

УДК 537.591.8

ЗАПАЗДЫВАЮЩИЕ АДРОНЫ В ШАЛ ПО ДАННЫМ ТЯНЬ-ШАНЬСКОГО НЕЙТРОННОГО СУПЕРМОНИТОРА НМ 64

В. П. Антонова¹, Г. Б. Жданов, Н. М. Нестерова, В. В. Пискаль,
А. П. Чубенко, А. Л. Щепетов

С помощью модифицированного нейтронного супермонитора НМ64 на Тянь-Шаньской высокогорной станции (высота 3340 м) были измерены временные распределения адронов высокой энергии в стволах ШАЛ. При числе электронов в ШАЛ $N_e < 10^6$ они хорошо согласуются со стандартными экспоненциальными, но при $N_e > 10^6$ обнаружено существенное отличие, свидетельствующее о наличии адронной компоненты, запаздывающей на время 300 – 500 мкс относительно фронта ШАЛ.

Существенно модифицированный нейтронный трехсекционный супермонитор типа НМ64 [1] был включен в состав установки "Адрон" для исследования широких атмосферных ливней (ШАЛ), и на нем в течение 1995-97 гг. на Тянь-Шаньской станции ФИАН были проведены измерения числа замедленных вторичных нейтронов от адронной компоненты ШАЛ. В данной статье представлены экспериментальные результаты по временным распределениям этих нейтронов в широком диапазоне кратностей M . В нашем эксперименте кратность M определялась как суммарное число нейтронных импульсов, зарегистрированных в течение 3,5 мс после прохождения фронта ШАЛ каналами с борными счетчиками одной секции монитора с максимальным показанием.

Для получения основных параметров ШАЛ (мощность N_e , возраст S и координаты оси ливня) была использована сцинтилляционная система установки "Адрон" [2].

¹Институт физики ионосферы Министерства науки Республики Казахстан.

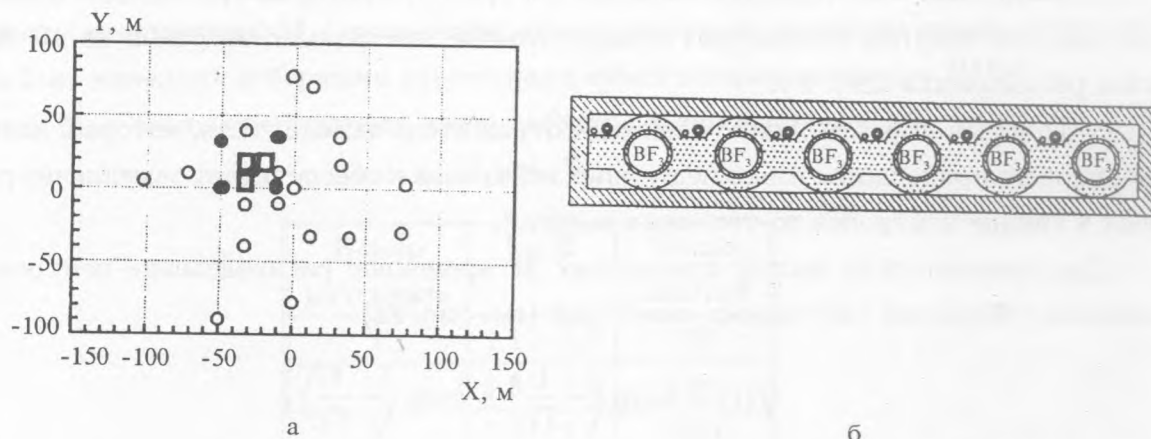


Рис. 1. а) Общая конфигурация комбинированной установки "Адрон" с нейтронным супермонитором НМ64. о – сцинтилляционные детекторы, ● – сцинтилляционные детекторы, участвующие в формировании периферийного (нейтронного) триггера, □ – секции НМ64. б) Сечение секции модифицированного супермонитора. BF_3 – борные счетчики, ● и ○ – гелиевые счетчики с парафиновым замедлителем и без него (показания последних в данной работе не анализировались); косой и точечной штриховкой показаны полиэтиленовый замедлитель нейтронов и свинцовый генератор нейтронов.

На рис. 1а показано современное расположение сцинтилляционных детекторов и трех идентичных секций нейтронного супермонитора, удаленных в среднем на 34 м от центра установки "Адрон". Для отбора ливней, проходящих вблизи супермонитора (на расстоянии до 20 м), последний был окружен пятью дополнительными сцинтилляторами, обеспечивающими получение триггерного сигнала.

Для измерения пространственных, энергетических и временных характеристик адронной компоненты ШАЛ использовались все три секции супермонитора (каждая площадью $2 \times 3 \text{ м}^2$). Сечение секции показано на рис. 1б. Основными частями секции являются:

1. Шесть пропорциональных нейтронных счетчиков размерами $15 \times 200 \text{ см}^2$, наполненных газом BF_3 , обогащенным изотопом B^{10} , которые позволяют регистрировать медленные нейтроны за счет реакции $B^{10}(n, \alpha)Li^7$. Все они обернуты полиэтиленовой оболочкой толщиной 2 см для замедления испарительных нейтронов.

2. 12 нейтронных счетчиков размером $3 \times 30 \text{ см}^2$, наполненных He^3 (давление 4 атм) и работающих на реакции $He^3(n, p)H^3$. Половина из них имеют парафиновую оболочку (внутренний замедлитель) толщиной 2 см.

3. Свинцовый слой (средняя толщина 150 г/см^2), в котором проходящие извне адроны высокой энергии генерируют испарительные нейтроны с энергией до 10 МэВ за счет расщепления ядер Pb .

4. Толстый ($7,5 \text{ см}$) полиэтиленовый отражатель-замедлитель, который защищает монитор от проходящих извне медленных нейтронов и обеспечивает замедление рожденных в свинце нейтронов до тепловых энергий.

При сравнительно малых кратностях M временное распределение нейтронов для каналов с борными счетчиками имеет вид (см. рис. 2а)

$$f(t) = a \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + b \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right), \quad (1)$$

где времена жизни $T_1 = 245 \text{ мкс}$ и $T_2 = 620 - 650 \text{ мкс}$, а также значения $a = 0,72$ и $b = 0,28$ определяются расположением и размерами, соответственно, внутреннего и наружного замедлителя. Вид функции (1) и значения ее параметров хорошо согласуются с результатами работы [3], и поэтому функцию $f(t)$ можно считать стандартной для НМ64.

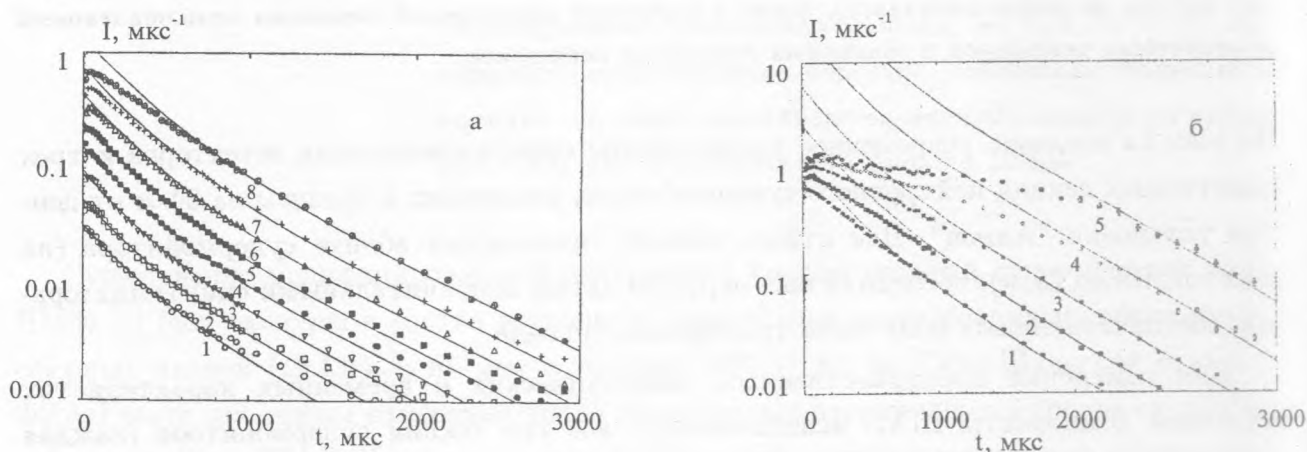


Рис. 2. Временные зависимости интенсивности I тепловых нейтронов по данным борных счетчиков. Сплошные кривые представляют стандартную функцию (1) (см. текст) распределения нейтронных импульсов в НМ64. Цифры у кривых соответствуют разным интервалам кратностей нейтронов M (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Интервалы кратностей M (число нейтронных импульсов, регистрируемое за время 3,5 мс каналами с борными счетчиками одной секции монитора НМ64) и соответствующее число событий в этих интервалах

К рис. 2а

Номер интервала	$\log M$	Число событий
1	1,1 – 1,2	1784
2	1,3 – 1,4	3287
3	1,5 – 1,6	3583
4	1,7 – 1,8	3844
5	1,9 – 2,0	2788
6	2,1 – 2,2	1713
7	2,3 – 2,4	919
8	2,5 – 2,6	477

К рис. 2б и рис. 3

Номер интервала	M	Число событий
1	316 – 398	477
2	501 – 630	256
3	794 – 1000	90
4	1258 – 1584	22
5	1995 – 2511	3

Как было показано в нашей статье [4], кратность нейтронов M позволяет оценить энергию проходящих через секцию адронов. При этом параметры $a = 0,72$ и $b = 0,28$ сохраняют свое значение вплоть до кратностей $M \sim 400$, когда методические поправки на среднее мертвое время регистрирующих каналов $\tau_0 \sim 1,5$ мкс достаточно малы (не превышают 20% на всем временном интервале измерения). Однако при высоких кратностях ($M > 400$), когда частота регистрируемых импульсов (интенсивность) в секции превышает значение 1 мкс^{-1} , временное распределение нейтронов существенно

меняется (см. рис. 2б) и процедура поправок на просчеты в каналах может стать ненадежной. Существенно уменьшить влияние просчетов в каналах на измерение временных распределений нейтронов в этой области значений M помогают малоразмерные счетчики СНМ-18, так как для них вероятность регистрации испарительных нейтронов в 20 раз меньше, чем для больших борных счетчиков СНМ-15. На эксперименте оказалось, что в области кратности $M < 1000$ функция временного распределения для гелиевых счетчиков с замедлителем есть сумма двух экспонент, как и для борных, только характерное время T_1 для них равно 50 – 60 мкс (за счет высокой эффективности СНМ-18 для тепловых нейтронов, небольших размеров и наличия внутреннего замедлителя).

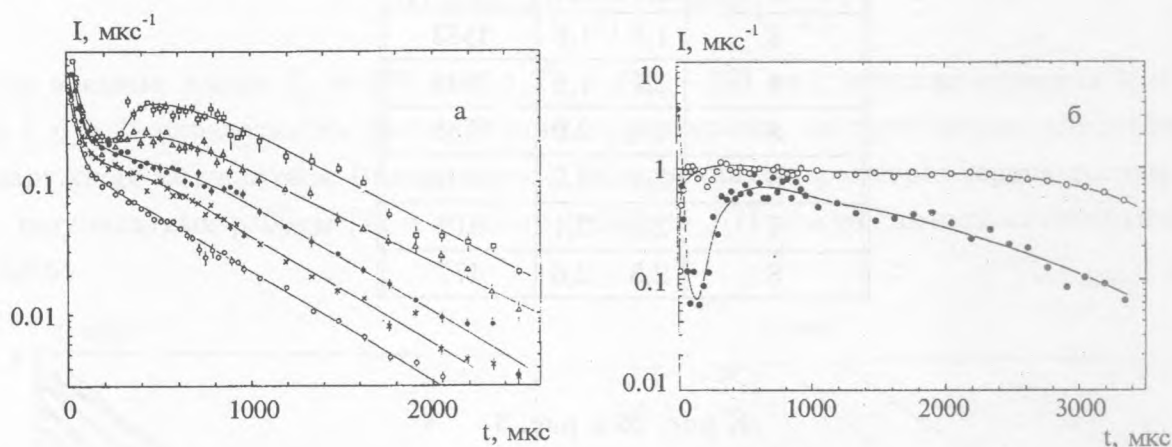


Рис. 3. Временные зависимости интенсивности I нейтронов по данным гелиевых счетчиков в области больших кратностей: а) усредненные кривые для областей больших кратностей (см. таблицу); б) сравнение временного хода интенсивности по данным борных (○) и гелиевых (●) счетчиков для события с максимальной кратностью ($M=2836$) при мощности ШАЛ $N_e = 2 \cdot 10^8$.

Временные распределения в диапазоне кратностей $M = 300 - 2500$, полученные для гелиевых счетчиков с замедлителем, представлены на рис. 3а. Отдельно (рис. 3б) представлено событие с максимальной кратностью $M \sim 2800$, и там же дана соответствующая кривая временного хода по борным счетчикам той же секции.

Из рис. 3 видно, что несмотря на резкое повышение временной разрешающей способности монитора в каналах с гелиевыми счетчиками, в событиях с кратностью $M > 1000$ для этих каналов, также как и для каналов с борными счетчиками, во временных распределениях нейтронов наблюдаются большие отклонения от стандартного двухэкспоненциального распределения. Следовательно, представленные нами ранее в [4] ано-

мальные отклонения во временных распределениях не связаны с просчетами в каналах НМ64, а имеют другую причину методического характера.

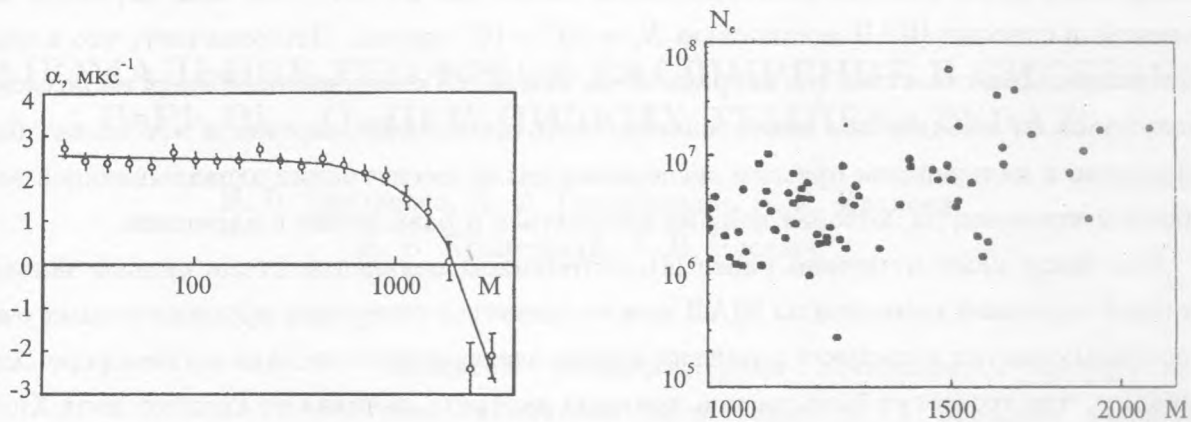


Рис. 4. Зависимость от кратности M показателя наклона α кривых временного хода интенсивности по данным гелиевых счетчиков для временного интервала 100 – 700 мкс ($\alpha = T^{-1}$, где T – время жизни нейтронов).

Рис. 5. Корреляция между кратностью M нейтронов, зарегистрированных счетчиками СНМ-15 в секции монитора НМ64, и числом заряженных частиц в ливне N_e в событиях с $M > 1000$.

Для интерпретации данных, полученных с гелиевыми счетчиками, мы представляем на рис. 4 зависимость усредненных по событиям данной кратности показателей экспоненты $\alpha = T^{-1}$ (T – время жизни) временного хода интенсивности нейтронов для интервала времени 100 – 700 мкс. Видно, что вплоть до кратностей $M \sim 1000$ после введения необходимых поправок на просчеты, связанные с мертвым временем в каналах, значения α не зависят от кратности M , а при $M > 1000$ значение α уменьшается и даже меняет свой знак, что указывает на появление запаздывающей на более чем 300 – 500 мкс дополнительной адронной компоненты в стволах ШАЛ.

Для определения размеров области ствола ШАЛ, в которой возникает обнаруженное нами явление, важна информация о расстоянии от супермонитора до оси ШАЛ. Оказалось, что при кратностях $M > 1000$ эти расстояния не превышают 10 м и мощности соответствующих ШАЛ (см. рис. 5) $N_e > 10^6$, т.е. энергия первичной частицы этих ШАЛ выше $3 \cdot 10^{15}$ эВ. При самых высоких кратностях ($M > 1500$) anomalous временное поведение нейтронной компоненты в 50% случаев соответствует стволам ШАЛ

с $N_e > 10^7$ и $E_0 > 10^{16}$ эВ.

Таким образом, в эксперименте с нейтронным супермонитором на горных высотах обнаружено новое явление запаздывающей более, чем на 300 – 500 мкс адронной компоненты в стволах ШАЛ мощностью $N_e = 10^6 - 10^8$ частиц. Это означает, что в обычных установках с быстрой регистрацией частиц ШАЛ столь высокой энергии возможно ускользает от наблюдения значительная часть их полной энергии, и это может быть проверено в дальнейшем прямым экспериментом по регистрации запаздывающей электронной компоненты, которая должна находиться в равновесии с адронной.

Как было нами отмечено ранее [4], источником появления столь сильно запаздывающей адронной компоненты ШАЛ может оказаться генерация промежуточных очень массивных частиц в процессе развития ядерно-электронного каскада в атмосфере. Здесь добавим, что это могут быть разной природы частицы, начиная от квантов поля Хиггса до странглетов или даже тахионов.

Авторы благодарят Г. Т. Зацепина за плодотворное обсуждение результатов эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант N 97-02-17867.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] H a t t o n C. J. and C a r m i c h a e l H. Can. J. of Physics, **42**, 2443 (1964).
- [2] А д а м о в Д. С., А р а б к и н В. М., В и л ь д а н о в Н. Г. и др. Известия АН, сер. физ., **55**, N 4, 703 (1991).
- [3] А у ш е в В. М., Ж д а н о в Г. Б., К о к о б а е в М. М. и др. Известия АН, сер. физ., **61**, N 3, 486 (1997).
- [4] А у ш е в В. М. и др. Известия АН, сер. физ., **61**, N 3, 488 (1997).

Поступила в редакцию 1 сентября 1997 г.