

УДК 539.17

Л. И. ВИЛЬДАНОВА, О. Н. КРЯКУНОВА, К. М. МУКАШЕВ, В. В. ОСКОМОВ,  
Т. Х. САДЫКОВ, А. П. ЧУБЕНКО, Г. Т. ШОЙЫНБАЕВА, А. Л. ШЕПЕТОВ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРА КРАТНОСТЕЙ НЕЙТРОНОВ НА РАЗНЫХ ВЫСОТАХ В АТМОСФЕРЕ И ГРУНТЕ

*(Представлена академиком НАН РК Н. Ж. Такибаевым)*

Представлены экспериментальные данные, полученные на расположенных на различных высотах супермониторах, созданных совместными усилиями ученых России и Казахстана. Анализируются формы спектров кратностей нейтронов в целях получения энергетической зависимости пробега поглощения нейтронообразующей компоненты космических излучений в атмосфере и плотном грунте.

Одним из направлений исследований, проводимых в рамках совместного российско-казахстанского проекта «ATHLET», является изучение свойств адронной компоненты космических лучей с применением методики нейтронного монитора. В настоящее время основной целью этих экспериментов является получение данных о свойствах кривой поглощения первичных адронов в атмосфере и плотном веществе. С этой целью на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции и на экспериментальных площадках вокруг нее в последние годы созданы новые экспериментальные установки, на которых регистрация данных об адронной компоненте ведется по единой программе [1, 2].

Две такие установки располагаются на территории Тянь-Шаньской станции. Одна из них находится на поверхности горного перевала на высоте 3340 м над ур. м. Вторая установка размещена на этой же высоте под слоем грунта толщиной 20 м водного эквивалента (2000 г/см<sup>2</sup>). Третья установка находится на высоте 1400 м над ур. м., а четвертая – на высоте 850 м над ур. м.

Устройство стандартной секции наземного нейтронного супермонитора НМ64 показано на рис. 1. Монитор представляет собой трехслойную конструкцию, в которой нейтронные детекторы окружены чередующимися слоями свинцового поглотителя, в котором происходят ядерные реакции первичных адронов высокой энергии, приводящие к рождению вторичных нейтронов, и полиэтилена, служащего для замедления этих нейтронов до тепловых энергий. Регистрируемые установкой нейтроны генерируются космическими частицами высокой энергии в тя-

желом поглотителе из свинца. В качестве нейтронных детекторов в мониторе используются пропорциональные счетчики СНМ15, в газовое наполнение которых входит изотоп <sup>10</sup>B, способный под воздействием нейтронов вступать в реакцию с выделением заряженных частиц. Снаружи вся конструкция закрыта еще одним слоем полиэтилена, действующего в качестве поглотителя и отражателя фоновых нейтронов из внешней среды. Чувствительная площадь одной секции монитора составляет 6 м<sup>2</sup>. Тянь-шаньский нейтронный супермонитор включает в себя три такие секции, а супермониторы, находящиеся на других высотах, – по одной секции.

Устройство подземного нейтронного монитора представлено на рис. 2. Он также состоит из трех секций, в которых для регистрации нейтронов используются счетчики того же типа СНМ15. Каждый счетчик окружен слоем легкого вещества – замедлителя нейтронов. У одной части счетчиков в качестве такого замедлителя используются стандартные полиэтиленовые трубы с толщиной стенки 10 мм, у другой – деревянные короба толщиной 20 мм. Снаружи установка закрыта слоем углеродсодержащей резины, которая играет роль отражателя тепловых нейтронов.

Регистрация сигналов, поступающих от нейтронных детекторов, на всех установках ведется по единой методике. Формирователи сигналов, установленные на нейтронных счетчиках мониторов, вырабатывают прямоугольные выходные импульсы стандартной амплитуды длительностью 1 мкс. Интенсивности этих импульсов измеряются отдельно для каждого счетчика в течение большого ко-

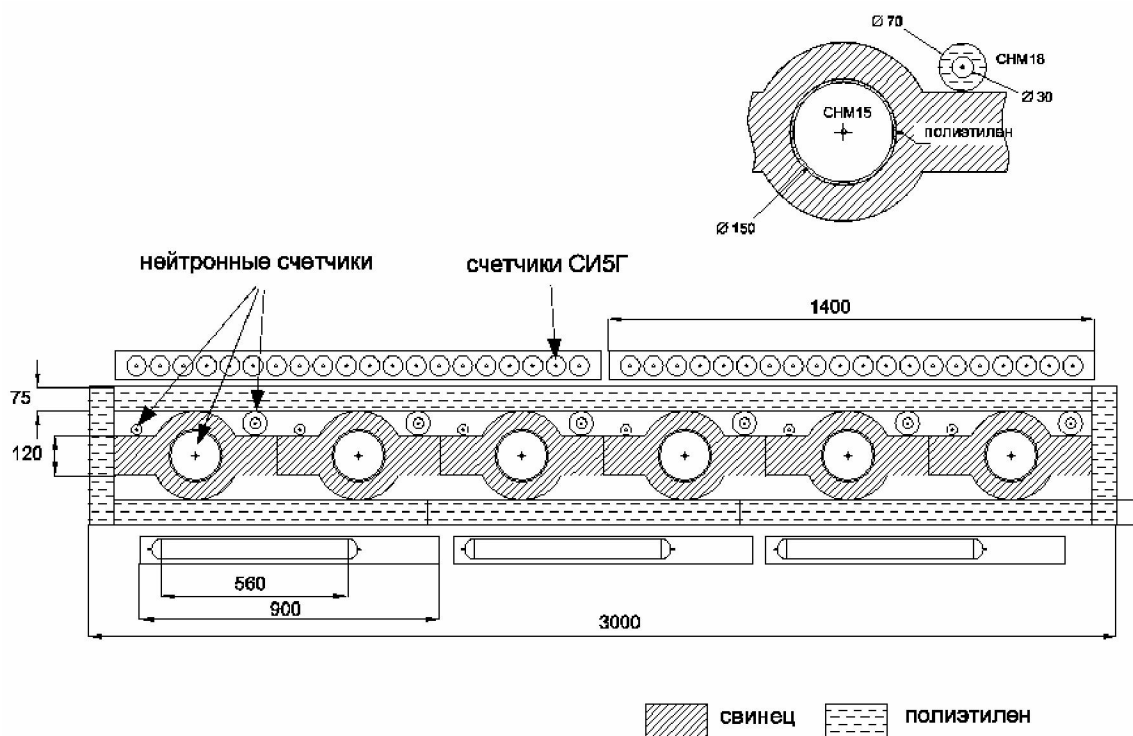


Рис. 1. Конструкция секции стандартного нейтронного супермонитора наземного базирования

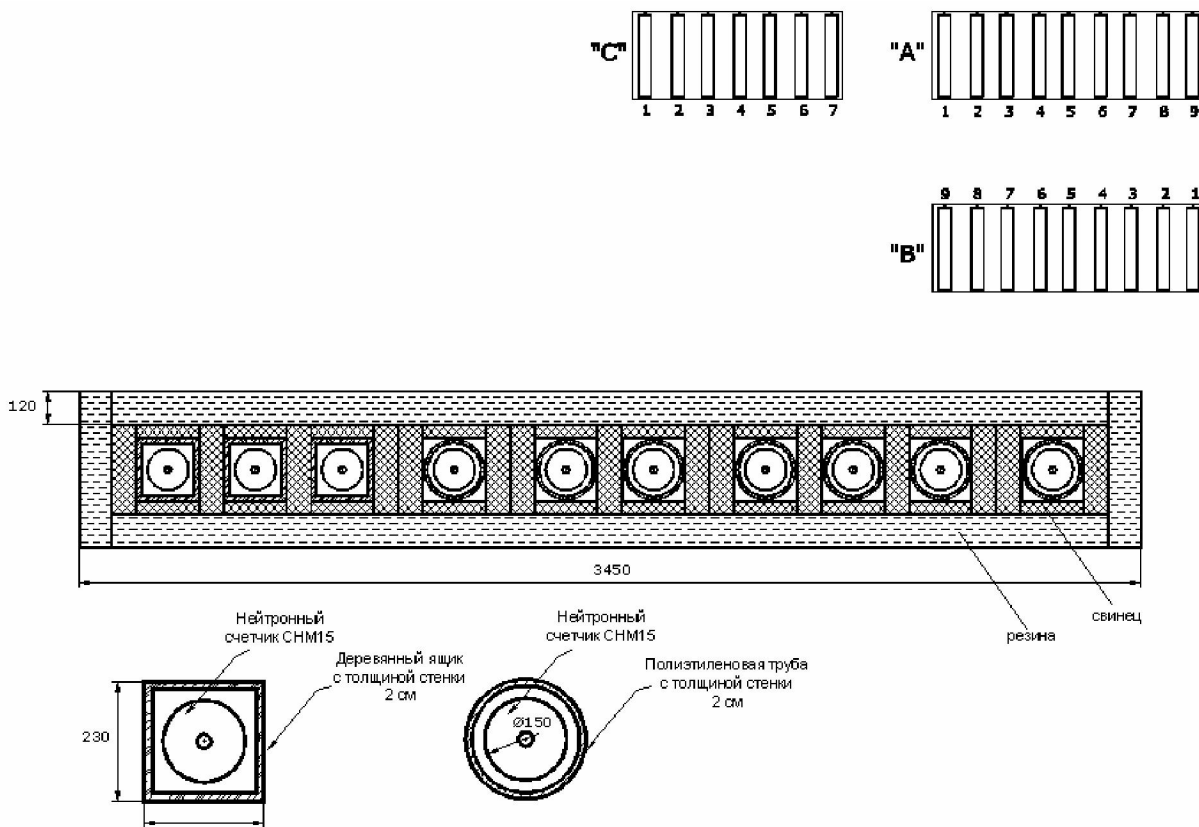


Рис. 2. Конструкция нейтронного супермонитора подземного базирования

личества (60–80) последовательных временных интервалов длительностью порядка 60–120 мкс. Суммарное время сбора сигналов на мониторах (временные ворота) составляет 4,0 мс. В качестве триггера, отмечающего начало нейтронного события внутри монитора, используется импульс совпадения сигналов от заданного количества любых нейтронных счетчиков. Варьируя пороговый уровень срабатывания схемы совпадения, можно исследовать нейтронные события в различных диапазонах значений кратности  $M$  (суммарного числа нейтронных импульсов). В частности, представленные далее интенсивности событий для кратности  $M=1$  получены при единичном пороге триггерной схемы, т.е. при запуске установки каждым нейтронным сигналом, поступившим от любого детектора.

Важнейшей характеристикой событий, регистрируемых в нейтронном мониторе, является его кратность  $M$ , т.е. суммарное число импульсов, поступивших в течение временных ворот после триггерного сигнала. Кратность нейтронов может быть непосредственно связана с энерговыделением адронной компоненты внутри монитора, т.е. в конечном итоге с энергией первичных адронов космического излучения. Исследование спектров кратности

нейтронных событий на разных уровнях наблюдения позволяет сделать важные заключения об особенностях частиц, вызывающих ядерные взаимодействия внутри монитора.

Дифференциальный спектр кратности нейтронных событий, промеренный с высокой точностью в течение ряда лет на тьянь-шаньском супермониторе НМ64, представлен на рис. 3. Как видно из этого рисунка, форма спектра весьма сложная. Она в первую очередь связана с высоким энергетическим порогом расщепления ядер, величина которого составляет десятки МэВ, и со сложным видом функции генерации вторичных нейтронов в этих расщеплениях.

Если отвлечься от области малых значений кратностей ( $M < 10$ ), где существенную роль играют пороговые эффекты, то спектр можно представить в виде комбинации степенных распределений с показателями наклона  $-3,6$  (в области  $M=10-50$ ) и  $-4,2$  (при  $M=50-200$ ). Вид спектра кратности в этой области можно достаточно точно согласовать с энергетическим спектром первичных адронов и известными по прямым экспериментам функциями генерации вторичных нейтронов. Для монитора НМ64 это согласование приводит к следующей зависимости

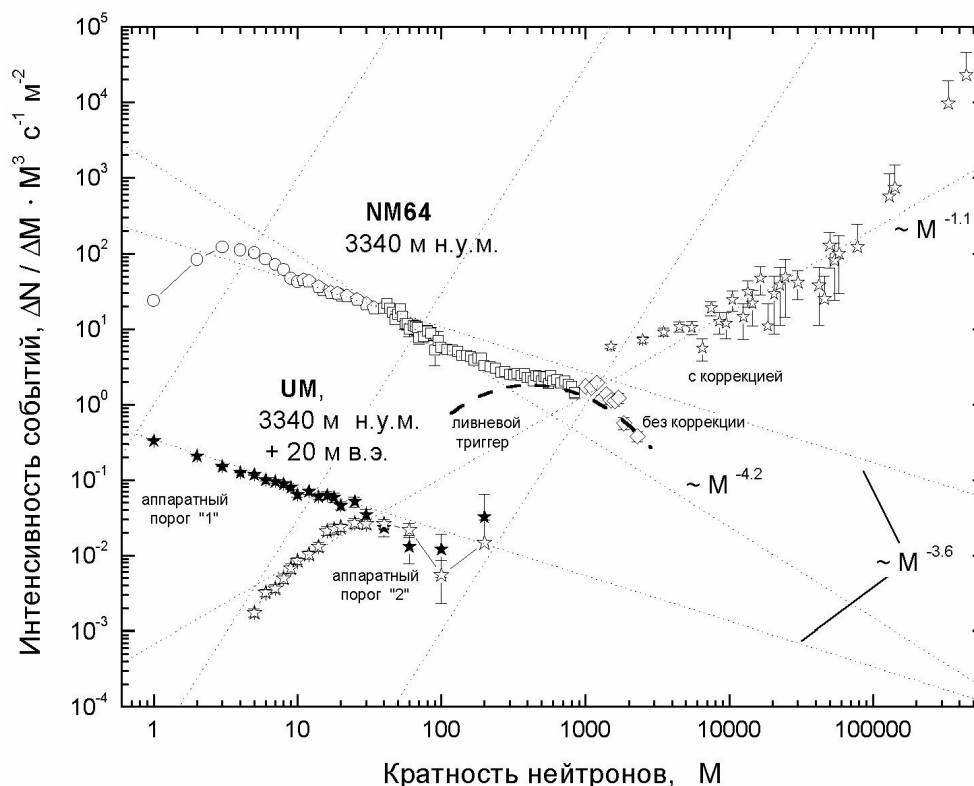


Рис. 3. Дифференциальный спектр кратностей нейтронов на высоте 3340 м над ур. м.

средней кратности нейтронов от энергии первичного адрона:  $M=1,75E_p^{0,5}$ , где энергия полагается измеренной в гигаэлектрон-вольтах.

Область больших значений кратности заслуживает особого внимания. В ряде сеансов нейтронный монитор НМ64 управлялся триггером от сцинтиляционной ливневой установки, вырабатываемым в момент прохождения фронта широких атмосферных ливней (ШАЛ). Как показали эти измерения, подавляющее большинство событий с кратностью нейтронов  $M>300-400$  регистрируется именно с ливневым триггером и соответствует близким прохождениям стволов ШАЛ. При работе с триггером, основанным на регистрации сигналов совпадения, интенсивность событий в этой области остается такой же (жирная штриховая линия на рис. 3). Это обстоятельство легко объяснимо: в случае ШАЛ нейтронные счетчики монитора срабатывают от ливневых электронов в момент прохождения через установку фронта ливня. Поскольку релятивистский фронт ШАЛ имеет малую толщину, сигналы в различных детекторах вырабатываются с незначительным временным разбросом, что обеспечивает их совпадение в пределах 1 мкс. Особенно интересными являются нейтронные события с сум-

марной кратностью  $M>1000$ , которые соответствуют прохождениям через монитор стволов ШАЛ с энергией выше 3 ПэВ, т.е. ливней, принадлежащих к области за изломом первичного спектра. Именно для этих событий характерен эффект аномально затянутых временных распределений, проявляющийся как резкое отклонение формы временного распределения интенсивности нейтронных импульсов от обычной экспоненциально спадающей диффузионной функции.

Неожиданной является форма спектра, регистрируемого монитором на высоте 850 м (рис. 4). Действительно, исходя из предположения о постоянном коэффициенте поглощения первичных адронов в атмосфере, можно было бы ожидать, что этот спектр пойдет параллельно спектру тянь-шаньского супермонитора, отличаясь от него только абсолютной интенсивностью. Вместо этого наблюдается гораздо более крутой ход спектра КазНУ, представимый степенной функцией с показателем  $-5.1$ . Поскольку конструкции обеих установок идентичны, то такое различие в спектрах может быть связано только с дополнительным поглощением нейтронообразующей компоненты в атмосфере. (Так, для кратностей  $M>10$  пробег для

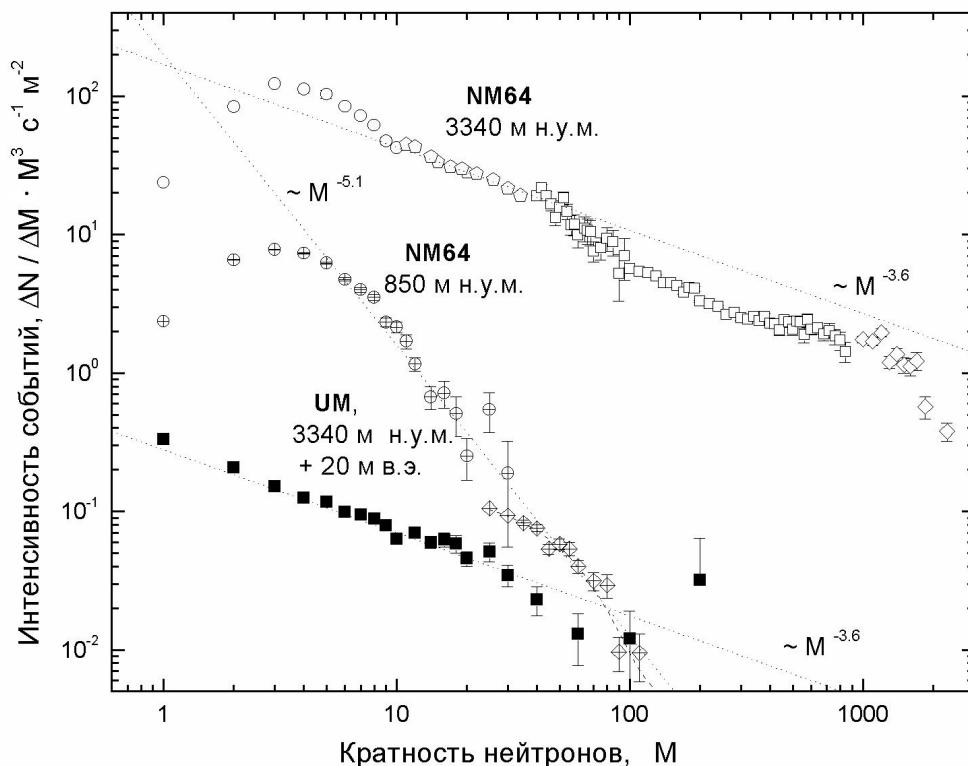


Рис. 4. Сравнительные дифференциальные спектры кратностей нейтронов, регистрируемых разновысотными мониторами

поглощения составляет 70 г/см<sup>2</sup>, а для  $M > 80$  – 43 г/см<sup>2</sup>.)

Параллельность спектров в обоих мониторах Тянь-шаньской станции наблюдается несмотря на то, что толщина грунта, находящегося над подземным монитором, эквивалентна тройному количеству в атмосфере. Возможное объяснение сочетания параллельности спектров в надземном и подземном мониторах на высоте 3340 м с резким падением спектра на высоте 850 м заключается в том, что существенную долю компоненты, ответственной за генерацию событий высокой кратности, вероятно, определяют некоторые иные распадающиеся частицы. Данное утверждение примечательно тем, что именно в области больших кратностей в нейтронных мониторах начинают наблюдаться различные аномалии, связанные с эффектом затянутых нейтронных событий.

*Данная работа поддержана грантом РФФИ № 05-02-16655а.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Щенетов А.Л., Оскомов В.В., Садуев Н.О.* и др. // Труды международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». Ташкент, 2004. С. 69-72.
2. *Antonova V.P., Chubenko A.P., Kryukov S.V.* et al. // J.Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2002. V. 28. P. 251.

## Резюме

Ресей және Қазақстан ғалымдарының интеллектуалдық бірлесуінің жемісті нәтижесі болып табылатын, әртүрлі биіктікте құрылған супермониторлардың көмегімен өндірілген құнды эксперименталдық мағлұматтар келтірілген. Космостық сәулелердің атмосфера мен жердің тығыз қыртысында нейтрон туғызушы құрама бөліктерінің жүру жолының энергетикалық тәуелділігі ретінде нейтрондардың еселік спектрлерінің түр сипаты талданады.

## Summary

Here given experimental data obtained in supermonitor disposed on various height and creating by jointly scientists effort of Russia and Kazakhstan. Given analyzing shape spectrum of neutron's density with aim to get energy dependents of track absorption forming components cosmic rays at atmosphere and in density ground.

*Поступила 2.06.06г.*