

ЕФИ-509(52)-81

С.К.АКОПЯН, Г.А.АСАТРЯН, Х.П.БАБАЯН

О МОДУЛЯЦИОННЫХ ЭФФЕКТАХ КОСМИЧЕСКИХ
ЛУЧЕЙ В ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

ԵՐԵՎԱՆ 1981 · ԵՐԵՎԱՆ

S.K.HAKOPYAN, G.A.ASATRYAN, KH.P.BABAYAN

ON MODULATION EFFECTS
OF COSMIC RAYS IN SOLAR CYCLE

Modulation effects of cosmic rays in solar cycle are considered. It is shown that the solar-daily rotation of neutron component doesn't suffer any substantial changes, whereas the amplitude of the muon daily variations increases with the solar activity approximately 1.3 times.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1981

ДК.537.591

С.К.АКОПЯН, Г.А.АСАТРЯН, Х.П.БАБАЯН

О МОДУЛЯЦИОННЫХ ЭФФЕКТАХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
В ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Рассмотрены модуляционные эффекты космических лучей в цикле солнечной активности. Показано, что солнечно-суточные вариации нейтронной компоненты не испытывают заметных изменений, а амплитуда суточных вариаций модуляций увеличивается с увеличением солнечной активности примерно в 1,3 раза.

Ереванский физический институт

Ереван 1961

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЭМ-509(52)-81

С.Н.АКОПЯН, Г.А.АСАТРЯН, Х.П.БАБАЯН

О МОДУЛЯЦИОННЫХ ЭФФЕКТАХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
В ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Ереван 1981

© Ервонский физический институт, 1981

Как известно, модуляционные эффекты космических лучей (КЛ) тесно связаны между собой и отражают сложное и многообразное воздействие намагниченных солнечных сгустков и различных возмущений в межпланетном пространстве на КЛ которые приходят из Галактики.

Практически все эти эффекты связаны с вращением Земли вокруг своей оси, вокруг Солнца, с собственным вращением Солнца, с циклом солнечной активности и т.п.

Представляет интерес изучение модуляционных эффектов в цикле солнечной активности.

I. Солнечно-суточные вариации в цикле солнечной активности.

Используя многолетние данные наблюдения различных станций с целью определения зависимости солнечно-суточных вариаций от цикла солнечной активности, авторы работ [1-3] пришли к выводу, что с увеличением солнечной активности амплитуда суточных вариаций увеличивается, а моменты максимума смещаются на раннее время.

Однако, данные интенсивности жесткой компоненты КЛ были использованы без учета метеорологических факторов, которые могут изменяться с изменением солнечной активности. В работах [4-5] по данным сети станций СССР было показано, что последовательный учет температурного эффекта по схеме Л.И.Дормана [6] значительно уменьшает наблюдаемый диапазон изменений момента максимума.

В данной работе приведены результаты детального анализа данных наблюдений Арагацкой станции за период подъема солнечной активности (1974-1980) с учетом метеорологических факторов. При этом были использованы атмосферные коэффициенты, приведенные в нашей работе [7]. В обработку включались дни в которые пропуски регистрации не превышали 4 часов, причем отсутствующие данные заполнялись среднесуточными значениями интенсивности.

Как показано в нашей работе [7], будем считать, что распределение КЛ достаточно хорошо описывается первой гармоникой и для обеспечения точности определения асимптотических амплитуд вариаций в среднем до 0,02% разобьем интервал наблюдений на следующие двухгодичные периоды: (XI.1974 г. - X.1976 г.), (XI.1976 г. - XI.1978г.), (XI,1978 г. - VI.1980 г.).

В дальнейшем будем считать, что эти интервалы характеризуют периоды низкой, умеренной и высокой активности Солнца, соответственно.

Исходными данными для определения параметров первой гармоники суточных вариаций мюонной и нейтронной компонент служат данные, полученные с помощью установки СКЛ на высоте 3200 метров

над уровнем моря (г. Арагац). Обработка данных с учетом метеорологических факторов такова, как описано в работе [7] на СВМ "Нахри-2".

В таблице приведены параметры первой гармоники солнечно-суточных вариаций интенсивности мюонов и нейтронов

Таблица

| Компоненты | 1974 - 1976 | | 1976-1978 | | 1978 - 1980 | |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | амплитуда в % | время максим. | амплитуда в % | время максим. | амплитуда в % | время максим. |
| Нейтронны | $0,38 \pm 0,01$ | $15,3 \pm 0,1$ | $0,39 \pm 0,01$ | $15,4 \pm 0,1$ | $0,39 \pm 0,01$ | $15,2 \pm 0,1$ |
| Мюоны | $0,15 \pm 0,01$ | $15,5 \pm 0,1$ | $0,16 \pm 0,01$ | $15,0 \pm 0,1$ | $0,18 \pm 0,01$ | $14,4 \pm 0,1$ |

Из приведенной таблицы видно, что солнечно-суточные вариации нейтронной компоненты в 1975-1980 г.г. не испытывают заметных изменений. В то же время амплитуда суточных вариаций мюонной компоненты обнаруживает увеличение примерно в 1,3 раза а момент максимума смещается на 1 час более раннего времени по сравнению с периодом низкой солнечной активности. Таким образом, сравнивая полученные результаты с данными, приведенными в работе [9], можно сказать, что суточные вариации частиц высоких энергий увеличиваются с увеличением солнечной активности, а вариации частиц малых и умеренных энергий не испытывают заметных изменений с изменением солнечной активности в 1975-1980 г.г.

2. Механизм суточной вариации КЛ

Среди всех видов вариаций галактических КЛ наблюдаемых в солнечной системе особым классом являются суточные вариации,

отражающие анизотропию КМ, которая существует в межпланетном пространстве.

Имеющиеся в настоящее время данные наблюдений позволяют с уверенностью связать этот эффект с солнечным ветром, который "уносит" с собой силовые линии солнечного магнитного поля ("вмерженное" в плазму поля). При этом солнечный ветер не постоянен по плотности и скорости частиц, но по разбросу значений этих параметров велик. Поступающие из Галактики КМ выносятся этими магнитными полями из солнечной системы. Этот вынос опустошает солнечную систему, вследствие чего возникает градиент КМ, направленный от Солнца. Кроме того, в этой же системе образуются стоки КМ в результате их замедления при движении в непрерывно расширяющейся среде. Диффузионный поток КМ, обязанный существованию градиента, направлен к Солнцу.

При наличии упорядоченного магнитного поля с силовыми линиями, растянутыми в спирали движением струй вещества и вращением Солнца, диффузия КМ анизотропна. Фундаментальным свойством анизотропии КМ является её асимметричность относительно линии Земля-Солнце: направление откуда приходит избыточная интенсивность, лежит под углом $\pi/2$ к востоку от Солнца. Для получения такой асимметрии в механизме анизотропии КМ, как указано в работе [8] следует обратить внимание на влияние вращения Солнца.

Диффузионный поток на орбите Земли направлен неточно на Солнце, а в секторе между направлением на Солнце и направлением осей струй. Эти два крайних направления диффузионный поток принимает соответственно в случаях полностью нерегулярного поля, когда коэффициенты диффузии $D_1 = D_2$ и строго регулярного

поля, когда $D_1 \ll D_{II}$.

Тангенциальная компонента диффузионного потока приводит к анизотропии КЛ с максимумом на вечерней стороне Земли (\sim в 18 ч местного времени). В случае регулярного поля её амплитуда $A_{\text{анн}} = 0,65$.

При неположительно регулярном поле амплитуда зависит от степени нерегулярности магнитного поля ($F = D_1/D_{II}$) и скорости солнечного ветра. Правда, при большой скорости ветра ($V > 400 + 500$ км/с) зависимость амплитуды от скорости практически отсутствует, а зависимость от F приближает вид $A, F) = A_{\text{max}}(1-F)$. Отсюда видно, что если поле хаотическое ($F = 1$), то анизотропии нет.

Вследствие вращения Земли анизотропия появляется как суточная вариация. Из наблюдений суточных вариаций следует, что в среднем нерегулярность магнитного поля $F \sim 10^{-1}$ для частиц с энергией $\sim 10 - 12$ ГэВ.

Следует отметить, что при таком значении F амплитуда суточной вариации в отдельные дни может достигать значений ~ 15 и даже больше, а фаза колеблется в пределах 1-8 часов. Так что изучение анизотропии за каждые сутки может дать ценные сведения о структуре солнечного ветра.

3. 27-дневные изменения суточной вариации космических лучей.

Исследования 27-дневных вариаций суточной анизотропии с критическими замечаниями посвящены многие работы.

Суточная волна интенсивности КЛ является результатом суперпозиции многих факторов, эффекты которых сравнимы по величине. Например, на фоне бурных изменений на Солнце в эпоху миниму-

ма активности трудно выделить какую-нибудь склонность к повторяемости с периодом, равным периоду вращения Солнца. Далее, поскольку суточные колебания интенсивности КЛ имеют малую амплитуду, то наличие большой статистической ошибки данных наблюдений становится существенной помехой в поиске эффекта вращения Солнца в суточной вариации КЛ.

Для выявления эффекта вращения Солнца в анизотропии КЛ нами в [10] был использован метод эпициклограмм [11] и по данным нейтронной компоненты станции Арагац было показано существование 27-дневной волны как фазы, так и амплитуды первой гармоники суточной вариации. Прежде чем выделить искомые вариации КЛ, мы исключаем из первичных данных нециклические изменения путем применения метода скользящих средних и находим гармонические коэффициенты для каждого дня рассматриваемого периода. Затем были составлены Кри-диаграммы 27-дневных изменений гармонических коэффициентов по нулевым дням максимумов планетарной интенсивности КЛ. Это позволило, как и в [12,13], составить эпициклограммы 27-дневных вариаций солнечно-суточной вариации. Из полученных данных (см. рис. 2 в работе [10]) видна довольно ясная квазипериодичность амплитуды и фазы солнечно-суточной анизотропии с периодом вращения Солнца, при этом наблюдается тенденция вращения фазы анизотропии по часовой стрелке и против. Сравнение с литературными данными [14] показывает, что существует определенная закономерность зависимости 27-дневного вращения фазы анизотропии от порога жесткости обрезания, т.е. от перехода с малых к большим энергиям первичных КЛ.

Отметим, что как показано в [14], лучше выделить 27-дневные изменения амплитуды (γ_1) солнечно-суточной вариации КЛ

путем построения кривых отдельно для составляющих a и b векторов первой гармоники ежедневных солнечно-суточных вариаций.

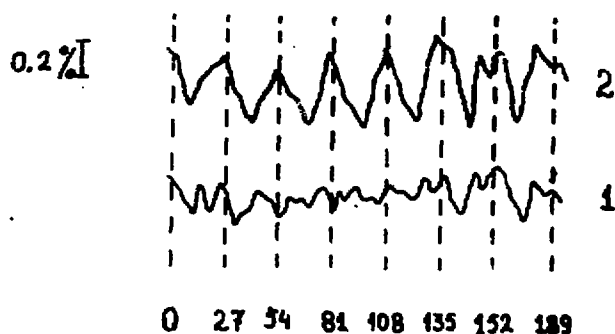
На рисунке приведены кривые 27-дневных изменений суточной вариации интенсивности нейтронной компоненты КЛ по данным амплитуды ζ , и составляющих a , и b , векторов первой гармоники за период с I.I-80 по 30.VI-80 г. Как видно, в кривой, составленной по векторам a , и b , лучше выделены 27-дневные изменения анизотропии, чем в кривой, составленной по ζ . Более того, здесь ясно видно, насколько существенен при исследовании 27-дневной модуляции солнечно-суточной вариации учет изменения фазы.

Сравнение полученных результатов с литературными данными (правда, относящихся к другим циклам солнечной активности) показывает, что 27-дневные вариации анизотропии космических лучей существенно не угасают в пределах рассматриваемого периода: в то время, как 27-дневные вариации интенсивности КЛ по среднесуточным значениям к концу того же интервала времени существенно сбываются. Из этого следует важный вывод о том, что в 27-дневных изменениях солнечно-суточной вариации действует какой-то механизм, обуславливающий их существование в течение более длительного времени.

Отметим, что амплитуда 27-дневных изменений солнечно-суточной вариации ($\sim 0,3$) в интервале I-15 ГэВ существенно не зависит от порога жесткости обрезания. А это показывает, что для периода максимума солнечной активности спектр 27-дневных вариаций анизотропии КЛ должен быть достаточно жестким и близким спектру анизотропии галактических КЛ.

Из довольно общих соображений можно считать, что стационарное неоднородное излучение Солнца, известное под названием "корпускулярных потоков", вследствие вращения Солнца создает 27-дневные вариации интенсивности и анизотропии КМ. Из наблюдений 27-дневных вариаций КМ следует, что в среднем степень нерегулярности магнитного поля солнечного ветра $0,1$, т.е. $D_1/D_0 \sim 0,1$. Отсутствие заметной 27-дневной вариации при низкой солнечной активности [15] может быть связано с отсутствием в этот период крупномасштабной асимметрии ветра по гелиодолготам, но может быть также связано и с хаотизацией магнитного поля (выравниванием коэффициентов диффузии D_1 и D_0).

Выражаем благодарность С.Г.Матиняну и С.А.Мамиджаняну за интерес к работе



1. Глокова Е.С. Вариации интенсивности мезонной компоненты космических лучей во время одного цикла солнечной активности. Изв.АН СССР, сер.Физ. 1953, т.,17, с.136.
2. Sarabai V., Kane R.P. World-wide Effects of Continuous Emission of Cosmic Rays from the Sun. Phys.Rev., 1952, vol.90, p.204.
3. Дорман Л.И., Шаташвили Л.Х. Вариации космических лучей, связанные с вращением Солнца. В сб.Космические лучи. № 5, М.: Наука 1963, с.82.
4. Глокова Е.С., Дорман Л.И., Каминер Н.С. К методике введения метеорологических поправок в данные интенсивности космических лучей. В сб.Космические лучи. № II, М.:Наука 1969, с.149.
5. Чирков Н.П., Кузьмин А.И. Об асимметрии в вариациях космических лучей. Изв.АН СССР сер.Физ.1965, т.29, № 10, с.1904.
6. Дорман Л.И. Вариации космических лучей М.: Гостехиздат, 1957.
7. Акопян С.К., Бабаян Х.П., Саркисян Р.В. Некоторые результаты исследования солнечно-суточной вариации нейтронной компоненты космического излучения на г.Арагац. Препринт БФН-188(34)-1976. Ереван 1976.
8. Крылский Г.Ф. Диффузионный механизм суточной вариации космических лучей. Геомагнетизм и аэрономия.1964, т.4, № 1, с.977, ДАН СССР, 1965, т.160, № 1, с.61
9. Кузьмин А.И. Вариации космических лучей и солнечная активность. М.: Наука, 1968.

10. Акопян С.К., Бабаян Х.П. О 27-дневных изменениях солнеч-но-суточной вариации. Препринт ЕФМ-190(36)-1976, Ереван 1976.
11. Алания М.В., Дорман Л.И., Шаташвили Л.К. 27-дневные вариации анизотропии космических лучей по данным наблюдений нейтронной компоненты на горных станциях мировой сети. Изв.АН СССР, сер.физическая 1965, т.29, № 10, с.1916.
12. Дорман Л.И., Шаташвили Л.К. 27-дневные вариации анизотропии космических лучей по данным нейтронной компоненты в период максимума солнечной активности. Геомагнетизм и аэрномия, 1962 т.2, № 2, с.238.
13. Дорман Л.И., Шаташвили Л.К. Лунно-суточная вариация и 27-дневная модуляция анизотропии космических лучей. Геомагнетизм и аэрномия, 1963, т.3, №5, с.979.
14. Алания М.В., Шаташвили Л.К. Квазипериодические вариации космических лучей. Тбилиси, Изд-во-Мецхереба, 1974.
15. Акопян С.К., Бабаян Х.П., Григорян С.С. О 27-дневной повторяемости вариации интенсивности космических лучей в период минимума солнечной активности. Препринт ЕФМ-444(51)-1980, Ереван 1980.

Рукопись поступила 19-го октября 1981 г.

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

каз 629

ВФ- II500

Тираж: 299

Препринт ЕФИ Формат издания 60x84/16
Подписано к печати 21/ХП-81г. I Суч.изд.л. Ц. к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна 3

индекс 3624