

ВФИ-789(16)-85

---

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Х.П.БАБАЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО  
СУПЕРМОНИТОРА В КОМПЛЕКСНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ АНИ

ЕРЕВАН-1985

© 1985 by научно-исследовательский институт информации  
и экономических исследований по атомной науке  
и технике (НИИ Информ) 1985.

ЭФН-789(16)-85

KH.P.BABAYAN

ON THE POSSIBILITY OF USING A NEUTRON SUPERMONITOR  
IN THE COMPLEX EXPERIMENT ANI

The possibility is considered of defining the spatial distribution of low energy hadrons in EAS basing on the use of a standard neutron supermonitor 18-NM-64 as a part of the complex experiment ANI.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1985

БМ-789(16)-85

Х.П.БАБАЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО  
СУПЕРМОНИТОРА В КОМПЛЕКСНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ АНИ

В работе рассматривается возможность определения пространственного распределения адронов низких энергий в ШАЛ, на основе использования стандартного нейтронного супермонитора IS-NM-64 в составе аппаратуры комплексного эксперимента АНИ.

Бреванский физический институт

Бреван 1985

В проекте эксперимента АНИ [1], предусматривающем использование различных детекторов для исследования широкого круга вопросов, связанных с частицами космического излучения сверхвысоких энергий, планируется использовать и нейтронный супермонитор. Получив соответствующие данные пропорциональных счетчиков супермонитора в момент регистрации ливней, можно изучать различные характеристики низкоэнергичных адронов в ШАЛ. Относительно большое число нейтронов, зарегистрированных в ливне даст возможность сделать заключение не только о плотности потока ливневых адронов, но также и о средней энергии адронов, ответственных за генерацию нейтронов.

#### Методы регистрации

Выделение адронов на фоне большого числа электронов и мюонов проводится с учетом, с одной стороны, их большей проникающей способности по сравнению с электронами и фотонами, и с другой стороны, их значительно большей ливнеобразующей способности сравнительно с мюонами (если не учитывать ливни от  $\delta$  - электронов, создаваемых мюонами). Поэтому для отделения электронно-фотонной (ЭФ) - компоненты и регистрации адронной компоненты

удобно использовать детекторы, состоящие из комбинированного фильтра: вначале тяжелого вещества для поглощения ЭФ - компоненты и затем легкого (для повышения относительной роли взаимодействия адронов).

Одним из методов регистрации нейтронов умеренных энергий является использование пропорциональных счетчиков, наполненных трехфтористым бором ( $BF_3$ ), обогащенным изотопом  $B^{10}$ , взаимодействие которого с нейтронами приводит к реакции  $B^{10}(n, \alpha)Li^7$ .

Окружая борные счетчики различным веществом, где может происходить генерация и замедление нейтронов, мы можем получить разные детекторы. Так, например, нейтроны умеренной энергии ( $\sim 50$  МэВ) в ШАЛ после их замедления (парафином, углеродом и т.п.) регистрируются с помощью таких счетчиков, включенных на запаздывающее совпадение с незэкранированными счетчиками, срабатывающими от электронов. Этот метод основан на использовании большого времени жизни медленных нейтронов в замедлителе, что позволяет отличить импульсы, обусловленные нейтронами, от импульсов, вызванных плотными электронными ливнями [2]. При этом регистрируются нейтроны, частично приходящие из воздуха, а частично образующиеся локально. При использовании в качестве локального генератора нейтронов свинца, большая часть регистрируемых нейтронов образуется в свинце.

Отметим, что этот метод регистрации адронов по нейтронам, допускаемым при расщеплении тяжелых ядер мишени, обладает преимуществом по сравнению с методом регистрации адронов детекторами проникающих частиц. Большое время жизни замедляющихся нейтронов в парафине детектора позволяет ввести задержку управляющего импульса относительно момента прихода ливня. Благодаря этому такой детектор адронов не чувствителен к ЭФ - компоненте и

мюонам.

Указанный метод был применен в работе [3] для изучения адронной компоненты ШАЛ на высотах гор. Здесь толщины парафина были такими же, как и в работе Симпсона и др. [4], где оптимальные толщины (замедлитель - 3 см., отражатель - 20 см.) были определены экспериментально. В связи с широким применением нейтронных супермониторов для изучения вариаций космических лучей (КЛ) [5], уже давно возникла мысль [3] об их использовании для исследования адронной компоненты ШАЛ. Последовательное осуществление этой мысли по-видимому, произошло в работах [6, 15]. В эксперименте [6] получены спектры нейтронных кратностей - число случаев регистрации одного, двух, трех и т.д. нейтронов на различных расстояниях от оси ливня. На Тянь-Шаньской высокогорной установке [15] нейтронный супермонитор использовался в качестве детектора космических лучей энергии в ШАЛ.

#### Пространственное распределение адронов низких энергий

Попытки получить данные о пространственном распределении адронов сравнительно высоких энергий (от 50 до 2000 ГэВ) в ШАЛ различными методами были проведены в некоторых работах, как, например, [7-9]. Сравнение результатов этих работ показывает, что адроны высокой энергии с  $E \geq 10^{12}$  эВ сосредоточены около оси ливня на расстояниях  $\leq 1-2$  м, а функция пространственного распределения  $\rho_a(z)$  в интервале от 2 до  $\sim 40$  м уменьшается с расстоянием от оси быстрее, чем плотность электронов, т.е. несколько быстрее, чем  $1/z$ .

На рис. I приведены экспериментальные данные о пространственном распределении адронов сравнительно малых энергий на высотах

гор по результатам работ [3, IC]. Обращает на себя внимание широкое пространственное распределение адронов малых энергий на высотах гор и его независимость от  $N$ .

Таким образом, сравнение результатов цитированных выше работ показывает необходимость изучения также адронов малых энергий в ШАЛ. Для этого в эксперименте АНИ целесообразно использовать нейтронный супермонитор ст. Арагац [II].

Указанный метод изучения адронов ШАЛ, как показано выше, обладает преимуществом по сравнению с методом регистрации адронов детекторами проникающей радиации.

В арагацком нейтронном супермониторе используются отечественные пропорциональные счетчики СММ-15, наполненные газом  $F_3$  обогащенным изотопом  $B^{10}$ . Супермонитор с эффективной площадью  $16 \text{ м}^2$  состоит из трех 6-счетчиковых секций, помещенных в полиэтиленовый блок и окруженных свинцом. Дополнительный наружный слой полиэтилена служит для отражения нейтронов, вылетающих из свинца, а также для поглощения медленных нейтронов из атмосферы. Энергетический порог регистрации  $10^6 \text{ эВ}$ .

С помощью этой установки, включив её в систему АНИ на расстоянии примерно 60-70 м от центра большого калориметра, можно регистрировать количество  $\sim 3 \cdot 10^{12}$  ) число адронов с энергией  $10^6 \text{ эВ}$  в ливне на расстоянии примерно от 20 до 100 м от оси ливня.

Действительно, если  $\bar{N}_n$  - среднее число регистрируемых нейтронов на расстоянии  $r$  от оси ливня, то

$$\bar{N}_n(r) = \rho(r) S \pi(r) \cdot \epsilon, \quad (1)$$

где  $S$  - площадь нейтронного монитора,  $\epsilon$  - эффективность моно-

нитора к регистрации нейтронов,  $\overline{n(\tau)}$  — средняя множественность генерированных нейтронов. Кроме того,  $\rho_a(\tau)$  и  $\overline{n(\tau)}$  связаны еще другим соотношением. Вероятность зарегистрировать адрон монитором дается выражением  $1 - e^{-\eta(\tau)}$ , где

$$\eta(\tau) = \rho_a(\tau) \cdot S \cdot \frac{\overline{n(\tau)} \cdot \varepsilon}{1 + \overline{n(\tau)} \cdot \varepsilon} \quad (2)$$

Величины  $\overline{N_a(\tau)}$  и  $1 - e^{-\eta(\tau)}$  определяются из опыта, что позволяет найти  $\rho_a(\tau)$  и  $\overline{n(\tau)}$ . Правда, здесь имеется некая неточность. Следуя Коккони и др. [12], для процесса ядерного испарения нейтронов из ядра  $N_a = (e^{\alpha} - 1)e^{-\alpha n}$ , а средняя множественность, которая зависит от энергии падающих адронов

$$\overline{n} = (1 - e^{-\alpha})^{-1} \quad (3)$$

Таким образом, задача по определению среднего числа нейтронов умеренной энергии, генерированных при взаимодействии адрона в поглотителе, сводится к определению постоянной „ $\alpha$ “ из экспериментальных данных путем сопоставления частоты регистрации одного, двух и более нейтронов в детекторе  $N_n$  при прохождении  $N_a$  с заданным числом частиц. Ее можно определить из соотношения [13]

$$\sum_{n=2}^{\infty} N_n / \sum_{n=1}^{\infty} N_n = \varphi(\alpha, \varepsilon)$$

Здесь в числителе стоит частота событий, в которых зарегистрировано два и более нейтронов, в знаменателе — частота совпадений, в которых зарегистрирован по крайней мере один нейтрон.

Отметим, что эти рассуждения справедливы для случая взаимодействия одной частицы в поглотителе. На самом деле на детектор одновременно могут попасть и провзаимодействовать несколько адронов, поэтому  $\varphi(\alpha, \varepsilon)$  нужно рассчитать с учетом плотности потока адронов в ливне  $\rho_a$  и, как показано в работах [3, 12],

сопоставлениями экспериментальной величины  $\varphi(\alpha)$  с расчетной определить  $\alpha$  и среднее число нейтронов.

Следует отметить, что для получения более точных данных определенную роль играет вероятность того, что импульс от нейтронного счетчика приходит в пределах регистрируемого временного интервала. Эта вероятность определяется временем жизни нейтронов в детекторе, длительностью управляющего импульса и задержкой управляющего импульса по отношению к моменту прохождения ливня. Длительность управляющего импульса обычно выбирается порядка времени жизни нейтронов в детекторе. Предполагается регистрировать совпадения разрядов в счетчиках для двух значений разрешающего времени  $\sim 330$  и  $20$  мкс. Первое время, равное времени жизни нейтронов в супермониторе, выбирается как оптимальное при учете двух противоположных факторов: роста эффективности регистрации истинного попадания адрона и уменьшения доли случайных совпадений с фоновыми импульсами в соседних счетчиках. Второе время разрешения ( $\sim 20$  мкс) предназначается для определения плотности потока адронов в более разреженных ливнях, когда при разрешающем времени около  $\sim 330$  мкс обрабатывают все 18 счетчиков [15].

#### Доля и энергетические характеристики адронной компоненты

До появления приближенных методов определения энергии адронов исследование адронной компоненты было ограничено получением ее пространственного распределения и выяснением зависимости числа адронов от числа частиц в ливне  $N_{\text{л}}$ .

Первые данные о зависимости числа адронов ( $N_a$ ) от полного числа ливневых частиц ( $N$ ) получены в работе [16].

выполненной на высоте 3860 м над уровнем моря. Было обнаружено изменение зависимости  $N_{\alpha}$  от  $N$  при  $N \approx 2 \cdot 10^5$ , что по мнению авторов явилось указанием на изменение характеристик элементарного акта при энергии первичной частицы  $E_0 \approx 3 \cdot 10^{14}$  эВ.

Последующие эксперименты частично подтверждали этот результат, частично противоречили ему.

После появления методов приближенной оценки энергии адронов появилась возможность изучать зависимость  $N_{\alpha}$  от  $N$  для частиц различных энергий и на разных высотах в атмосфере. На рис. 2 приведены экспериментальные данные о зависимости  $N_{\alpha}(N)$  для высот гор и для различных энергетических порогов. Обращает на себя внимание следующая тенденция в экспериментальных данных. Согласно измерениям на высотах гор [3,7,8], зависимость  $N_{\alpha}(N)$  несколько более слабая, чем на уровне моря. Если принять  $N_{\alpha} \sim N^{\beta}$ , то  $\beta$  на уровне моря и на высотах гор отличаются на величину  $\Delta\beta \approx 0,2-0,3$  причем  $\beta = 0,5-0,8$  на высотах гор.

Некоторые из отмеченных тенденций представляются качественно вполне объяснимыми с точки зрения общей картины развития ядерного и ЭФ-каскадов. В то же время трудно понять по обстоятельству, что абсолютное значение „ $\beta$ “ на высотах гор, по-видимому, меньше единицы. Необходимо тщательное исследование с учетом корреляции  $S$  и  $\beta(\tau > E)$ .

При измерении низкоэнергичных адронов в ШАЛ с помощью нейтронного супермонитора, получение средней множественности генерированных нейтронов  $n(\tau)$  и использовав соотношение

$n = 20 E^{0,45}$  (ГэВ) [14], можно получить приближенную информацию об энергии адронов, как функции расстояния от оси ливня.

Здесь следует выяснить до конца роль нейтронов, возникающих от ЭФ-компоненты ШАЛ.

Таким образом, включив в комплекс АНИ нейтронный супермонитор ИБ-ММ-64, можно получить необходимую информацию для исследования низкоэнергичных адронов в ШАЛ на различных расстояниях от оси ливня.

В заключение автор выражает благодарность Э.А.Мамиджаняну и В.В.Авакяну за интерес к работе.

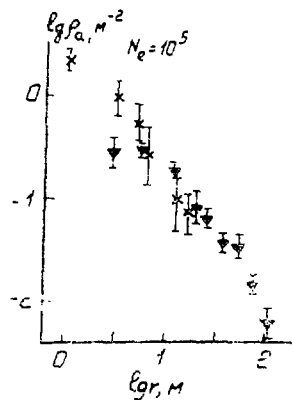


Рис.1 Пространственное распределение адронов с энергией более сотен мегаэлектронвольт на высоте гор в ливне с  $N_e = 10^5$ ; x - [3];  $\nabla$  - [10]

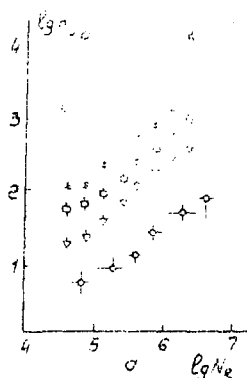


Рис.2 Зависимость числа ядерно-активных (я.-а) частиц различных энергий от числа частиц в ливне  $N$  на уровне гор.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова Т.В., Дунаевский А.М., Ерышкин А.Д. и др. Проект эксперимента по исследованию адронов в области энергий  $10^3 - 10^5$  ТэВ (эксперимент АНИ). Изв.АН Арм ССР, Физика, 1982, т.17, вып.3-4, с.129-232.
2. Грейзен К. Широкие атмосферные ливни. В кн. "Физика космических лучей"./Под ред. Дж.Вильсона, ИЛ, 1958, т.Ш, с.96.
3. Данилова Т.В., Денисов Е.В., Никольский С.М. Определение полного числа ядерно-активных частиц в широких атмосферных ливнях с числом частиц  $3 \cdot 10^4 - 10^6$ . ЖЭТФ, 1964, т.46, вып.5, с.1561-1576.
4. Simson J.A., Fowler G., Freeman W.B. Cosmic Radiation Intensity - Time Variations and Their Origin. *Journal of Geophysical Research*, 1950, vol.79, p.730.
5. Дорман В.М. Вариации галактических космических лучей. Из-во МГУ, Москва, 1975.
6. Wolf R., Fialte R., Hesse J.U. et al. The energy dependence of extensive air showers using a ground level air shower monitor. *Acta Phys.Hung.* 1970, 29, Suppl. vol.3, p.471.
7. Chatterjee B. Studies on Extensive Air Showers. "Canad. J. Phys." 1968, vol.46, p.136.
8. Miyake S., Turner K.E. The nuclear interacting component of extensive air showers. "Acta Phys.Hung." 1970. 21, Suppl. 3, p.471.

9. Matano T. On fluctuation phenomena in extensive air showers cores. "Canad.J.Phys.", 1968, vol.46, p.56.
10. Sreekanten B. Proc.Intern. Conf.on Cosmic Rays., Bombay, 1963, vol.4, p.143.
11. Акопян С.К., Бабаян Х.И. Атмосферные эффекты в вариациях космических лучей на высоте 3200 м над уровнем моря. Изв.АН СССР Сер.физ.1974, т.36, вып.9, с.1167
12. Sessoni G., Sessoni M.- Tongiorgi Intensity and lateral distribution of the N-component in the extensive Air shower of the Cosmic radiation Phys.Rev., 1968, vol. 177, p.1707
13. Никольский С.И., Вавилов К.И., Катков В.И. Исследования активной и не-активной компоненты широкой атмосферной ливневой компоненты излучения. Доклады АН СССР, 1968, т.176, с.1167
14. Nikolskiy S.I., Vavilov K.I., Katkov V.I. Investigation of the active and non-active components of the extensive air shower component of cosmic radiation. Phys.Rev., 1968, vol.177, p.1707
15. Арлыкин А.Д., Нестерова Н.М. Выявление широкой атмосферной ливневой компоненты для изучения широких атмосферных ливней и ядерных взаимодействий частиц с энергией  $10^{12} - 10^{16}$  эВ. сб."Космические лучи", № 10, М.: Наука, 1969, с.104-115.

Рукопись поступила 15 февраля 1985 г.

Х. П. БАБАЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙТРОННОГО СУПЕРМОНИТОРА В  
КОМПЛЕКСНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ АНИ

Редактор Л. Н. Мукаян

Технический редактор А. С. Абрамян

---

Подписано в печать 27/У-85г.	ВФ-00923	Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч. изд. л. 1,0		Тираж 299 экз. Ц. 15 к.
Зак. тип. № 223		Индекс 3624

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте  
Ереван 36, Маркарян 2