

8. Колесников Н. Н., Вымятнин В. М. // Изв. вузов, Физика. 1977. № 6. С. 115.
9. Колесников Н. Н., Бадаев О. П., Вымятнин В. М. Энергия связи нуклонов в среднетяжелых ядрах. Деп. ВИНТИ, № 2627-Деп. М., 1980.
10. Колесников Н. Н., Бадаев О. П., Старосотников М. И. Энергия связи нуклонов в ядрах области $22 < Z < 64$. Деп. ВИНТИ № 2627-Деп. М., 1981.
11. Колесников Н. Н., Бадаев О. П. Изомультиплетные уровни, энергии отрыва нуклонов и бета-распада легких ядер. Деп. ВИНТИ № 6180—83-Деп. Томск, 1983.
12. Колесников Н. Н., Бадаев О. П., Вымятнин В. М. // Излучение возбужденных состояний ядер. Алма-Ата, 1986. С. 255.
13. Библиотека программ для изучения структуры веществ дифракционными методами / Под ред. Б. М. Щедрина, Н. П. Жидкова. М., 1987.

Поступила в редакцию
27.03.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 3

УДК 523.165

ЕЩЕ РАЗ К ВОПРОСУ О ВИДЕ СПЕКТРА ПРОТОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

Д. М. Подорожный, Г. А. Самсонов, Л. А. Хейн, И. В. Яшин
(НИИЯФ)

Дана трактовка причин разногласий в результатах обработки разными авторами данных об энергетическом спектре протонов первых космических лучей, полученных в эксперименте «Сокол-2».

Данные эксперимента «Сокол-2» по спектру протонов высокой энергии являются предметом дискуссии в течение ряда лет. Настоящая публикация рассчитана на читателей, следивших за ходом дискуссии и знакомых с основными статьями по тематике «Сокол». Работа Н. Л. Григорова [1] посвящена выяснению причин расхождений в работах [2, 3] и [4, 5], опубликованных в 1988—1990 гг. Здесь представлен анализ причин этих расхождений, выполненный четверью авторами на основе материала, подготовленного всем авторским коллективом [4, 5].

По заключению [1] причина расхождения — отбор протонных событий в области энергии выше 10 ТэВ. В табл. 1 приведено сравнение соответствующих выборок при следующих критериях отбора:

- 1) заряд частицы, измеренный детектором ДЗ-1: $0.7 < Z_1 < 1.5$;
- 2) заряд частицы, измеренный детектором ДЗ-2: $Z_2 < 4$;
- 3) взаимодействие происходит не ниже 3-го ряда ионизационного калориметра (ИК).

Таблица 1

Е, ТэВ	13—20	20—32	32—50	50—79
N (И. П. Иваненко и др.)	11	3	2	1
N (Н. Л. Григоров)	9	3	1	0

Данные И. П. Иваненко и др. базируются на первичном материале, опубликованном в [6] с уточнениями, опубликованными в [7]. Данные Н. Л. Григорова — только на [6].

Заметим, что способ разбиения энергетической шкалы на логарифмически эквидистантные интервалы взят из [4]. В соответствующей таблице в [4], равно как и в вышеприведенной, границы интервалов указаны двумя значащими цифрами. Поэтому формальная группировка событий по этим числам способна привести к дополнительным расхождениям в спектре. С более высокой точностью использованные интервалы выглядят следующим образом: 12,6—20,0; 20,0—31,6; 31,6—50,1; 50,1—79,4 ТэВ.

В табл. 2 приведены все использованные в [4] события с энергией более 12,6 ТэВ.

Таблица 2

Телеметрический адрес события	E , ТэВ	Z_1	Z_2	Ряд первого взаимодействия
191/186	13,57	1,47	0	1
96/60	33,50	0,67	2,00	1
200/264	14,89	1,03	1,66	2
359/180	23,17	0,84	2,54	1
160/241	14,99	1,12	1,81	1
248/551	24,66	0,99	2,60	1
122/674	13,60	1,20	0	1
281/37	12,90	0,90	1,43	1
659/124	68,52	1,15	1,27	3
123/24	13,01	0,81	3,14	1
81/164	45,62	0,83	1,81	1
81/170	14,08	1,09	0	1
75/32	26,72	1,03	1,66	2
11/208	14,36	1,03	2,66	2
11/502	14,68	0,94	0	3
27/192	15,20	0,95	0	3
91/209	13,04	1,54	1,43	3

Как следует из табл. 2, событие 281/37 выпадает из формального интервала 13—20 ТэВ.

Автор [1] утверждает следующее:

«1. В работе [4] среди частиц с $E > 10$ ТэВ оказались три, не соответствующие критериям отбора протонов, установленным самими авторами.

2. Критерий отбора по месту первого взаимодействия протона в ИК (не зависящий от энергии) был заменен критерием по началу лавины в ИК (принципиально зависящим от энергии). Такая замена принципиально уменьшает показатель степени в энергетическом спектре частиц».

Как следует из текста [1], событиями с первым взаимодействием ниже 3-го ряда ИК, бесосновательно включенными в выборку в [4], являются события с телеметрическими адресами 91/41, 175/153 и 659/124. Что касается первых двух событий, то они, как следует из табл. 2, авторами [4] не использовались, и основания для подобных утверждений неясны. Спорным остается событие 659/124, включенное в выборку в соответствии с [7]. В этом событии в 3-м ряду сцинтилляторов ионизация соответствует 20—40 релятивистским частицам, а в 4-м ряду она примерно в 1000 раз больше. В принципе возможно, что ионизация 3-го ряда вызвана обратным током, тогда как первичная частица «проскочила» ниже этого ряда. Но также возможно, что первое

взаимодействие произошло в слое железного поглотителя непосредственно перед 3-м рядом.

В ходе последующей обработки данных эксперимента «Сокол-2», результатом которой стало включение в выборку протонов с отбором по 5 слоям поглотителя (включая события с осью лавины, выходящей через боковые поверхности ИК), проблема отбора «по месту первого взаимодействия» или «по началу лавины» практически потеряла актуальность, так как далее 5-го ряда «проскакивает» несущественная доля протонов. Следует отметить также, что проведенный анализ позволил несколько ужесточить отбор протонов с осью лавины, проектирующейся в силу неточности реконструкции вонне радиатора ДЗ-1. По этим более жестким критериям (а именно: сигналы в секциях, через которые не проходит ось лавины, не должны превышать сигнал в секции, по которой определяется заряд частицы) из выборки было исключено событие 96/60, также упоминаемое автором [1]. Кроме того, с целью исключить влияние непринципиальных отличий в критериях отбора на окончательные результаты, граница, разделяющая зарядовые интервалы протонов и ядер He, была зафиксирована на уровне $Z_1 < 1,50$ (вместо ранее использовавшейся $Z_1 < 1,5$). Это привело к исключению из выборки события 91/209.

Материалы этой итоговой обработки легли в основу публикации [8] в Calgary, 1993 г. В табл. 3 приведены показатели наклона спектра протонов по публикациям [4, 5, 8], а также [2, 3].

Остается все же вопрос о различии объемов выборок, приведенных в табл. 1, на 4 события. Выше было показано, что предположения автора [1] относительно событий 91/41 и 175/153 неверны. Остается спорное событие 659/124 в интервале 50,1—79,4 ТэВ. Из текста [1] следует, что автором [1] опущено также событие 96/60 из интервала 31,6—50,1 ТэВ. Есть основания также предполагать, что в интервале 12,6—20,0 ТэВ отсутствуют уже упоминавшиеся события 281/37 и 91/209. В табл. 4 показано, как исключение из выборки [4] перечисленных событий сказывается на показателе спектра протонов при $E > 5$ ТэВ.

Таблица 3

Публикация	E , ТэВ	γ
[4]	>5	$1,77 \pm 0,19$
[5]	>5	$1,79 \pm 0,18$
[5]	>10	$1,99 \pm 0,35$
[8]	>5	$1,85 \pm 0,14$
[2]	4—20	$2,11 \pm 0,15$
[3]	>4	$2,08 \pm 0,15$

Таблица 4

Исключенные события	96/60	659/124	Все 4
$\Delta\gamma$	+0,06	+0,09	+0,22

Из табл. 4 следует, что, даже если исключить все четыре события, в которых предположительно заключается основное расхождение двух выборок, наш показатель спектра, приблизившись к показателям [2, 3], остается меньше примерно на 0,1.

Результат [8], полученный на большем статистическом материале при устранении упоминавшихся дискуссионных моментов, также указывает на несколько более пологий спектр протонов.

Причины оставшегося различия могут происходить из особенностей обработки первичного экспериментального материала. Не обсуждая преимуществ того или иного метода вычисления, отметим, что авторы [4, 5, 8] используют для определения показателя спектров метод

максимального правдоподобия, тогда как автор [1—3] — аппроксимацию интегрального спектра. Другое, более важное различие заключается в переходе от энерговыделения в ИК к первичной энергии. Авторами [4, 5, 8] при анализе данных «Сокола-2» этот переход осуществлялся индивидуально в каждом событии на основе данных о распределении ионизации в рядах ИК. Автор [2, 3] использовал переход в среднем «так, как это делалось при обработке результатов измерений с прибором СЭЗ-14 на ИСЗ „Протон”» [2]. Зависимость от энергии коэффициента перехода, не учитываемая в [2, 3], должна привести к некоторому различию в наклоне спектров. Более важно то, что использованное в [2, 3] значение коэффициента перехода оказалось меньше того, что соответствует данным эксперимента «Сокол-2», и как следствие энергетическая шкала в [2, 3] сдвинута влево относительно шкалы [4, 5, 8]. Благодаря этому сравнение показателей спектра при одном и том же номинальном значении пороговой энергии производится при разных фактических значениях. Но наиболее существенным следствием сдвига энергетической шкалы представляется его влияние на интенсивность регистрируемых частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров Н. Л. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1993. № 3. С. 8. (Moscow University Phys. Bull. 1993. N 3. P. 6).
2. Григоров Н. Л. // Ядерная физика. 1990. 51. С. 157.
3. Григоров Н. Л. // Письма в ЖЭТФ. 1989. 49. С. 71.
4. Иваненко И. П., Рапопорт И. Д., Шестоперов В. Я. и др. Препринт НИИЯФ МГУ № 88—44/65. М., 1988.
5. Иваненко И. П., Рапопорт И. Д., Шестоперов В. Я. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. 48. С. 468.
6. Иваненко И. П., Рапопорт И. Д., Шестоперов В. Я. и др. Препринт НИИЯФ МГУ № 89—29/106. М., 1989.
7. Иваненко И. П., Рапопорт И. Д., Шестоперов В. Я. и др. Препринт НИИЯФ МГУ № 90—36/182. М., 1990.
8. Ivanenko I. P., Shestoperov V. Ya., Chikova L. O. et al. // Proc. 23 ICRC. 2. P. 17. Calgary, 1993.

Поступила в редакцию
01.12.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 3

РАДИОФИЗИКА

УДК 621.385.6

МЕТОД РАСЧЕТА ПЛОСКОГО БЕЗЖЕЛЕЗНОГО ОНДУЛЯТОРА

А. Ф. Александров, В. Л. Веснин, В. А. Кубарев

Рассматривается плоский магнитный ондулятор, образованный парами проводников со встречно направленными токами. Методом функций Грина проводится расчет полей ондулятора и исследуется их зависимость от его геометрических размеров.

Плоские магнитные ондуляторы широко применяются в СВЧ-устройствах типа лазеров на свободных электронах (ЛСЭ) [1—4]. Для увеличения ондуляторного поля используются, как правило, системы с ферромагнитными элементами [2—5]. При сравнительно слабых токах