

УДК 523.9

Пульсации Солнца и период биений 399 суток

В.А. Котов, В.И. Ханейчук

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
vkotov@crao.crimea.ua, han@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 28 декабря 2010 г.

Аннотация. Измерения Доплер-эффекта фотосферы Солнца в КраО проводились 37 лет, начиная с 1974 г. (в сумме 2188 дней, или 13247 ч). Для этой цели применялся дифференциальный “центр-край” метод измерения лучевой скорости солнечным магнитографом (по линии поглощения железа $\lambda 512.4$ нм). Эксперимент привел к обнаружению двух пульсаций Солнца с периодами $P_0 = 9600.606(12)$ с и $P_1 = 9597.936(16)$ с, природа которых неизвестна. Первый детектировался в 1974–1982 гг., второй – на протяжении почти всех 37 лет. Данные 2008–2010 гг. подтвердили устойчивость начальной фазы P_1 -пульсации со средней (дифференциальной) амплитудой 0.25 м/с. Совпадение периода биений двух пульсаций с *синодическим* периодом орбитального обращения Юпитера, 399 сут, ставит новую, трудную проблему перед физикой Солнца и космогонией.

PULSATIONS OF THE SUN AND THE BEAT PERIOD OF 399 DAYS, by V.A. Kotov and V.I. Haneychuk. The measurements of the Doppler effect of the Sun’s photosphere were carried out at the CrAO over 37 years; in all, 2188 days, or 13247 hr. For this aim the differential, “center-to-limb”, method of registration of line-of-sight velocity by the solar magnetograph was applied (using the iron absorption line $\lambda 512.4$ nm). The experiment resulted in the discovery of two global pulsations of the Sun with periods $P_0 = 9600.606(12)$ s and $P_1 = 9597.936(16)$ s which nature is unknown. The first one was detected in 1974–1982, the second – during nearly all 37 years. The data 2008–2010 confirmed the stability of the initial phase of the P_1 -pulsation with the mean (differential) amplitude 0.25 m/s. The coincidence of the beat period of the two pulsations with the *synodic* period of orbital revolution of Jupiter, 399 d, raises a new, hard problem for solar physics and cosmogony.

Ключевые слова: Солнце, пульсации, период Юпитера, Солнечная система

Чтобы лучше понять внутреннее устройство Солнца, с 1974 г. усиленно изучаются глобальные колебания его фотосферы – Солнца как звезды.

В продолжение 37 лет, с 1974 г. по 2010 г., крымские измерения глобальных пульсаций фотосферы Солнца выполнены в течение 2188 дней; в сумме 13247 ч, или 794835 измерений дифференциальной “центр минус край” лучевой скорости фотосферы с минутным интегрированием. Данные получены с помощью солнечного магнитографа по фраунгоферовой линии поглощения Fe I $\lambda 512.37$ нм с нулевым фактором Ланде (подробнее см. Котов и Ханейчук, 2008). При обработке они усреднялись в 5-минутных интервалах, после чего медленные, в течение дня, тренды сигнала скорости удалялись с помощью парабол. Полный 37-летний массив состоит из $N = 158967$ остатков 5-минутного усреднения со среднеквадратичным отклонением 6.4 м/с. Спектры мощности (СМ) получены посредством прямого Фурье-преобразования; нулевая фаза соответствует 0 UT, 1 января 1974 г., положительная скорость – “расширению” Солнца.

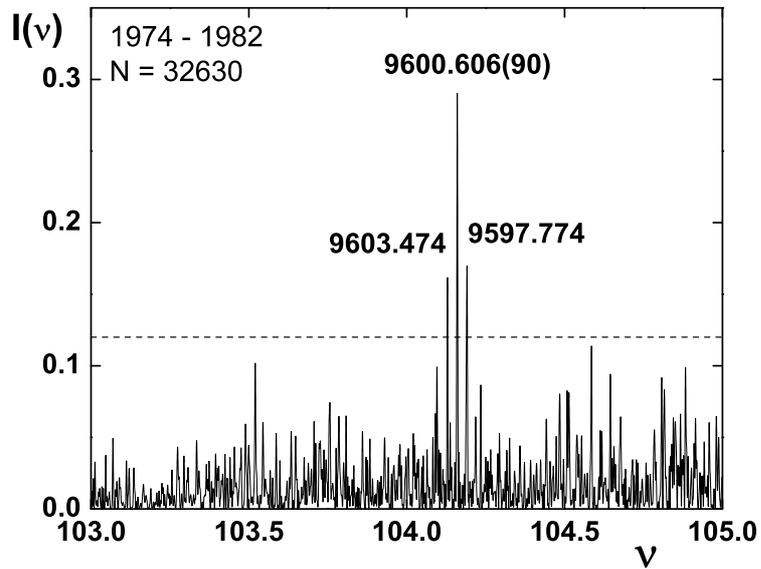


Рис. 1. Спектр мощности колебаний Солнца в 1974–1982 гг. по данным КрАО ($N = 32630$). Пунктирная линия показывает уровень значимости 3σ ; по горизонтали – частота ν в мкГц, по вертикали – мощность $I(\nu)$ в произвольных единицах. Главный пик отвечает периоду 9600.606(90) с

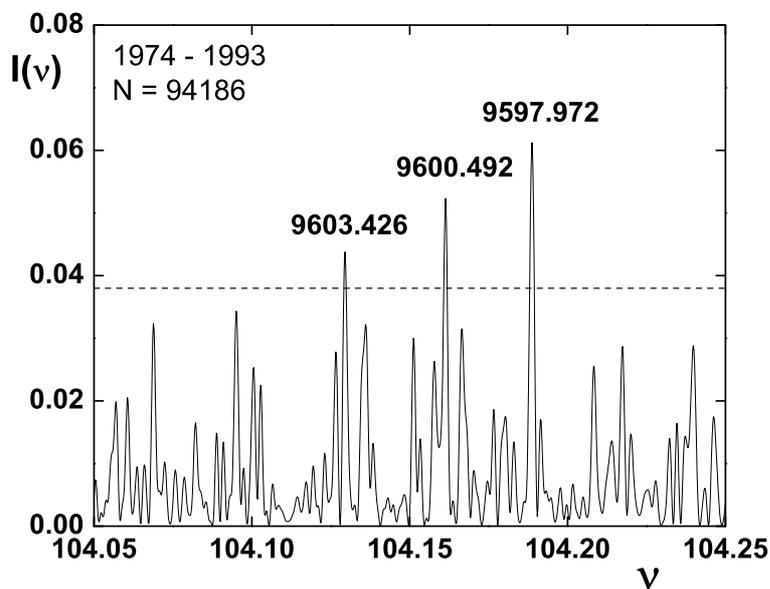


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для 1974–1993 гг. согласно Котову и др. (1995), $N = 94186$. Главный пик отвечает периоду 9597.972(38) с

Первые девять лет крымской гелиосейсмологической программы, с 1974 г. по 1982 г., уверенно регистрировалась пульсация с периодом 9600.606(90) с, доминировавшая тогда в полном СМ (в

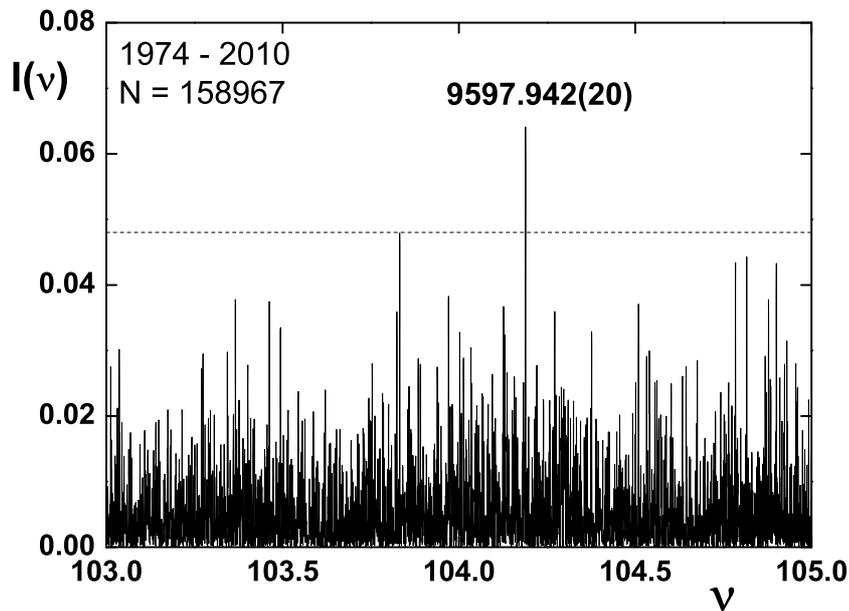


Рис. 3. То же, что на рис. 1, для всех измерений КрАО за 1974–2010 гг., $N = 158967$, с основным пиком $9597.942(20)$ с

скобках указана стандартная ошибка для последних цифр; см. Шеррер и Уилкоккс, 1983; Котов, 1985). Фрагмент СМ показан на рис. 1, где главный пик $P_0 = 9600.606(90)$ с окружен годичными “спутниками” $9597.774(90)$ с и $9603.474(90)$ с. Основная причина появления последних – скважность наблюдений, абсолютное большинство которых выполнено с апреля по октябрь. Гармоническая амплитуда A пика P_0 составляет 0.54 м/с в шкале крымских *дифференциальных* измерений.

Более точное значение периода, полученное по начальным моментам хромосферных вспышек за 1947–1980 гг., оказалось равным $P_0 = 9600.606(12)$ с (Котов и Левицкий, 1987). Причина пульсации до сих пор не выяснена. Но поскольку такой же период регистрируется в вариациях светимости некоторых внегалактических источников – активных ядер галактик, причем независимо от красного смещения, Котовым и Лютым (2007) выдвинута гипотеза, что колебание P_0 имеет *космологическое* происхождение: периодические флуктуации метрики Вселенной, или такт *абсолютных* часов Космоса. Заметим, в частности, что у ядра сейфертовской галактики NGC 4151 период $9600.648(42)$ с.

Поскольку пульсация P_0 была самой мощной в полном СМ колебаний фотосферы в 1974–1982 гг., период P_0 в дальнейшем рассматриваем как *априорный*, причем подтвержденный анализом вспышечных событий.

В начале 80-х годов было замечено, однако, что P_0 -колебание “разваливается”, и доминирующим становится колебание с периодом, близким к высокочастотному годичному спутнику P_0 , а именно колебанию с периодом $P_1 \approx 9597.924(60)$ с (Хеннинг и Шеррер, 1988; Котов и др., 1997). Заметим, что точный период годичного спутника P_0 составляет $9597.686(12)$ с. Тот факт, что главный период изменился и вместо P_0 стал преобладать период P_1 , стал надежно установленным в начале 90-х годов. Это подтверждается СМ за 1974–1993 гг. на рис. 2 согласно Котову и др. (1995), где самый мощный пик соответствует не P_0 , а периоду $P_1 \approx 9597.972(38)$ с. Последний близок к годичному спутнику P_0 , но в то же время на $0.286(40)$ с от него отличается; значимость различия примерно 7σ .

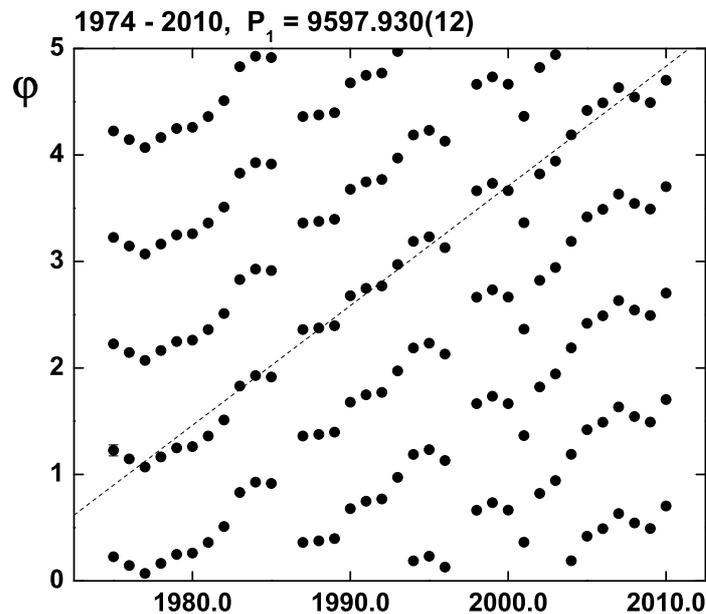


Рис. 4. Диаграмма О–С для пробного периода 9597.600 с. По горизонтали – время в годах, по вертикали – гармоническая фаза φ (точки). Вертикальной черточкой, сравнимой с точкой, указана типичная ошибка фазы; пунктирная линия – прямая линейной регрессии, наклон которой к горизонтали отвечает истинному периоду 9597.930(12) с

Ранее Котов и Ханейчук (2008) показали, что в данных 1974–2007 гг. вместо P_0 доминировала пульсация P_1 . Теперь к предыдущим измерениям мы добавили наблюдения 2008–2010 гг. (182 дня, 1012 ч), итоговый СМ показан на рис. 3. Видно, что на протяжении всех 37 лет доминировал не период P_0 , а соседний, новый период $P_1 = 9597.942(20)$ с. Средняя амплитуда $A = 0.25$ м/с или около 2 км для изменений радиуса при радиальных пульсациях.

Чтобы показать реальность P_1 -пульсации в наблюдениях 1974–2010 гг., построена диаграмма О–С. С этой целью для каждого последовательного двухлетнего интервала методом наложенных эпох строилась средняя кривая с пробным периодом 9597.600 с. Затем для каждой такой кривой методом наименьших квадратов определена аппроксимирующая синусоида с амплитудой A и фазой φ максимума. Амплитуда оказалась незначимой только для 1985–1986 гг. и 1996–1997 гг., совпавших с минимумами солнечной активности (с. а.).

Поведение 34 фаз показано точками на рис. 4 с повторением для фазовых интервалов 1–2, 2–3 и т. д. Наклон прямой линейной регрессии отвечает фактическому периоду $P_1 = 9597.930(12)$ с, который в пределах ошибки согласуется с главным пиком на рис. 3. Отсюда следует, что пульсация P_1 имела фактически неизменную фазу и существенную амплитуду на протяжении 37 лет, за исключением указанных двух интервалов минимума с. а. (Заметные вариации двухгодичных средних фаз и амплитуд могут быть реальными или обусловленными ошибками измерений.) На основании рис. 3 и 4 в качестве наиболее точного периода, в секундах, принимаем среднее

$$P_1 = 9597.936(16). \quad (1)$$

На рис. 5 приведена кривая пульсации с этим периодом. Она имеет амплитуду $A = 0.25$ м/с и несильно отличается от синусоиды. По критерию χ^2 надежность вывода о негармоничности составляет 0.86 (значимость 1.5σ).

Самое поразительное то, что период биений двух пульсаций в сутках составляет

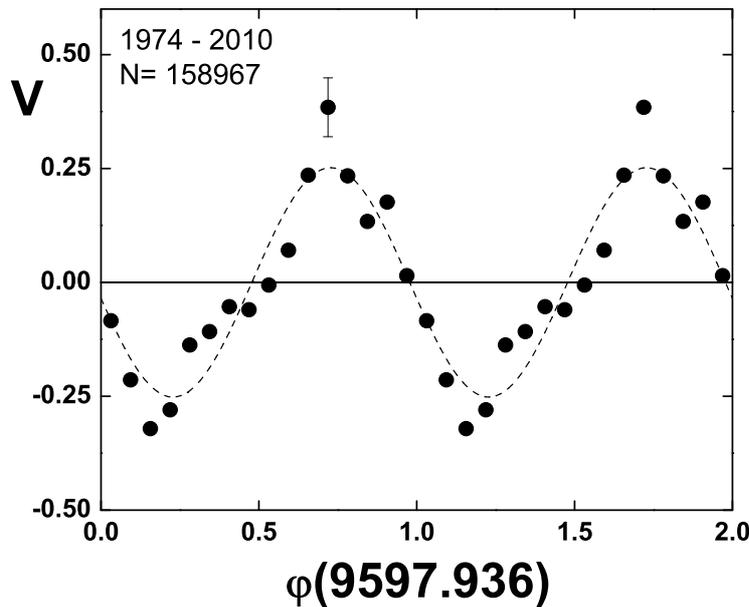


Рис. 5. Средняя кривая колебаний скорости фотосферы с периодом $P_1 = 9597.936$ с (1974–2010 гг., $N = 158967$). Пунктиром показана аппроксимирующая синусоида, вертикальной черточкой – типичная стандартная ошибка в интервале усреднения по фазе $P_1/16$. По вертикали – скорость V (м/с), по горизонтали – фаза периода P_1

$$P_B = \frac{P_0 P_1}{P_0 - P_1} = 399(3), \quad (2)$$

что в пределах ошибки совпадает с *синодическим* периодом Юпитера $P_J = 399$ сут. Совпадение, конечно, может быть случайным, но вероятность случая мала.

Отсюда следует, что Юпитер – самая гигантская планета Солнечной системы – каким-то образом, по-видимому, влияет на пульсации Солнца, или между двумя главными объектами системы имеется некое взаимодействие неизвестной природы. Недавно Скрябин и др. (2005) обнаружили такой же период $P_{SW} = 399$ сут в параметрах солнечного ветра. Акцентируя внимание на совпадении P_{SW} с P_J , авторы приписали эффект инжекции высокоэнергичных частиц из магнитосферы Юпитера в гелиосферу. Такое объяснение мы считаем нереалистичным, ибо маловероятно, чтобы инжекция частиц из далекой магнитосферы Юпитера преобладала бы над всеми другими факторами вблизи Земли. В связи с биением P_B закономерен вопрос об истинной природе 399-суточной периодичности – по наблюдениям как Солнца, так и межпланетной среды.

Обе пульсации, P_0 и P_1 , пока не поддаются объяснению в рамках принятых в XX в. парадигм, требуя новых подходов в физике Солнца, космогонии и космологии.

Авторы признательны Н.П. Русаку и А.Р. Пулатову за техническое обеспечение работы телескопа БСТ-1 и магнитографа, а также Т.Т. Цалу за многолетнее активное участие в наблюдениях Солнца.

Литература

- Котов В.А., Левицкий Л.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 77. С. 51.
 Котов В.А., Люгый В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 1. С. 98.
 Котов В.А., Ханейчук В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104. №. 1. С. 65.
 Котов (Kotov V.A.) // Solar Phys. 1985. V. 100. P. 101.

- Котов и др. (Kotov V.A., Haneychuk V.I., Tsap T.T.) // *Astron. Soc. Pacific Conf. Ser.* 1995. V. 76. P. 82.
- Котов и др. (Kotov V.A., Haneychuk V.I., Tsap T.T., Hoeksema J.T.) // *Solar Phys.* 1997. V. 176. P. 45.
- Скрябин Н.Г., Тимофеев В.Е., Мирошниченко Л.И., Самсонов С.Н. // *Письма в Астрон. журн.* 2005. Т. 31. С. 931.
- Хеннинг и Шеррер (Henning H.M., Scherrer P.H.) // *Adv. in Helio- and Asteroseismology.* Dordrecht: D. Reidel. 1988. P. 29.
- Шеррер и Уилкоккс (Scherrer P.H., Wilcox J.M.) // *Solar Phys.* 1983. V. 82. P. 37.