

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Д. В. СКОБЕЛЬЦЫНА



ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ ПО ФИЗИКЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Сборник статей



УНИВЕРСИТЕТ
КНИЖНЫЙ ДОМ

Москва
2009

Выводы

1. Прибор ATIC измеряет не спектр протонов, а спектр частиц с зарядом $Z = 1$.

2. Измеряемый спектр частиц с $Z = 1$ состоит из суммы двух спектров: спектра протонов ГКЛ и спектра «присчетных» частиц.

3. «Присчетные» частицы создаются в самом приборе частицами ГКЛ, идущими вне угловой апертуры прибора (они регистрируются как частицы с $Z = 1$), из-за значительных ошибок восстановления траекторий первичных частиц и регистрации обратного тока детекторами заряда (кремниевой матрицей).

4. «Присчетные» частицы сильно искажают спектр протонов. Если из спектра частиц с $Z = 1$ вычесть вклад «присчетных» частиц, то остающийся спектр протонов имеет «колено» при $E \approx 1,5 \div 2$ ТэВ. До «колена» $\beta_p \approx 2,6$. После «колена» $\beta_p \approx 3,0 \times 3,2$. Этот спектр с «коленом» хорошо согласуется со спектром протонов, получаемым из глобального спектра всех частиц, измеренного прибором.

5. Применение кремниевой матрицы в качестве детектора заряда экспериментально доказало, что уменьшение размеров датчиков без соответствующего уменьшения ошибки σ не защищает прибор от влияния обратного тока.

Литература

1. Стожков Ю. И., Григоров Н. Л. // Краткие сообщения по физике. ФИАН. 2004.
2. Ahn H. S. et al. // Proc. 28th ICRC. 2003. P. 1853.
3. Ahn H. S. et al. // Proc. 28th ICRC. 2003. P. 1833.
4. Зацепин В. И. и др. // Труды 28-й конференции по космическим лучам. М, 2004. DKL 1102.
5. Григоров В. И., Каходзе Г. П., Толстая Е. Д. Обобщенная картина влияния обратного тока на измеряемый спектр протонов космических лучей // ПТЭ. 2005. № 1. С. 1–4.
6. Zatsepin V. et al. // Proc. 28th ICRC. 2003. P. 1861.

Н. Л. Григоров

ПИСЬМО К УЧАСТНИКАМ ATIC-КОЛЛАБОРАЦИИ¹

Уважаемые доктор E.S. Seo и доктор H.S. Ahn!

Пишет Вам профессор Григоров (Москва, МГУ), читатель Ваших работ, посвященных измерению спектра протонов прибором ATIC. К сожалению, я лично не знаком с Вами. Я представляю Вас достаточно молодыми, энергичными людьми, которые в своих работах главным приоритетом считают поиск истины. Из такого представления о Вас я и буду исходить в своем письме.

Нет необходимости говорить, какое значение для теории происхождения ГКЛ имело бы твердое установление факта тождества или различия спектров протонов и ядер. Поэтому 35 лет я ищу ответ на этот вопрос. Итог этих поисков представлен на настоящей конференции (Stozhkov, Grigorov, Tolstaya "Some results of GCR Proton Spectrum Index Measurements in the 1×40 TeV Energy Range"). Он таков: из 16 экспериментов в области $E > 1$ ТэВ, выполненных разными авторами и разными методами, только в двух работах спектральный индекс спектра протонов $\beta_p < 3,0$ (JACEE и RUN-JOB); в остальных $\beta_p > 3,0$.

Среднее значение по всем 16 работам $\langle \beta_p \rangle = 3,1 \pm 0,05$. Из всех этих данных неизбежен вывод: спектр протонов должен иметь «колено» при $E << 10$ ТэВ. А Ваши результаты прямых измерений в интервале $0,1 < E < 10$ ТэВ $\beta_p = 2,6 \times 2,7$, и нет признаков «колена». Возникает проблема: либо ошибочны многие из 16 экспериментов (что маловероятно), либо ошибка в одном эксперименте (что значительно вероятнее). Я остановился на втором предположении и стал искать причину возможной ошибки. Итог этих поисков направлен на настоящую конференцию (Stozhkov, Grigorov, Tolstaya "Some features of GCR Measurement Result with the ATIC Instrument"). Текст доклада я прилагаю к письму.

Для поиска возможной ошибки результаты измерений надо бы подвергнуть ряду тестов. Их цель — выяснить существование имитаций протонов и их вклад в спектр протонов при разных E . Предварительно проясним центральный вопрос, который в публикациях не анализируется: как в приборе ATIC выделяются протоны? Как я понимаю, последовательность Ваших действий можно представлять себе так (правильность такого понимания подтвердил В. Зацепин).

1. Определяется выделенная в калориметре энергия E_d .
2. По распределению ионизации в рядах BGO определяется траектория первичной частицы.
3. Если траектория лежит в пределах апертуры прибора, определяются координаты X_{pr} и Y_{pr} ее пересечения с плоскостью кремниевой матрицы. Эти координаты принимаются за координаты первичной частицы.

¹ Письмо в частном порядке передано адресатам на 29-й международной конференции, в надежде, что оно получит хождение среди участников ATIC-коллаборации.

4. Вокруг X_{pr} , Y_{pr} проводится квадрат со стороной $6\sigma_x$ ($6\sigma_y$) и площадью $S = (6\sigma_x)^2 \geq 440$ см². На площади S у всех сработавших датчиков кремниевой матрицы измеряются амплитуды и определяются соответствующие им значения Z . Если хотя бы у одного датчика $Z \geq 1,6$, то событие относится к категории первичного ядра и адресуется в соответствующий «ящик».

5. После удаления всех ядер с $Z \geq 2$ из всего первоначального потока остаток называют протонами.

Таким образом, вплоть до п. 4 авторы имеют дело с потоком всех частиц. В п.п. 2 ч. 3 осуществляется процесс формирования потока всех частиц, удовлетворяющего наложенным ограничениям (критериям отбора). В этом процессе происходит неизбежное искажение потока всех частиц I_{all} , падающих на прибор. Эти искажения вызываются конечной точностью определения тех параметров, которые ограничены критериями отбора. Границы, разделяющие дозволенные и недозволенные значения параметров, размыты ошибками измерения величин этих параметров.

В результате появляются два процесса. В одном частицы, удовлетворяющие всем требованиям, из-за ошибки в измерении какого-либо ограничивающего параметра могут оказаться за пределами допустимых критериев. Они будут исключены из статистики. Обозначим их интенсивность ΔI_1 .

Второй процесс — включение в статистику частиц с параметром за пределами разрешенного значения. Если из-за ошибок этот параметр окажется в разрешенном интервале, то такая частица будет включена в статистику. Допустим, их интенсивность ΔI_2 .

Поэтому наблюдаемая интенсивность всех частиц I_{all}^* , удовлетворяющих всем критериям отбора, будет равна:

$$I_{all}^* = I_{all} - \Delta I_1 + \Delta I_2.$$

Как правило, $\Delta I_1 \neq \Delta I_2$; следовательно, $I_{all}^* \neq I_{all}$ (публикации ATIC-коллаборации подтверждают это заключение), и соответственно

$$I_{all}^* - I_{z \geq 2} \neq I_{all} - I_{z \geq 2} = I_p.$$

Из изложенной последовательности действий следуют два важных вывода.

1. Выделение протонов основано на методе вычитания из потока всех частиц ядер с $z \geq 2$.

2. Поток всех частиц, ограниченный разными критериями отбора, не тождествен потоку всех частиц I_{all} , падающих на прибор.

Из первого вывода следует, что ATIC-коллаборация признает разностный метод ($I_{all} - I_{z \geq 2}$) единственным инструментом для получения $I_p(E)$. Из второго вывода — что публикуемый ATIC-коллаборацией спектр протонов не является истинным и нуждается в «очистке» от неизбежных примесей. Эта операция предполагает ряд тестов. Некоторых я коснусь ниже.

По-видимому, важно знать, как выглядит спектр протонов из разности $I_{all} - I_{z \geq 2}$. Так как в глобальном потоке всех частиц I_{all} без критериев отбора $\Delta I_1 = 0$ и $\Delta I_2 = 0$, то разность $I_{all} - I_{z \geq 2} = I_p$, т. е. дает спектр протонов, наиболее близкий к истинному.

Как же выглядит I_{all} по измерениям прибором ATIC? Ответ на этот вопрос дадут тесты 1 и 2.

Тест 1. Если внимательно всмотреться в спектр глобального потока всех частиц, измеренный во втором полете (Ahn и др., 28 ICRC), то можно обнаружить аномалию в этом спектре. Ее характерные особенности выявляются, если спектр представить в виде $E^{2,6} I_{all}$. Эта функция будет выглядеть как «ступенька». Так как $I_{all} - I_{z \geq 2} = I_p$, то $E^{2,6} I_{all} - E^{2,6} I_{z \geq 2} = E^{2,6} I_p$. Но $E^{2,6} I_{z \geq 2} = \text{const} = C$ ($C \approx 0,55$ от $E^{2,6} I_{all}$ в области плато, т. е. при $E \leq 1$ ТэВ). Следовательно, методически чистый спектр протонов

$$E^{2,6} I_p = E^{2,6} I_{all} - C.$$

В ионизационном калориметре размером $20 \times 50 \times 50$ см³ глобальный поток первичных частиц будет создавать лавины разной протяженности. Это может вызывать сомнения в том, что спектр энерговыделений тождествен спектру космических лучей. Поэтому полезно было бы провести тест 2.

Тест 2. Спектр ливней по числу частиц n в них давно апробирован как средство изучения спектров адронов, мюонов и первичных космических лучей при $E > 10^{15}$ эВ. В этом методе измеряется число ливней N с числом частиц n под толстым поглотителем в $20 \div 30$ каскадных единиц. Поглотители самые разные, от свинца до воздуха (EAS).

В эксперименте ATIC такой спектр dN/dn легко получить. Для этого достаточно в зарегистрированном спектре всех частиц рассматривать ряды 1×7 BGO как пассивный поглотитель и регистрировать выделение энергии ϵ только в нижнем, восьмом ряду калориметра. Так как $\epsilon = kn$, то $dN/d\epsilon = (1/k)dN/dn$. Если $n^{2,6} dN/dn$ будет выглядеть как «ступенька», то это будет прямым доказательством того, что спектр протонов имеет «колено» (см. тест 1). Скорее всего, тест 2 подтвердит тест 1, из которого (по Вашим опубликованным данным) следует «колено» в спектре протонов. Почему же его нет при прямых измерениях?

На этот вопрос может дать ответ тест 3.

Тест 3. Если в спектре протонов есть имитации протонов, искажающие вид спектра, то число таких имитаций $N_{im} \sim S = (6\sigma_x)^2$. Поэтому при уменьшении S до $(2\sigma_x)^2$, т. е. в 9 раз, уменьшится и число имитаций в 9 раз. При этом число истинных протонов уменьшится на $\sim 1/3$. Поэтому относительная доля имитаций будет в 6 раз меньше, чем при $S = (6\sigma_x)^2$. Если спектры протонов при $S = (2\sigma_x)^2$ и при $S = (6\sigma_x)^2$ будут разными, то это будет доказывать значительное воздействие имитаций на спектр протонов.

Тест 4. Долю имитаций в спектре протонов при энергии E можно определить следующим образом. У истинных протонов расстояние l от координат x_{pr}, y_{pr} первичной частицы до детектора, через который она прошла, распределено по нормальному закону с $\sigma_r = \sqrt{2}\sigma_x \approx 5$ см (при $\sigma_x = 3,5$ см). Поэтому $\langle l_p \rangle \approx 0,8\sigma_r = 4$ см. В имитациях протонов заряд z определяется по амплитуде в датчике кремниевой матрицы, который сработал от обратного тока или от шумов. Такие датчики расположены равновероятно в любом месте на площади поиска S . Поэтому среднее расстояние до них от предполагаемого места первичной частицы $\langle l_{im} \rangle = 2\sqrt{2}\sigma_x \approx 10$ см (если круг радиусом $r = 3\sigma_r = 3\sqrt{2}\sigma_x$). Среднее значение расстояния от S — круг радиусом $r = 3\sigma_r = 3\sqrt{2}\sigma_x$.

первой частицы до всех датчиков $\langle l \rangle$ определяется вкладом $\langle l_p \rangle$ и $\langle l_{\text{им}} \rangle$, поэтому из экспериментального значения $\langle l \rangle$ легко определяется доля имитаций.

Закончить письмо я хочу уверениями, что мною движет только большой интерес к вопросу: что же измерил прибор ATIC в качестве спектра протонов? Я старый человек с немалым опытом изучения космических лучей и был бы рад им поделиться. Если у Вас появится желание мне разъяснить или обсудить затронутые вопросы, то воспользуйтесь электронной почтой (katya@srd.sinp.msu.ru).

С уважением,

Н. Л. Григоров

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ НАУМА ЛЕОНИДОВИЧА ГРИГОРОВА

№ п/п	Наименование труда	Название издательства или журнала, №, год	Соавторы
1	Работа с камерой Вильсона в 1935 г.	Труды Эльбрусской Экспедиции 1934 и 1935 гг.	В. Антонов, Е. А. Романовский, Н. Добротин, И. Франк
2	Переходный эффект космических лучей в стратосфере	ДАН СССР, 61, 629, 1948	С. И. Бриккер, С. Н. Вернов, И. И. Евреинова, Т. Н. Чарахчян
3	Изучение переходного эффекта космических лучей в стратосфере при помощи ионизационной камеры	ДАН СССР, 57, 137, 1947	С. Н. Вернов, Ф. Д. Савин
4	Измерение толчков, созданных космическими лучами в стратосфере с помощью ионизационной камеры	ДАН СССР, 61, 815, 1948	С. Н. Вернов, Ф. Д. Савин
5	Исследование космических лучей в стратосфере	Вестник МГУ, № 11, 71, 1949	С. Н. Вернов, А. Н. Чарахчян
6	Измерение азимутальной асимметрии космических лучей в районе экватора	ДАН СССР, 68, 253, 1949	С. Н. Вернов, Н. А. Добротин, С. П. Соколов, А. И. Куракин
7	Исследование космических лучей в стратосфере	Изв. АН СССР, Сер. физ., 14, 51, 1950	С. Н. Вернов, А. Н. Чарахчян
8	Состав жесткой компоненты космических лучей в стратосфере	ДАН СССР, 76, 581, 1951	
9	Спектр ионизаций частиц мягкой и жесткой компонент космического излучения	ДАН СССР, 77, 593, (1951)	Н. А. Добротин, Я. И. Граевская, С. И. Никольский, И. Д. Рапопорт
10	Об ионизации в стратосфере, вызываемой различными компонентами космических лучей	ДАН СССР, 81, 379, (1951)	И. М. Евреинова, С. П. Соколов
11	К вопросу о генерации электронно-фотонной компоненты первичными космическими частицами разных энергий	ДАН СССР, 86, 1089, (1952)	С. И. Бриккер, И. В. Рыбин, Ф. Д. Савин
12	Спектр ионизаций частиц космического излучения в стратосфере	ДАН СССР, 91, (1953)	И. Д. Рапопорт, Г. П. Шипуло
13	Природа и вариации первичного космического излучения	Труды III совещания по вопросам космологии (1953)	С. Н. Вернов, Е. С. Глокова
14	Взаимодействие первичных космических частиц разных энергий с веществом.	Изв. АН СССР, Сер. физ., 17, 21, (1953)	В. С. Мурzin
15	О механизме столкновения нуклонов высокой энергии с легкими ядрами	ДАН СССР, 94, 835, (1954)	