

ИЗМЕНЕНИЯ АМПЛИТУДЫ И ФАЗ СОЛНЕЧНО-СУТОЧНОЙ ВАРИАЦИИ

ЮРИЙ ДУВИНСКИЙ (Jurej Dubinsky), ПАВЕЛ ХАЛОУПКА (Pavel Chaloupka),
Кошице, ТАДЕУС КОВАЛЬСКИЙ (Tadeusz Kowalski), Варшава

Солнечно-суточная вариация интенсивности космического излучения уже давно известна и исследуется [1], [2], [3], хотя до сих пор еще не удалось найти однозначное объяснение ее возникновения. Это обстоятельство объясняется несколькими причинами:

1. Амплитуда солнечно-суточной вариации составляет только десятые доли процента общей интенсивности и поэтому не относится к ярким изменениям, как например, понижения флорбуса или одиннадцатилетняя вариация.

2. Амплитуда и время максимума (приблизительно около 15 час. местного времени), подвергаются постоянным изменениям [4].

3. При сравнении результатов измерений данной вариации, проведенных в разных лабораториях, встречаются систематические различия [5], [6].

Дифференции, приведенные под № 3, вызваны недостаточным знанием точных значений коэффициентов связи [1], незнанием точных значений отклонения частот в магнетическом поле Земли, сложностью геометрии детекторных приборов и методикой определения солнечно-суточной вариации (недостаточная статистическая точность измерений, неточности, вызванные обработкой данных и т. д.). Самым большим источником различных показателей является сложность природы самого процесса (источник аннизотропии может состоять из нескольких компонентов — суперпозиции солнечно-суточной волны и других типов вариации космического излучения).

Может быть как раз поэтому имеется целый ряд взаимно-конкурирующих теорий происхождения солнечно-суточной вариации (их перечень дается, напр., в [1] и [3]). Целью этой работы не является ни увеличение их количества, ни их критика, но только желание указать на два элементарных фактора, которые ведут к пониманию нестабильности ампли-

туды и фазы солнечно-суточной вариации и о которых, как нам известно, до сих пор явно не писалось.

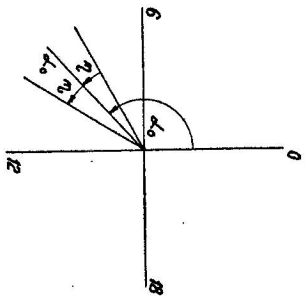


Рис. 1.

В наших рассуждениях будем исходить из представления, что солнечно-суточная вариация вызвана суперпозицией анизотропных потоков частиц космического излучения. Эффективность источников со временем изменяется, а сами источники движутся в пространстве вокруг Земли. Эти предположения вполне приемлемы, потому что большинство вариаций космического излучения можно считать вызванными модуляционными эффектами намагнизированной плазмы, извергаемой Солнцем. Предположим (рис. 1), что из направлений ($\alpha_0 - \eta$, $\alpha_0 + \eta$) к нам попадает дополнительный поток частиц космического излучения, зависимость которого от времени схематически изображается простым выражением $\delta(1 + \epsilon t)$. Для упрощения предположим, что эффективность источника во всех направлениях между $\alpha_0 - \eta$ и $\alpha_0 + \eta$ ($0 < \eta < \pi$) будет одинакова и изменяется со временем линейно. Постоянная будет положительной, при увеличении количества частиц в данной энергетической области, которая появится, например, при прохождении частиц, движущихся через намагниченный поток плазмы, или благодаря коллизионному ускорению механическому типу Ферми. При понижении количества частиц обратными процессами δ будет отрицательной. Эта анизотропия вызывает солнечно-суточную вариацию с амплитудой A , с максимумом во времени t_m .

Имеет место

$$A \cos \omega t_m = \frac{\omega \delta}{\pi} \int_{\alpha_0 - \eta}^{\alpha_0 + \eta} (1 + \epsilon t) \cos \omega t dt \quad (1)$$

$$A \sin \omega t_m = \frac{\omega \delta}{\pi} \int_{\alpha_0 - \eta}^{\alpha_0 + \eta} (1 + \epsilon t) \sin \omega t dt \quad (2)$$

где ω круговая скорость вращения Земли. После простых упрощений получаем:

$$A \cos \omega \Delta = \frac{2\delta}{\pi} (1 + \epsilon \alpha_0) \sin \omega \eta \quad (3)$$

$$A \sin \omega \Delta = \frac{2\delta \epsilon}{\pi} \left(\eta \cos \omega \eta - \frac{\sin \omega \eta}{\omega} \right) \quad (4)$$

где $\Delta = \alpha_0 - t_m$. Величина $\eta \cos \omega \eta - \frac{\sin \omega \eta}{\omega}$ для данного η отрицательна. Направление на центр анизотропии не отвечает, следовательно, максимуму (минимуму) суточной волны, но оно передвинуту на угол Δ , который в дальнейшем изменяется со временем. При повторении измерения за время $T = 24$ час. получаем для угла Δ значения

$$\operatorname{tg} \Delta' = \frac{1 + \epsilon \alpha_0}{1 + \epsilon(\alpha_0 + T)} \operatorname{tg} \Delta. \quad (5)$$

За один сутки кажущееся передвижение анизотропии составит:

$$D = \Delta' - \Delta \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \omega D = \frac{\epsilon^2 T [1 + \epsilon(\alpha_0 + T)] \sin \omega \eta \left(\eta \cos \omega \eta - \frac{\sin \omega \eta}{\omega} \right)}{(1 + \epsilon \alpha_0) [1 + \epsilon(\alpha_0 + T)] \sin^2 \omega \eta + \epsilon^2 \left(\eta \cos \omega \eta - \frac{\sin \omega \eta}{\omega} \right)^2}. \quad (7)$$

Пусть ϵ положительное или отрицательное (анизотропия возрастает или падает), это кажущееся передвижение имеет всегда одинаковое значение: передвижение всегда направлено к утренним часам. Аппаратура, в эффективный угол которой анизотропия придет позднее, будет иметь максимум суточной волны раньше. Так как солнечно-суточная вариация имеет в среднем максимум в послеобеденные часы местного времени и в данный день в это направление по мировому времени наделены сперва станции, находящиеся примерно на $140^\circ - 160^\circ$ западной долготы, то эти станции должны были бы иметь максимум суточной волны позднее всех по местному времени, а станции, лежащие на восток от них, должны были бы иметь максимум суточной волны раньше всех. Предполагаем, однако, что анизотропия появилась в данном месте как раз в начале данного дня. Видно, что этот эффект (величину которого можно оценить при разумных значениях параметров в десятках минут в сутки), может

частично влиять на долготный эффект солнечно-суточной вариации [7]. Поскольку смысл стаивания фазы солнечно-суточной вариации не зависит от знака ϵ , названный эффект является эффектом кумулятивным и в среднем не выравнивается. Однако, он не оказывает влияния на средние показания, полученные за длительное время, потому что анизотропия может измениться в любой момент мирового времени.

Существует также аналогичный эффект амплитуды солнечно-суточной вариации: движение источника, эффективность которого не зависит от времени, вызывает изменения амплитуды солнечно-суточной вариации.

Пусть имеется опыт источника анизотропии с одинаковой эффективностью в направленных между $\alpha_0 - \eta$, $\alpha_0 + \eta$. Эффективность его пусть будет независима от времени, но источник пусть движется с заданной угловой скоростью Ω . Такой источник, как об этом можно убедиться путем простого вычисления, вызовет солнечно-суточную вариацию с амплитудой

$$A_2 = \frac{4\Omega^2}{\pi^2} \sin^2 \frac{\omega\eta}{\omega \mp \Omega}.$$

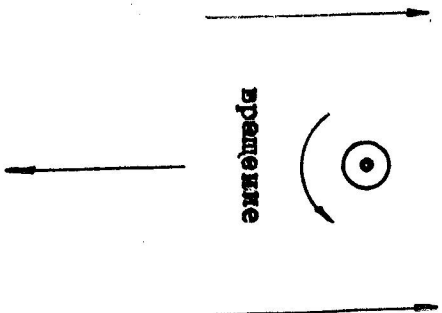


Рис. 2.
к Солнцу

Значение использованных символов такое же, что и в предыдущем примере. Если ω имеет такой же знак, как Ω , то действителен верхний знак, если знак противоположный, то действителен нижний знак. Если предположим, что Земля движется в среде, где анизотропия удалится от Солнца, то все анизотропии, которые способны возрастанию в первой половине дня (рис. 2), движутся вокруг Земли с угловой скоростью об-

рачной к угловой скорости вращения Земли. Следовательно, амплитуда солнечно-суточной вариации, которую они вызывают, меньше, чем если бы они были в состоянии покоя. Анизотропии, вызывающие возрастание в послеобеденные часы, движутся согласно с вращением и поэтому их воздействие больше, чем если бы они не меняли свое положение. Даже при предположении, что количество обеих видов анизотропии вполне одинаково, что они движутся с одинаковой скоростью, имеют в среднем одинаковую эффективность, несмотря на все это они вызывают суточную волну с максимумом в послеобеденные часы в том случае, если к изотропному фону добавляются большие частицы. Если анизотропия уменьшает количество частиц, максимум окончатальной суточной волны будет в послеобеденные часы.

Настоящая работа была первоначально предназначена для летней школы по космическому излучению в Варне в 1966 г. Доклады, прочитанные в этой школе, будут опубликованы лишь в форме кратких резюме. По этой причине работа была пересмотрена и дополнена для данной публикации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дорман Л. И., *Вариации космических лучей*, Гос. изд. техничеко-теоретической литературы, Москва 1957.
- [2] Дорман Л. И., *Вариации космических лучей и исследование космоса*, Изд. Академии наук СССР, Москва 1963.
- [3] Sandström A. E., *Soviet Ray Physics*, North-Holland Publishing Company 1965.
- [4] Chaloupka P., *Anisotropie kosmického záření v rovníkové sídlicích nízkých roklech* (Диссертация), Fakulta technická a jadrové fyziky ČVUT Praha 1962.
- [5] Kane R. P., Thakore S. R., Proc. Indian Acad. Sci. A 52 (1960).
- [6] Parsons N. R., Tellus 12 (1960).
- [7] Romergantz M. A., Duggal S. P., Nagashima K., J. Phys. Soc. Japan 17 (1962), Suppl. A-II.

Поступило в Редакцию 26 апреля 1967 г.

Fyzikální ústav SAV,
vedecké oddelenie Kosmice
Inštitút geografických FAN,
Wargzawa