

ПОИСК КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ ЖЕСТКОГО
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЕОМАГНИТНОЙ ШИРОТЕ $7,6^{\circ}$

А. М. Гальпер^{ж)}, В. Г. Кириллов-Угримов^{ж)}, Ю. Д. Котов^{ж)},
Л. Е. Курносова, А. В. Курочкин^{ж)}, Н. Г. Лейков^{ж)},
М. И. Фрадкин, Ю. Т. Юркин^{ж)}, С. В. Дамле^{жк)}, Г. С. Гокле^{жк)},
П. К. Кунте^{жк)}, Б. В. Шриканта^{жк)}

УДК 523.165

Приводятся результаты временного анализа флуктуаций интенсивности гамма-излучения с энергией выше 40 МэВ в верхних слоях атмосферы. Обнаружены квазипериодические флуктуации с периодом $5,0 \pm 0,1$ мин. Их наиболее вероятным источником являются внутренние гравитационные волны в атмосфере.

За последние годы в литературе появился ряд сообщений о наблюдении короткопериодических вариаций космических лучей с периодами от единиц до десятков минут, носящих нестационарный характер и поэтому часто называемых квазипериодическими флуктуациями (КПФ). Они наблюдались на наземных станциях, использующих детекторы большой площади, чувствительные к мюонной или нейтронной компонентам /1,2/, вблизи фотцековского максимума /3/ и в стратосфере с помощью детекторов, регистрировавших электроны /4-6/ и гамма-кванты /5,7/. Амплитуды регистрируемых КПФ колеблются от десятых долей процента /1,2/ до 100-300% /4/. Существуют разные точки зрения на механизм образования КПФ, согласно которым область модуляции космических лучей находится в межпланетном пространстве /1,2/, в земной магнитосфере /5/, или в верхних слоях атмосферы /3/.

^{ж)} Московский инженерно-физический институт.

^{жк)} Институт фундаментальных исследований Тата, Бомбей.

В настоящей работе приводятся результаты временного анализа флуктуаций жесткого гамма-излучения на аэростатных высотах и обсуждается вопрос о механизме возникновения КИФ.

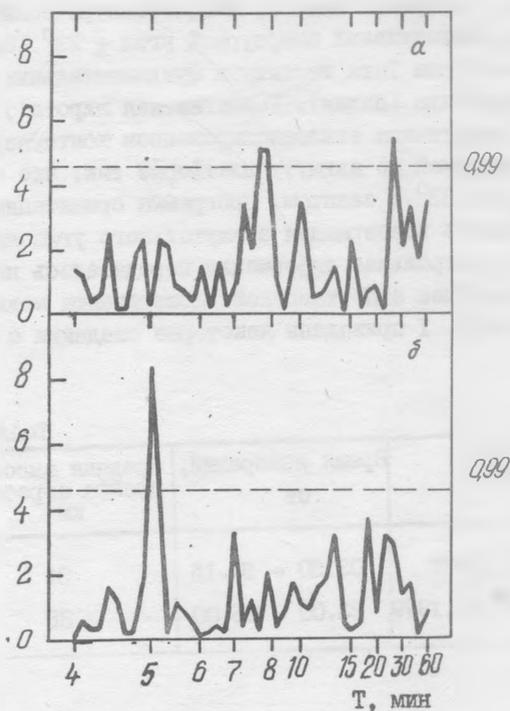
Измерения проводились в двух полетах на высотных аэростатах с помощью гамма-телескопа "Анна-6" /8/. Прибор регистрировал гамма-кванты с энергией выше 40 МэВ, геометрический фактор $115 \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$, эффективный апертурный угол $\pm 23^\circ$. Запуски производились с полигона Тата института фундаментальных исследований близ г. Хайдерабада (Индия). Геомагнитная широта $7,6^\circ \text{ N}$. Гамма-телескоп в герметичном теплоизолированном контейнере закреплялся на ориентируемой по азимуту платформе так, что ось прибора составляла угол 33° с зенитом. Программа ориентации включала три ступени. Точность поддержания азимутального угла на каждой ступени $\pm 0,2^\circ$, контрольная информация передавалась по телеметрии на землю. Подробнее с постановкой эксперимента можно ознакомиться в /9/. В табл. I приведены некоторые сведения о полетах.

Таблица I

Дата	Время измерений, ут	Средняя высота дрейфа аэростата, км
04.II.1977	03.30 - 10.15	34
07-08.04.1979	23.00 - 05.00	38

Поиск КИФ интенсивности гамма-излучения осуществлялся для периодов в диапазоне 4-60 мин. Исходные данные группировались в одноминутные каналы, полученный ряд подвергался высокочастотной фильтрации с помощью корреляционного окна Тьюки /10/, при этом исключались вариации с периодами более 90 мин. Затем согласно /11/ вычислялась спектральная плотность $I(\omega_k)$, где k - номер гармоники в разложении Фурье на конечном отрезке времени. В качестве характеристики общего уровня флуктуаций в исследуемом диапазоне периодов применялась величина $J = \sum_k I(\omega_k)$.

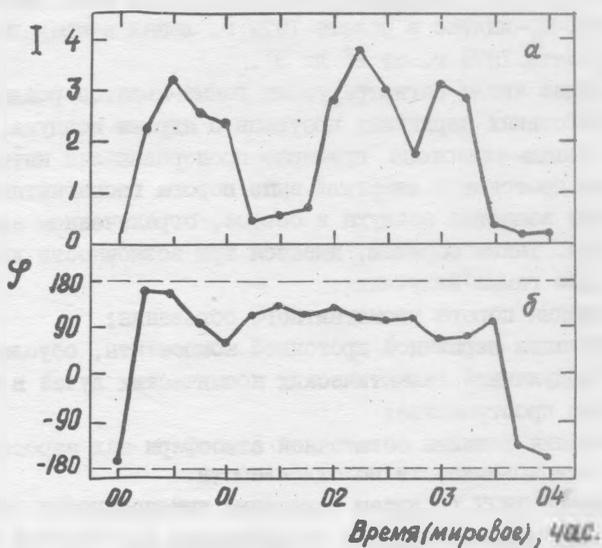
На первом этапе обработки периодограмм анализ для каждого полета проводился на скользящем с шагом 30 мин трехчасовом отрезке. Оказалось, что поведение величины J сильно отличается от ожидаемого для пуассоновских флуктуаций. На рис. 1 представле-



Р и с. 1. Периодограмма интенсивности гамма-излучения. По оси ординат - спектральная плотность в стандартных отклонениях "белого шума". Пунктир отмечает 99%-ный уровень достоверности для индивидуальной гармоник. а) 04.II.1977 с 6.00 по 9.00 ул, б) 08.04.1979 с 01.25 по 04.25 ул

ны периодограммы для наиболее возмущенных отрезков (J превосходит ожидаемый уровень для I_a и I_b соответственно более чем на 4 и 2 стандартных отклонения). Наиболее достоверно выделяются КИФ

с периодом $5,0 \pm 0,1$ мин в полете 1979 г., в котором пульсирующая компонента интенсивности гамма-излучения имела среднюю за три часа амплитуду $\sim 20\%$ от среднего уровня. Далее с целью выявить динамику КПФ вычисление спектральной плотности производилось на скользящем с шагом 15 мин 30-минутном отрезке. Поскольку при этом, естественно, понижалась чувствительность метода, такой анализ можно было провести только для наиболее мощных 5-минутных КПФ. На рис. 2 показано изменение амплитуды (спектральной



Р и с. 2. Динамика квазипериодических флуктуаций с периодом 5 мин в полете 08.04.1979 г. Обработка производилась на скользящем с шагом 15 мин 30-минутном отрезке времени.

а) Спектральная плотность (в тех же единицах, что и на рис. 1)
 б) Фаза (начало отсчета 18.30 UT 07.04.1979)

ная плотность пропорциональна квадрату амплитуды) и фазы 5-минутных КПФ за время полета. Амплитуда, как видно, резко непостоянна, а фаза обнаруживает тенденцию к медленному изменению. С 01.34 по 03.04 UT ось прибора была ориентирована по азимуту

на север, до этого — на 40° к востоку от севера, а после — на 40° к западу.

Анализ телеметрической информации с магнитометров показал, что азимутальное направление в обоих полетах хорошо поддерживалось на каждой ступени ориентации. В пределах точности измерений отсутствовали вращения прибора, которые из-за восточно-западной асимметрии космических лучей могли бы, в принципе, привести к модуляции темпа счета. По данным бортового барографа, имевшего погрешность 3%, заметные колебания высоты аэростата отсутствовали.

Геоманнитная обстановка во время измерений была относительно спокойной. K_p -индекс в полете 1977 г. лежал в пределах от 0^+ до I, а в полете 1979 г. от 2^+ до 3^+ .

Подавляющее число регистрируемых гамма-квантов рождается при взаимодействиях первичных протонов с ядрами воздуха, причем темп счета гамма-телескопа примерно пропорционален интенсивности первичных протонов с энергией выше порога геоманнитного обрезания и массе вещества воздуха в объеме, ограниченном апертурным углом прибора. Таким образом, имеется три возможности для возникновения КПФ гамма-излучения:

- а) изменения порога геоманнитного обрезания;
- б) флуктуации первичной протонной компоненты, обусловленные модуляцией галактических космических лучей в межпланетном пространстве;
- в) колебания толщины остаточной атмосферы над аэростатом.

Рассмотрим эти возможности по отдельности.

а) В полете 1977 г. путем измерения интенсивности гамма-излучения в восточном и западном направлениях был получен геоманнитный эффект для гамма-квантов, который составил $\sim 6\%/Гв$ /9/. Следовательно, наблюдавшимся КПФ должны были бы соответствовать изменения порога обрезания с амплитудой более 3 Гв, что следует признать маловероятным, учитывая общую спокойную геоманнитную обстановку.

б) По данным многонаправленного сцинтилляционного супертелескопа ИЗМИРАН, наиболее чувствительного к вариациям первичной компоненты в диапазоне энергий 10 — 100 Гв (в Хайдерабаде $B = 16,9$ Гв), амплитуды КПФ космических лучей не превышают $0,5\%/I$, что много меньше величины, зарегистрированной в наших измерениях.

в) Известно явление внутренних гравитационных волн (волн плавучести) в атмосфере /12/, проявляющееся в периодических колебаниях параметров атмосферы, в частности, плотности, и наблюдаемое как вблизи земной поверхности, так и в верхней атмосфере. Внутренние гравитационные волны (ВГВ) с длинами волн $\lambda \ll 100$ км имеют характер плоских поперечных волн. При измерениях на аэростате эффект колебаний толщины остаточной атмосферы ($\Delta t/t$) должен сильнее всего проявляться в направлении, лежащем в фазовой плоскости, где колебания плотности $\Delta \rho/\rho$ на различных высотах синхронны. Можно показать, что поскольку

$$\Delta \rho/\rho \sim \rho^{-1/2}, \quad (1)$$

то

$$\Delta t/t = 2\Delta \rho/\rho. \quad (2)$$

Вертикальные смещения аэростата незначительны, так как относительные колебания давления много меньше, чем плотности. Частота ВГВ на заданной высоте всегда меньше так называемой ВБ-частоты (ω_v). Для интересующих нас длин волн применимо приближенное выражение

$$\omega = \omega_v \cos \alpha, \quad (3)$$

где α — угол наклона фазовой плоскости к вертикали. На аэростатных высотах в тропиках ВБ-период равен $\sim 4,5$ мин, поэтому, согласно (3), ВГВ с периодом 5 мин имеют $\alpha \approx 26^\circ$. По данным измерений волнообразных структур в серебристых облаках для волн, распространяющихся в направлениях, близких к горизонтальному, наиболее характерны $\lambda = 10-20$ км /13/. Для таких ВГВ в конусе с углом раствора, равным эффективному апертурному углу гамма-телескопа, и основанием, не превышающим половину длины волны, содержится основная масса вещества воздуха, в котором возникает регистрируемое гамма-излучение. В /3/ с помощью ионизационной камеры проводились измерения плотности на высоте 17 км, были зарегистрированы ВГВ с периодом 5,5 мин и амплитудой колебаний плотности $\sim 1\%$. Это соответствует, согласно (1), амплитуде порядка 5% на высоте 38 км. На этой высоте нами наблюдались КИФ

с амплитудой 20%, которым, учитывая (2), должны были бы соответствовать ВГВ с $\Delta\rho/\rho \geq 10\%$.

Выводы настоящей работы можно просуммировать следующим образом:

1) Наблюдавшиеся квазипериодические флуктуации интенсивности жесткого атмосферного гамма-излучения с периодом 5 мин и амплитудой 20% вероятнее всего вызваны внутренними гравитационными волнами в атмосфере с амплитудой колебаний плотности $\geq 10\%$ на высоте 38 км и углом наклона фазовой плоскости к вертикали $\sim 26^\circ$.

2) При проведении экспериментов по исследованию космических излучений на высотных аэростатах необходимо учитывать, что внутренние гравитационные волны могут являться существенным фактором модуляции темпа счета направленных детекторов; в частности, для гамма-астрономических наблюдений важно то, что атмосферный фон может быть подвержен быстрым анизотропным вариациям.

Авторы выражают благодарность Р. Т. Редкару за обеспечение успешных аэростатных полетов.

Поступила в редакцию
22 февраля 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. И. Я. Либин, О. В. Гулинский, Препринт ИЗМИРАН № 30 (258), 1979 г.
2. V. I. Kozlov, N. P. Chirkov, Proc. 15-th ICRC, Plovdiv, 4, 329, 1977.
3. M. Kodama, T. Sakai, E. Tamai et al., Proc. 14-th ICRC, München, 2, 1120, 1975.
4. I. M. Martin, D. B. Ray, J. M. da Costa et al., Nature Phys. Sci., 240, 84 (1972).
5. I. M. Martin, D. B. Ray, R. Palmaira et al., Nature, 252, 25 (1974).

6. С. А. Воронов, В. М. Грачев, В. В. Дмитриенко и др., Космические исследования, 17, 114 (1979).
7. А. М. Гальпер, В. Г. Кириллов-Угрюмов, А. В. Курочкин и др., Письма в ЖЭТФ, 30, 631 (1979).
8. А. М. Гальпер, А. В. Курочкин, Н. Г. Лейков и др., ПТЭ № 11, 50 (1974).
9. A. M. Galper, V. G. Kirillov-Ugryumov, Yu. D. Kotov, A. V. Kurochkin, N. G. Leikov, Yu. T. Yurkin, L. V. Kuznosova, M. I. Fradkin, S. V. Damle, G. S. Gokhale, P. K. Kunte, B.V. Sreekantan, (COSPAR) Scientific Ballooning, p. 211, ed. by W. Riedler, Perg. Press, 1979.
10. Г. Дженикс, Д. Ваттс. Спектральный анализ и его приложения, М., 1973 г.
11. М. Г. Серебрянников, А. А. Первозванский. Выявление скрытых периодичностей, М., 1965 г.
12. Э. Госсард, У. Хук. Волны в атмосфере, М., 1978 г.
13. B. Fogle, B. Narwitz, Space Sci. Rev., 6, 279 (1966).