

индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-418(25)- 80

С.К.АКОПЯН, Г.А. АСАТРЯН,
Х.П.БАБАЯН

КОЭФФИЦИЕНТЫ СВЯЗИ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ДЛЯ СТАНЦИИ АРАГАЦ

ԵՐԵՎԱՆ 1980 ԵՐԵՎԱՆ

© Ереванский физический институт, 1980

В раскрытии физической природы различных типов вариаций космических лучей (К.Л.), в получении количественной информации и свойствах источников временных изменений интенсивности космического излучения огромную роль играет, так называемый, метод коэффициентов связи, разработанный Л.И.Дорманом [1].

Применение этого метода сводится к использованию формулы (если из данных наблюдений исключены вариации атмосферного и геомагнитного происхождения):

$$\frac{\delta^i N_\lambda^i(h_0)}{N_\lambda^i(h_0)} = \int_{E_\lambda^{\min}}^{\infty} W_\lambda^i(E, h_0) \frac{\delta^j \mathcal{D}(E)}{\mathcal{D}(E)} dE \quad (I)$$

где E — энергия первичных частиц, E_λ^{\min} — геомагнитный порог для протонов, падающих на границу атмосферы по вертикали; $W_\lambda^i(E, h_0)$ — коэффициенты связи между вариациями первичного потока $\delta^j \mathcal{D}(E)/\mathcal{D}(E)$ и вариациями различных вторичных компонент $\delta^i N_\lambda^i(h_0)/N_\lambda^i(h_0)$ на разных геомагнитных широтах λ и уровнях с давлением h_0 . Индекс i указывает на характер вторичной компоненты (μ — мезоны, нейтроны и т.д.), индекс j указывает на тип вариаций (суточные, сезонные и т.д.).

Используя формулу (I) по данным наблюдений (исправленным),

можно с помощью известных коэффициентов связи $W_{\lambda}^i(E, h_0)$ найти $\delta D(E)/D(E)$, т.е. по наблюдаемым вторичным вариациям найти первичные.

В настоящей работе приведены расчетные и экспериментальные данные коэффициентов связи мюонной и общей ионизирующей, а также нейтронной компонент К.Л. для пункта наблюдения с $\sim 695/\text{см}^2$.

§ I. Определение коэффициентов связи.

В принципе коэффициенты связи вертикального потока могли бы быть найдены непосредственно из формулы

$$W_{\lambda}^i(E, h_0) = \frac{D(E) \bar{m}^i(E, h_0)}{N_{\lambda}^i(h_0)}, \quad (2)$$

где $\bar{m}^i(E, h_0)$ — интегральная кратность, представляющая собой число частиц типа i на уровне наблюдения h_0 , образованных от одной вошедшей в атмосферу первичной частицы с полной энергией E . Однако, кратность $\bar{m}^i(E, h_0)$ многих вторичных компонент недостаточно точно известна, поэтому для определения коэффициентов связи можно использовать геомагнитные эффекты К.Л.

I.1. Определение коэффициентов связи по геомагнитным эффектам.

Как показано в работе [2] в предположении, что первичный спектр $D(E)$ изотропен и вторичные частицы в основном сохраняют направление движения первичных частиц, коэффициенты связи вторичных компонент, подверженных влиянию геомагнитного поля Земли, можно выразить следующей формулой:

$$W_{\lambda}^i(E, h_0) = - \frac{1}{N_{\lambda}^i(h_0)} \frac{\partial N_{\lambda}^i(h_0)}{\partial E_{\lambda}^{min}} \quad (3)$$

Правая часть формулы (3) имеет простой смысл: она выражает, по существу, геомагнитный эффект в данной точке для данной компоненты (i). Поэтому $W_{\lambda}^i(E, h_0)$ может быть найден из результатов обширных экспериментов по геомагнитным эффектам для данной компоненты. Правда, таким путем можно рассчитать только для протонов с энергией $E \leq 15 + 20$ Гэв. Коэффициенты связи для протонов с энергией больше $15 + 20$ Гэв (хотя с меньшей достоверностью) можно получить путем экстраполяции [2].

I.2. Оценки коэффициентов связи для основных вторичных компонент.

В настоящее время различные геомагнитные эффекты широко используются для определения коэффициентов связи. При этом предполагается, что любое направление регистрации в любом пункте Земли характеризуется определенным геомагнитным порогом обрезания E_g (минимальная полная энергия протонов в Гэв, E_{λ}^{min}). Поскольку, согласно уравнению (3), коэффициенты связи можно получить путем дифференцирования кривых зависимости интенсивности вторичных компонент К.Л. от геомагнитного порога E_{λ}^{min} , то для нахождения коэффициентов связи с высокой точностью важно не только ввести с большой точностью все необходимые поправки в данные наблюдения интенсивности, но и особенно тщательно определить E_{λ}^{min} . Для этой цели нами были использованы экспериментальные данные по общей ионизирующей компоненте, полученные с помощью шаров — зондов РКИ на изучаемой широте [3]

Полученные вышеуказанным образом коэффициенты связи мюонной, нейтронной и общей ионизирующей вторичных компонент для высокогорной научной станции Арагац (3200 м. над уровнем моря) приведены на рис. I. По оси ординат в логарифмическом масштабе отложены значения $W^i(E, h_0)$ в % Гэв, а по оси абсцисс, также в логарифмическом масштабе, — энергия E (в Гэв). Для больших энергий в области, где магнитное поле Земли не оказывает существенного влияния на интенсивность К.Л., произведена согласно [2] экстраполяция (они показаны штриховыми линиями).

Таким образом, с помощью формулы (I) по экспериментально измеренным значениям вариаций вторичных компонент и полученным коэффициентам связи (рис. I) можно с достаточной определенностью получить детальные сведения о вариациях первичного потока $\delta D(E)/D(E)$ и подвергнуть количественной проверке конкретные гипотезы о прохождении тех или иных вариаций.

§ 2. Об уточнении коэффициентов связи.

2.1. Уточнение коэффициентов связи в области малых энергий.

Из определения коэффициента связи следует, что по найденному тем или иным способом спектру вариаций первичного потока космических лучей $(\delta D E / D(E))$ можно определить коэффициент связи любой вторичной компоненты непосредственно, используя данные наблюдения. Как показано в [4] по данным наблюдений грандиозной вспышки К.Л. 23-го февраля 1956 г. это можно сделать достаточно надежно, поскольку поток частиц в области малых энергий (≤ 6 Гэв) был исключительно велик и эффект от этих частиц мог быть обнаружен, даже если коэффициенты связи в об-

ласти таких малых энергий очень малы. Как показано в работе [2] найденный коэффициент связи для μ -мезонов в области $E \geq 6$ Гэв хорошо согласуется с найденным из широтного эффекта, а в области $E \leq 6$ Гэв он довольно мал, хотя и не исчезает. Кроме того, из полученных таким образом данных видно, что счетчиковые телескопы существенно менее чувствительны к первичным частицам с энергией ≤ 3 Гэв.

2.2. Значения геомагнитных порогов при определении $W^i(E, h_0)$

Следует отметить, что вплоть до последнего времени во всех работах по определению коэффициентов связи предполагалось, что эффективный геомагнитный порог не зависит от типа регистрируемой компоненты. Однако, как показано в [5], это предположение справедливо лишь с ограниченной точностью: из-за наличия пенумбры эффективный геомагнитный порог оказывается несколько различным для различных вторичных компонент. Правда, это различие невелико и в случае необходимости соответствующие поправки легко ввести с помощью данных, приведенных в [5]

2.3. Коэффициенты связи различных детекторов К.Л.

В настоящее время для изучения вариации К.Л. используются конкретные приборы. Эти детекторы характеризуются некоторой интегральной кратностью.

$$M_{np}(E, h_0) = \sum \alpha_i m^i(E, h_0), \quad (4)$$

где α_i — относительный вклад в общую скорость счета, даваемый компонентой i (очевидно, что $\sum \alpha_i = 1$). Например, ней-

электронный монитор чувствителен не только к нуклонам, но и в какой-то степени к другим частицам. Из регистрируемых импульсов $81,3 \pm 2,4\%$ - обусловлено нейтронами, $11,2 \pm 1,1$ процента протонами, $6,8 \pm 1,2\%$ - захваченными μ -мезонами и менее 1% обусловлено быстрыми μ и $\bar{\mu}$ -мезонами и ливнями. При теоретических расчетах интегральной кратности и коэффициентов связи сначала находятся $m^i(E, h_0)$ для различных вторичных компонент и по известным α_i находятся соответствующие приборные коэффициенты связи; метод отношения коэффициентов связи по геомагнитным эффектам, измеренным идентичным прибором, обладает большим преимуществом (перед теоретическим расчетом): он дает непосредственно приборную интегральную кратность и коэффициент связи.

2.4. Коэффициент связи для регистрации "кратных" нейтронов.

Поскольку время блуждания в мониторе каждого из нейтронов несколько различно, то при малом мертвом времени электронных схем (~ 1 мксек) каждый падающий нуклон дает несколько импульсов, так называемые "кратные" нейтроны.

В работах [6,7] при измерениях широтного эффекта была найдена зависимость скорости счета нейтронов кратности $m(N_m)$ от жесткости геомагнитного обрезания. Зависимость средней кратности \bar{m} нейтронного супермонитора от жесткости обрезания получена в работе [8]. Из полученной кривой в этой работе видно, что нашей геомагнитной широте ($E_g = 7,6 \pm 0,1$ Гэв) соответствует $\bar{m} = 1,43 \pm 1,44$. С другой стороны зависимости $N_m(E_g)$ для различных кратностей ($m = 1, 2, 3$) в период вбли-

зи минимума солнечной активности были найдены в работе [8] на высоте с давлением 680 мбар, что примерно соответствует нашей станции (гора Арагац). Соответствующие коэффициенты связи для кратностей $m = 1, 2, 3$ и для общей скорости счета приведены в работе [9]. Сравнение этих кривых для высоты с давлением 680 мбар показывает, что они сходятся примерно при $E \approx 8$ Гэв. Из вышесказанного вытекает, что расчетный коэффициент нейтронной компоненты для ст. Арагац без учета "кратных" нейтронов будет достаточно близок к действительному.

Следует отметить, что сравнение вычисленной в [14] интегральной кратности генерации нейтронов $m_m^n(E, h_0)$ различной кратности m для супермонитора на уровне гор ($h_0 = 650$ мбар) и уровне моря ($h_0 = 1033$ мбар) с оценками в работе [15] на основе геомагнитных эффектов нейтронной компоненты показывает, что в области $E \sim 5$ Гэв имеется численное согласие, но в области больших E теоретические значения оказываются существенно выше экспериментальных, а в области меньших E имеет место обратная ситуация. В [14] высказывается предположение, что это расхождение может быть обусловлено не совсем правильными значениями, использованными при анализе геомагнитных эффектов в [15]. Однако, как указано в работе [2], здесь, скорее всего, необходимо уточнить сведения о характере генерации образцовых кратных нейтронов в супермониторе. В связи с этим целесообразно рассмотреть функцию чувствительности прибора:

$$Y_m^n = S \cdot D(E) \cdot m_m^n(E, h_0) \quad (5)$$

(S - площадь супермонитора), которая с точностью до нормировочного множителя совпадает с существующими коэффициентами связи.

Сравнение теоретически [14] ожидаемых значений функций для полной скорости счета ($Y^n = \sum_{m=1}^{\infty} m y_m^n$), найденных Y^n с помощью широтных измерений [15, 16], показывает, что теоретические значения при $E \leq 5$ Гэв лежат существенно ниже экспериментальных, а при $E > 5$ Гэв имеется численное согласие. Это очень важно для нашей станции ($h_0 = 687$ мбар, $E_0 = 7,6$ Гэв).

2.5. Изменение коэффициентов связи с изменением солнечной активности

Коэффициенты связи, приведенные на рис. 1 были вычислены, по существу, для периода минимума солнечной активности, когда функция $D(E)$ была максимальной. В работе [10] было найдено изменение энергетического спектра с переходом от минимума солнечной активности, а в работе [11] приведены данные об изменении за этот же период $N_{\lambda}^i(h_0)$ для различных вторичных компонент (i) К.Л..

Если известны $W_{\lambda}^i(E, h_0)$ для минимума солнечной активности (рис. 1) $D^{min}(E)$ и $D^{max}(E)$ согласно [10], то проводя соответствующие расчеты для различных вторичных компонент [11, 4] мы можем получить изменение коэффициентов связи с изменением солнечной активности для нашего пункта наблюдений (ст. Арагац).

§ 3. Коэффициенты связи для стратосферных измерений.

В связи с исследованиями флуктуаций интенсивности К.Л. в стратосфере методом частого зондирования становится необходи-

мым нахождение коэффициентов связи, для чего можно использовать широтные эффекты.

Ввиду значительных изменений в интенсивности К.Л. в стратосфере важным является осуществление одновременных измерений с идентичной аппаратурой на разных широтах.

Нами были использованы данные регулярных измерений интенсивности К.Л. в стратосфере в 1976 г. в г. Ереване с помощью радиозондов РКИ с одинаковым счетчиком СТС-6 и с телескопом, состоящим из двух таких же счетчиков с фильтром 7 мм Al между ними. Были использованы также любезно предоставленные нам соответствующие данные, полученные на постоянно действующих станциях в Мурманске и Алма-Ате лабораторией А.Н. Чарахчяна с помощью той же аппаратуры.

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности общей ионизирующей компоненты К.Л. в максимуме от геомагнитного порога обрезания для глобального потока. Широтные зависимости для телескопа и для одиночного счетчика совпадают, поэтому можно считать, что средняя критическая энергия для глобального потока К.Л. близка к критической энергии для вертикального направления [12].

Полученные данные о широтном эффекте космических лучей можно использовать для вычисления коэффициентов связи. Исходя из уравнения (2)

$$W_{\lambda}^{max}(E) = \frac{D(E) m^{max}(E)}{N_{\lambda}^{max}} \quad (6)$$

где $m^{max}(E)$ - кратность или число частиц в максимуме высотной зависимости от первичной частицы с энергией E .

Для $E \approx 15$ Гэв коэффициент связи определяется из широтного эффекта

$$W_{\lambda}^{\max}(E_{\lambda}^{\min}) = \alpha_{\lambda} \frac{\partial N^{\max}(E_{\lambda}^{\min})}{\partial E_{\lambda}^{\min}} \quad (7)$$

Таким образом, дифференцируя приведенные кривые на рис. 2, получаем коэффициент связи.

В нашем случае коэффициенты связи для $E > 15$ Гэв можно также легко вычислять, так как интенсивность К.Л. в максимуме высотной зависимости на широте λ пропорциональна полному потоку энергии частиц, падающих на границу атмосферы на этой широте. Как показано в работе [12] при геомагнитном пороге обрезания $> 6,6$ Гэв ($E_{\lambda}^{\min} > 6,6$ Гэв), ожидаемое отношение потоков энергии первичного излучения близко к отношению интенсивности частиц в максимуме. При энергиях больше 15 Гэв это условие тем более будет выполнено.

Таким образом, для $E > 15$ Гэв можно принять $m^{\max} \sim E$, согласно работе [13], $D(E) \approx 1/E^{2.7}$ поэтому

$$W_{\lambda}^{\max}(E) = \frac{A_{\lambda}}{E^{1.7}} \% / \text{Гэв} \quad (8)$$

Множители α_{λ} и A_{λ} определяются из условий нормировки.

Вычисленные таким образом коэффициенты связи до $E = 15$ Гэв для Еревана представлены в таблице I.

Таблица I

Коэффициенты связи (W в % Гэв) для измерения интенсивности К.Л. в максимуме высотного хода.

Е Гэв	7,6	8	9	10	11	12	13	14	15
W % Гэв	10,5	9,0	7,5	5,6	4,4	3,5	3,0	2,6	2,5

Коэффициенты связи для энергии больше 15 Гэв можно вычислить по формуле $AE^{-1.7}$, где $A=250$.

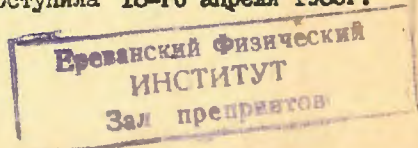
Выражаем благодарность сотруднику лаборатории Айрияну Н.С. за оказанную помощь при выполнении настоящей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.И.Дорман. Изв.АН СССР, серия физическая 20, I, 24, 1956.
2. Л.И.Дорман. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. Москва, "Наука", 359, 1975.
3. С.К.Акопян, Г.А.Асатрян, Х.П.Бабаян. Научное сообщение ЕФИ-255(48)-77.
4. Л.И.Дорман. Вариации космических лучей и исследование космоса, М.1963.
5. Л.И.Дорман, Р.Т.Гущина и др. Эффективные жесткости обрезания К.Л. "Наука", М.1972.
6. E.Dyring, B.Sporre Proc. 9-th Intern.Conf.Cosmic Rays, Vol. 1, London, 1965, p.478
7. E.Dyring, B.Sporre, Arkiv Geofys., 5, N1, 67 (1966)
8. M.Kodama, T.Ohuchi, Canad.J.Phys. 46, N.10, Part 4, S1090 (1968)
9. N.Carmichael et al. Proc.9-th Intern.Conf.Cosmic Rays, Vol. 1, London, 1965, p.533
10. Х.Эллиот и др. Труды Международной конференции по космическим лучам, 4, 319, 1960.
11. S.E.Forbush, J.Geophys, Res. 63, N.4, 651 (1958)
12. В.К.Бабарькин и др. Изв.АН СССР, 28, 12, 1964.
13. А.Н.Чарахчян, Т.Н.Чарахчян. Труды Международной конференции по космическим лучам, 3, 146, 1960.
14. Debrunner, E.Fluckiger, Proc.12-th Intern.Conf.Cosmic Rays, Vol.3, Hobart, 1971, p.911
15. J.A.Dockwood, W.R.Weder, J.Geophys, Res. 2, 3395 (1967)
16. M.Kodama, A.Inone, Acta Phys.Acat.Sci.Hungarical 29, Suppl. 2, 577 (1970)

Рукопись поступила 18-го апреля 1980г.

16



Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 720

ВФ-05290

Тираж 299

Препринт ЕФИ

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 19/УШ-80г.

1,0уч.изд.л. Ц. 7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна 2