжается до тех пор, пока ионизационные потери электрона на одной радиационной длине не станут равными энергии  $E_{кр}$  самой частицы. В воздухе значение критической энергии равно 81 МэВ.

На ряду с распадом нейтрального пиона  $\pi^0$ , в атмосфере присутствует и процесс распада заряженных пионов, как это уже упоминалось выше. В результате распада заряженных пионов в атмосфере появляются мюоны. Мюон - частица нестабильная: его время жизни  $\tau \sim 2 \cdot 10^{-6}$  с, и распадается он на электрон, нейтрино и антинейтрино:



На ионизацию в атмосфере мюоны теряют в среднем около 2 МэВ·г<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>. В 30% случаев электрону передается столь большая энергия, что он сам превращается в быструю частицу. Такие электроны называются  $\delta$ -электронами.  $\delta$ -электроны, обладая энергией в  $10^3 - 10^4$  эВ, могут сами испытывать ионизационные потери.

Поток высокоэнергичных мюонов слабо поглощается в атмосфере. Ядерно-активные частицы быстро поглощаются в атмосфере. Поэтому, на уровне моря вторичное космическое излучение состоит в основном из мюонов (жесткая компонента), электронов и фотонов (мягкая компонента).

Таким образом, наличие у Земли довольно толстого слоя атмосферы позволяет первичным космическим лучам испытать многократные взаимодействия и развиваться каскадным процессам, в частности, электронно-фотонной компоненте.

Основными источниками электронно-фотонной компоненты космического излучения в атмосфере являются: распад нейтральных пионов с последующим образованием электронно-фотонного каскада, распад мюонов и образование  $\delta$ -электронов мюонами.

При сверхвысоких энергиях первичной частицы ( $E_0 > 10^5$  ГэВ) в атмосфере Земли число ее вторичных потомков в ядерных и электронно-фотонных каскадах достигает  $10^6 - 10^9$  частиц. Образованные вторичные частицы космических лучей регистрируются с помощью многочисленных и разнообразных детекторов. А если говорить конкретно мы опишем экспериментальную установку предназначенную для регистрации электронно-фотонной компоненты космических лучей [4-5].

Измерение числа частиц разной природы в космических лучах, их энергетических и пространственных характеристик, позволяет получить информацию о характеристиках первичных частиц и их взаимодействиях.

### **Экспериментальная установка**

Для получения временных распределений интенсивности электронно-фотонной компоненты космического излучения в данной работе используется устройство, построенное на базе модернизированных годоскопических модулей, для измерения плотности потока заряженных частиц. Далее это устройство для краткости будет именоваться «годоскопом» [6].

Устройство состоит из 6-ти модулей, содержащих по 20 ионизационных счетчиков типа СИ5Г. Размер чувствительной зоны счетчика составляет  $\varnothing 60 \times 560$  мм (рисунок 1).

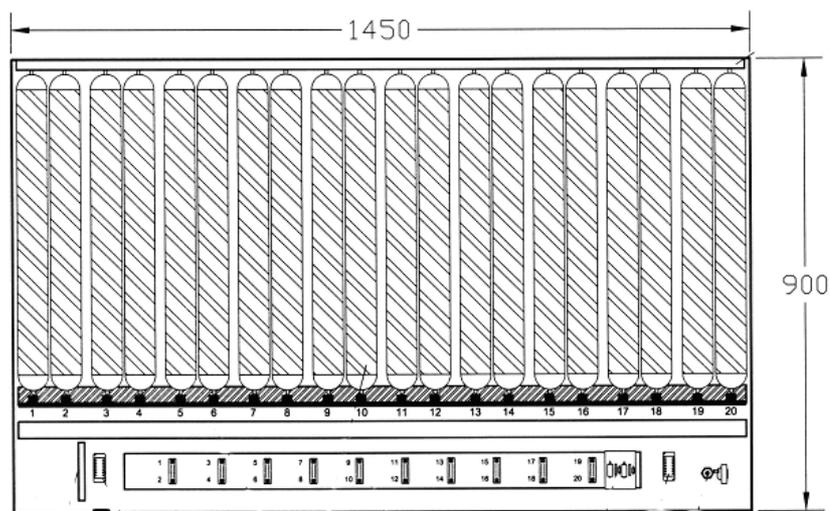


Рис.1. Годоскопический модуль нейтронного супермонитора

Годоскопические модули были установлены на нейтронный монитор типа 6NM-64, с целью использования свинца в качестве фильтров и автоматизированного комплекса «КАМАК». Тем самым можно с уверенностью сказать, что мы модернизировали нейтронный монитор типа 6NM-64. С учетом модернизации, была разработана, изготовлена и смонтирована годоскопическая установка на 120 каналов регистрации электронно-фотонной компонент вторичного космического излучения.

Четыре модуля покрывают монитор сверху, а два снизу расположенных взаимно перпендикулярно относительно друг друга, для определения направления прихода вторичного космического излучения. Установка работает в непрерывном режиме.

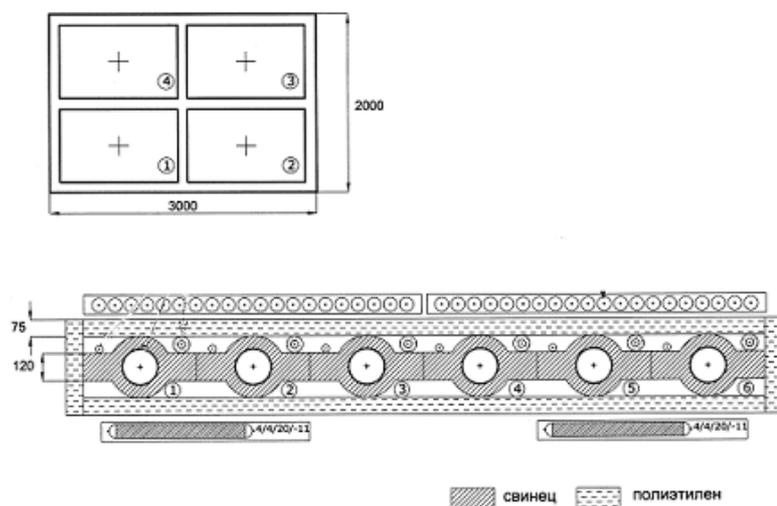


Рис.2. Схематическое изображение нейтронного супермонитора типа 6NM – 64 и установленного на нем годоскопических модулей

Процесс регистрации электронно-фотонной компоненты идет в комплексе с регистрацией нейтронной компоненты, с занесением в единую базу данных. Результаты регистрации фиксируются автоматизированным комплексом «КАМАК», аналоговой и цифровой электроникой микро- и наносекундного диапазона и разработанным оригинальным программным обеспечением обработки сигналов со счетчика, позволяющей различать факты генерации в широком диапазоне частот от 0.001 Гц до 1000 Гц. Полученные

данные помещаются в базу данных, где производится первичная обработка и вывод графиков при помощи оригинального программного обеспечения[7]. Для удобства контроля работоспособности отдельных счетчиков СИ5Г, с учетом их большого количества (шесть модулей по 20 счетчиков содержат 120 счетчиков), каждый модуль дополнен блоком индикации. Блок содержит 20 светодиодов, при помощи которых можно визуально контролировать работу каждого счетчика.

На данный момент все этапы по модернизации нейтронного монитора годоскопическими модулями завершена. Процесс регистрации электронно-фотонной компоненты ведется в круглосуточном режиме. На рисунках 3 и 4 представлены полученные данные от годоскопических модулей.

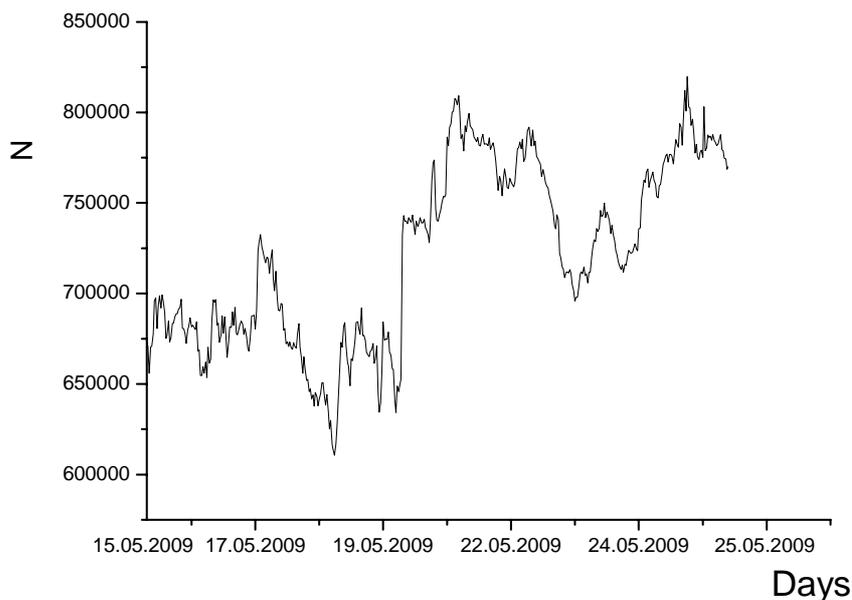


Рис. 3. Временные ряды данных электронно-фотонной компоненты расположенных над установкой за 15.05.09 – 24.05.09 гг.

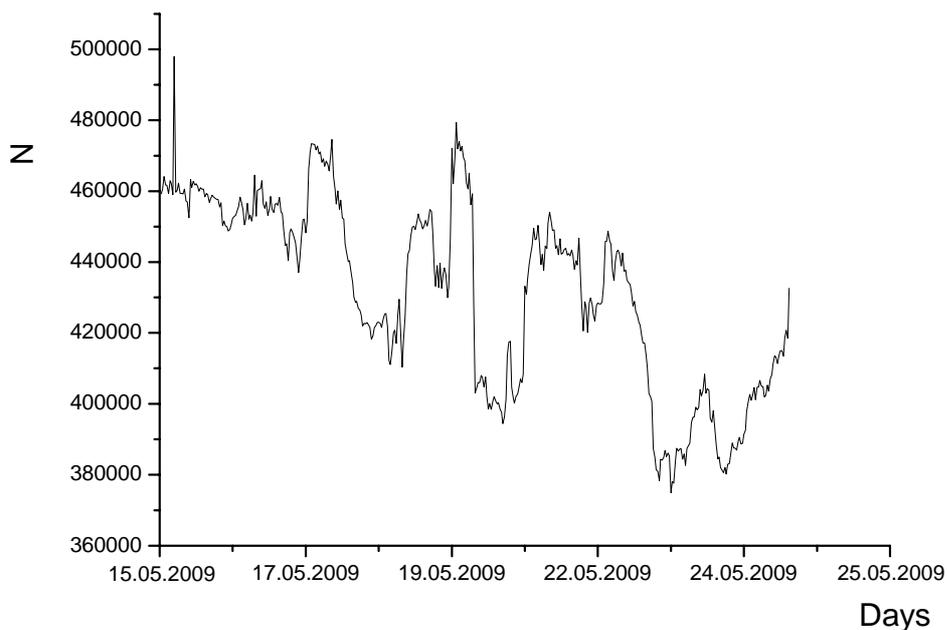


Рис. 4. Временные ряды данных электронно-фотонной компоненты расположенных под установкой за 15.05.09 – 24.05.09 гг.

## **Литература**

1. Ракобольская И.В., Калмыков Н.Н. Введение в физику космической лучей (конспект лекций, часть III) -М.: УНЦ ДО, 2004.
2. Калмыков Н.Н. Космические лучи сверхвысоких энергий. Цикл лекций по проблемам физики космических лучей высоких и сверхвысоких энергий. -М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001.
3. Мурзин В.С. Введение в физику космических лучей. - М.: Атомиздат, 1988.
4. Росси Б. Космические лучи. -М.: Атомиздат, 1966.
5. Стаменов Й.Н. Исследование мюонной компоненты широких атмосферных ливней на уровне гор. // Диссертация ... кандидата физ.-мат. наук, Москва, ФИАН, 1970.
6. Фюнферт Э., Нейерт Г. Счетчики излучений. // Атомиздат, Москва, 1961.
7. Векслер В., Грошев Л., Исаев Б. Ионизационные методы исследования излучений. // Атомиздат, Москва - Ленинград, 1949.

## **ҒАРЫШ СӘУЛЕЛЕРІНІҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СПЕКТРІН ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН ҚОНДЫРҒЫ**

**Н.Т. Бүртебаев, В.В. Оскомов, Н.О. Садуев, О.А. Каликулов**

Ғарыш сәулелері жер атмосферасынан өткендегі электрон-фотондық және мюондық құралдарының пайда болуының дербес жағдайлары және олардың теңіз деңгейінен 850 м биіктіктегі тіркеудің бір әдісі зерттелген.

## **INSTALLATION FOR RESEARCH OF THE ENERGY SPECTRUM OF COSMIC RAYS**

**N.T. Burtabayev, V.V. Oskomov, N.O. Saduev, O.A. Kalikulov**

The qualitative picture of a special case, formation elektron-photon and muon components is investigated at passage of primary cosmic rays through terrestrial atmosphere and one of methods of their registration at height of 850 m above sea level.