

ЗАДЕРЖАННЫЕ ЧАСТИЦЫ В ШАЛ

Г.К.Гарипов.

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ), Ленинские Горы, 1, Москва, 119992, Россия.

Исследования запаздывающих частиц в составе ШАЛ на установке ШАЛ МГУ показало, что примерно в 2,5% ливней с числом частиц более 10^5 на расстояниях от оси менее 100 метров наблюдались сигналы запаздывающие на время более 100нсек. от одиночных задержанных частиц, относительно фронта ливня. Частота регистрации задержанных частиц существенно превышает, полученную в расчетах по модели КГС, а спектр амплитуд ионизационных потерь в сцинтилляционном пластике более пологий, чем спектр от одиночных релятивистских мюонов.

В работе обсуждается аппаратура для регистрации задержанных частиц. Анализируются вероятность регистрации, амплитудные и временные распределения задержанных частиц в ШАЛ. Приводятся данные, указывающие на дрейф частоты регистрации задержанных частиц на протяжении 5 лет наблюдения, объяснение которого аппаратными эффектами сталкивается с существенными трудностями.

1. Современное состояние.

В настоящей работе обсуждаются результаты измерений, сделанных на установке ШАЛ МГУ [1] в 1985-1990 годах с целью изучения задержанных частиц. Задержанные частицы или продукты их взаимодействия с атмосферой достигают поверхности Земли с задержкой относительно фронта частиц широких атмосферных ливней.

По поводу таких частиц высказываются самые противоречивые суждения.

Авторы работы [2] исследовали временную структуру широких атмосферных ливней, изучая профиль сигнала сцинтилляционного детектора. В некоторых ливнях наблюдались сигналы от задержанных частиц, время задержки которых превышало ожидаемые запаздывания частиц в диске ливня. Было высказано предположение, что при взаимодействии космических лучей с воздухом рождаются гипотетические тяжелые частицы. Эти частицы движутся медленнее из-за большой массы и достигают поверхности земли с задержкой относительно более легких частиц, образующих ливневой диск.

Но есть и другие мнения. Авторы работы [3], изучая задержанные сигналы в слоях адронного калориметра пришли к тривиальному выводу, что это известные ядерно-активные частицы с энергией порядка массы покоя, которые также отстают от фронта ливня и рожают парциальные ливни.

Казалось бы, что не трудно провести выбор между столь расходящимися точками зрения, но приведенные примеры показывают, что среди специалистов можно найти приверженцев различных точек зрения.

Подтверждением сказанному является и противоречивость выводов полученных на установке ШАЛ МГУ. Например, в работе [4] указывается, что вероятность регистрации задержанных частиц можно объяснить тривиальными флуктуациям рождения частиц выше уровня наблюдения, хотя несколько ранее в работе [5] из тех же экспериментальных данных сделан противоположный вывод, что для объяснения требуются экзотические гипотезы рождения задержанных частиц.

В настоящей работе к данным, опубликованным в работах [4] и [5] добавлены данные в поддержку работы [5], полученные с помощью детектора экранированного слоем свинца, приводятся данные о дрейфе частоты регистрации, анализируется спектр амплитуд и ионизационная способность задержанных частиц по отношению к релятивистским частицам.

2. Метод и проблемы поиска тяжелых частиц в ШАЛ.

Время запаздывания τ тяжелых частиц относительно фронта ливня определяется лоренц фактором γ , пройденным расстоянием h , км и скоростью света в вакууме c , м/сек:

$$\tau = h / 2\gamma^2 c = 1667h / \gamma^2 \text{ с, нсек.}, \quad (1)$$

Несмотря на простоту рассуждений, на практике из-за фона трудно выделить тяжелые частицы, поскольку их сигналы в детекторе не отличаются от сигналов ливневых частиц ни по времени задержки, ни по амплитуде.

Например, адроны при энергии 3-5 ГэВ и длине пробега около 2 км. задерживаются относительно фронта ливня на 150-350 нсек. Их сигналы в пластике не отличаются от релятивистских частиц, а при их ядерном взаимодействии в воздухе возможна имитация задержанного ливневого диска, вызванного тяжелой частицей.

3. Осциллографическая установка для изучения задержанных частиц.

Регистрация задержанных частиц проводилась с помощью двух двухлучевых запоминающих осциллографов типа С8-14. Установка состояла из четырех незранированных детекторов площадью 1 м^2 каждый и двух дополнительных детекторов площадью по 0.5 м^2 , экранированных слоем свинца толщиной 2.5 см.. Сигналы с незранированных детекторов суммировались в электронном сумматоре и подавались на вход первого осциллографа, сигналы с дополнительных детекторов подавались на входы второго осциллографа. Импульсы фотографировались с экрана электроннолучевой трубки при совпадении сигналов четырех незранированных детекторов и сигнала срабатывания установки ШАЛ МГУ. Одновременно с экрана цифрового дисплея фотографировались дата, время и номер ливня. Длительность развертки осциллографа была выбрана 500нсек. Время запаздывания измерялось относительно фронта ливня с точностью 10нсек. В детекторах применялся сцинтилляционный пластик толщиной 5см. площадью $0,5\text{ м}^2$, и каждый просматривался с помощью двух ФЭУ типа ФЭУ-110. Детекторы располагались в центре установки ШАЛ МГУ. Пространственное разрешение определялось расположением детекторов, минимальное расстояние между которыми составляло 5 сантиметров. Стабильность работы установки контролировалась по скорости счета четырехкратных совпадений и суммарной скорости счета сигналов незранированных детекторов по фону от космических лучей.

В серии вспомогательных экспериментов сигналы с каждого детектора регистрировались параллельно. В большинстве случаев задержанный сигнал регистрировался в одном детекторе из четырех, это позволило определить, что регистрируются одиночные задержанные частицы. В другой серии сигналы с одного пластика регистрировались с помощью двух ФЭУ. Во всех случаях сигналы от задержанных частиц наблюдались в двух ФЭУ с равной задержкой, а ложные послеимпульсы отсутствовали.

4. Результаты, полученные на осциллографической установке.

С помощью осциллографической установки измерялся амплитудный и временной спектр задержанных сигналов. Из данных установки ШАЛ МГУ определялось число частиц, расстояние до оси и направление прихода ливня, проводилась амплитудная калибровка сцинтилляционных детекторов. По фотопленке было отобрано около 1500 ШАЛ с расстоянием до оси менее 200 метров с частицами, задержанными на время более 100нсек.

4.1. Спектр амплитуд.

Измеренные амплитудные спектры представлены на рис.1а. Средний сигнал от задержанных частиц в $1,7 \pm 0,1$ раза превышает средний сигнал от одной релятивистской частицы. Наклон спектра от задержанных частиц после максимума распределения характеризуется показателем $3,1 \pm 0,2$, а для одиночной компоненты космических лучей в атмосфере этот показатель равен $4,5 \pm 0,1$. Для сравнения на рисунке приведен спектр амплитуд, измеренный в аналогичном детекторе в подземном помещении на глубине 40МВЭ. Этот спектр в области амплитуд соответствующих двум релятивистским частицам, испытывает излом, так что показатель спектра 4.5 изменяется на 2.6, что объясняется сигналами от микроливней вызванных мюонами. Излом в спектре соответствует двум релятивистским частицам, поскольку вероятность попадания трех частиц в области после излома пренебрежимо мала. Из этого следует, что ионизационная способность задержанных частиц больше одной, но меньше двух релятивистских частиц. Спектры амплитуд и временные распределения в пределах ошибок не изменялись в течении всего времени наблюдения. Стабильность амплитуды сигнала дополнительно контролировалась по данным. годоскопической установки ШАЛ МГУ, состоящей из счетчиков Гейгера-Мюллера.

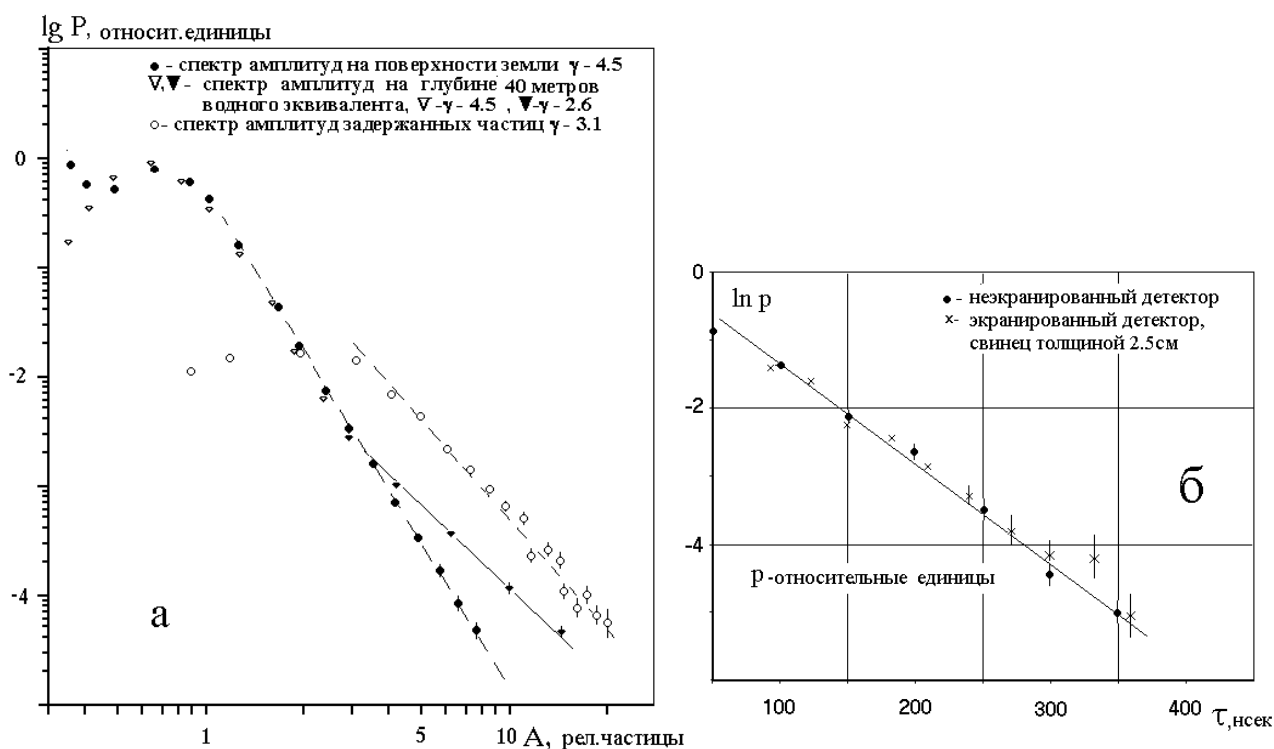


Рис.1. Спектр амплитуд задержанных частиц и одиночных мюонов (а), распределение времени запаздывания задержанных частиц (б).

4.2. Распределение времен запаздывания.

На рис.1б показаны, временные распределения задержанных частиц в незранированном детекторе, и в детекторе, экранированного слоем свинца толщиной 2.5 сантиметра. Очевидно, что распределения в пределах ошибок измерения подчиняются экспоненциальному закону с показателем 125 ± 10 нсек. а задержанные частицы без видимых потерь проникают через свинцовый фильтр.

4.3. Дрейф частоты регистрации задержанных частиц.

На рис.2а показан дрейф вероятности регистрации задержанных частиц. В каждой точке накапливалось не менее 300 событий в течении трех месяцев, что обеспечивает хорошую статистическую точность, но реальные ошибки могут быть больше по другим причинам. Видно, что частота регистрации задержанных частиц за 40 месяцев наблюдения уменьшилась более чем в 7 раз, и описывается степенным законом. Соответствующее распределение интервалов по числу ливней между соседними событиями приведено на рис. 2б. В каждое распределение вошло не менее 300 событий. Распределения описываются экспоненциальным законом с показателем $\lambda=36$ в 1988году и $\lambda=75$ в 1990году

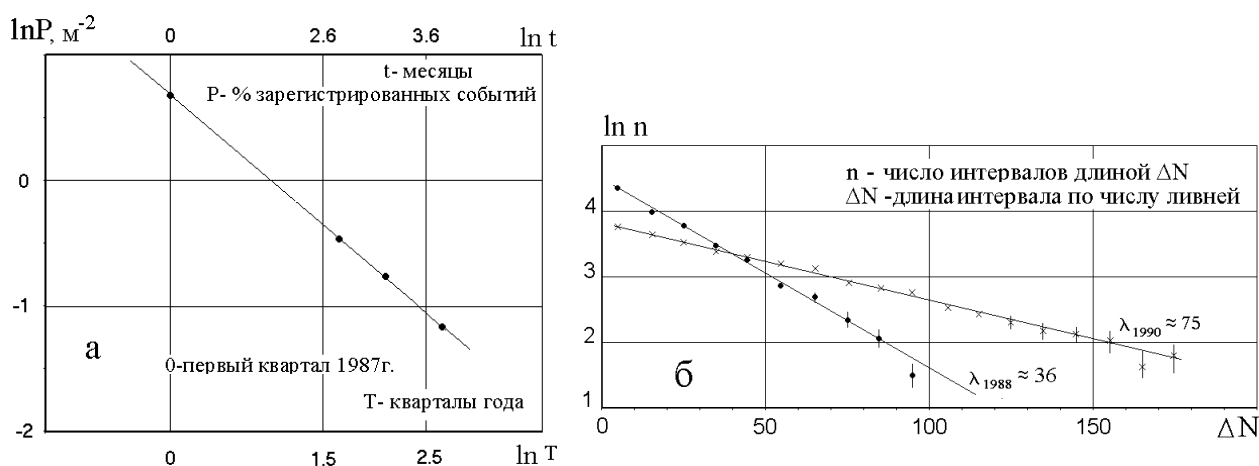


Рис.2. Дрейф вероятности регистрации задержанных частиц от времени (а), распределение интервалов между задержанными частицами по числу ливней в 1988 и 1990году (б).

Приведенные распределения трудно объяснить нестабильностью порога установки, что противоречит стабильной скорости счета детектора, а также стабильной частоте запусков установки от ШАЛ. Распределение, приведенное на рис 2а, слабо зависит от дрейфа амплитуд задержанных частиц и просчетов событий на этапе обработки. Вероятность регистрации задержанных частиц не зависит от плотности частиц попавших в детектор, а зависит от полного числа частиц в ливне, что косвенно указывает на отсутствие симуляции явления детектором.

В настоящее время изучение других возможных аппаратных и внешних причин дрейфа частоты регистрации задержанных частиц продолжается.

Список литературы:

1. Vernov S.N., Khristiansen G.B., et al.// Proc 16th ICRC, Kyoto, 1979, V.8, P. 129.
2. Yoshida M., Toyoda Y., Maeda T.//J.Phys.Soc. Japan, V.53, #6,1984, P.1983.
3. Tonwar S.C.and Srikantan V.B.// J. Phys. A: 1971, Vol. 4.
Mincer A., Freudenreich H., Goodman J.A., Tonwar S.C., and Yodh G.B. // Physical Review D, V.32, # 3, 1985.
4. Atrashkevich. V.B., Garipov G.K., Kalmykov N.N., et al. //Proc. 22th ICRC, Dublin, 1991, V.4, P.319.
5. Khristiansen G.B., et al. // Proc. 21th ICRC, Adelaida, 1990, V.9, P.150.