

УДК 523.9

Главный аргумент против пульсаций Солнца

В.А. Котов

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
vkotov@craocrimea.ru

Поступила в редакцию 21 июня 2023 г.

Аннотация. Близость периода колебаний Солнца, 0.111 сут, к 9-й гармонике среднесолнечных суток представляется оппонентами в качестве основного аргумента против колебаний. Мы показываем, что на деле он, наоборот, доказывает реальность явления, поскольку суточный период Земли, по видимому, является фундаментальной временной шкалой Солнечной системы, тесно связанной с движениями Солнца, Меркурия, Венеры и Земли. Однако истинная природа солнечных колебаний остается неизвестной.

Ключевые слова: Солнце, фотосфера, пульсации, гелиосейсмология, Солнечная система

1 Введение

Оппоненты часто указывают, что почти точное совпадение периода P_0 глобальных колебаний фотосферы Солнца, 9600.606(12) с, с девятой гармоникой среднесолнечных суток, 9600.000 с, говорит о том, что феномен P_0 – земной артефакт (в скобках – стандартная ошибка). При этом игнорируются все наблюдательные свидетельства в пользу колебаний (см. Brookes et al., 1976; Severny et al., 1976; Grec et al., 1980; Scherrer, Wilcox, 1983; Котов, Ханейчук, 2016 и ссылки там), а также прогноз французского астронома-любителя Sevin (1946), сделанный им задолго до фактического открытия колебаний в 1974 г.: “... период собственной вибрации Солнца, его так называемый инфразвук (1/9 суток), играет существенную роль в распределении внешних планет”.

А сам суточный период Земли – случайный или нет?

2 Наблюдательные свидетельства шкалы P_0

Временная шкала P_0 , действительно, почти равна 1/9 сут: отношение среднесолнечных суток к ней составляет 8.99943(1) (на деле разность между P_0 и 1/9 сут статистически значимая).

Но шкала P_0 почти соизмерима не только с периодом земного вращения относительно Солнца: она является наилучшей общей кратной для периодов осевого вращения всех самых крупных и быстровращающихся тел Солнечной системы. Это следует из рис. 1, где приведен резонанс-спектр $F(\nu)$, вычисленный для 15 периодических движений *всех* объектов нашей планетной системы со средними диаметрами более 500 км и периодами $P < 2$ сут: самый высокий пик, со значимостью 4.3σ , отвечает шкале 9594(65) с, что согласуется в пределах ошибки с P_0 (по определению, максимум $F(\nu)$ отвечает наилучшей общей кратной частоте движений данной выборки объектов; подробнее см. Kotov, 2018).

Удивительно и то, что пространственная шкала $cP_0 \approx 19.24$ а. е. (c – скорость света) оказывается наилучшей соизмеримой для орбитальных размеров нашей планетной системы. Это следует из спектра $F(\nu)$, вычисленного на рис. 2 для 11 больших полуосей главных орбит, включая орбиты кольца астероидов, Плутона и Эриды и с фактором π для внутренних орбит: пик наилучшей соизмеримости отвечает шкале 9600(120) свет. сек, или 19.24(3) а. е., со значимостью 4.7σ (при вычислениях принято $c = 1$, см. Котов, 2013).

Сильное свидетельство в пользу солнечной природы P_0 -колебания, наблюдаемого в лучевой

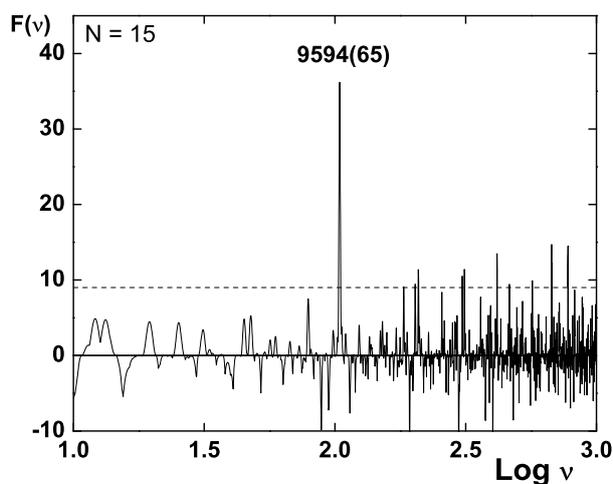


Рис. 1. Резонанс-спектр $F(\nu)$ для 15 частот периодического движения самых больших быстрых ротаторов Солнечной системы. По горизонтали – логарифм частоты ν (в мкГц), пунктирная линия показывает уровень значимости 3σ . Главный пик соизмеримости отвечает наилучшей кратной, или “синхронизирующей”, шкале 9594(65) с

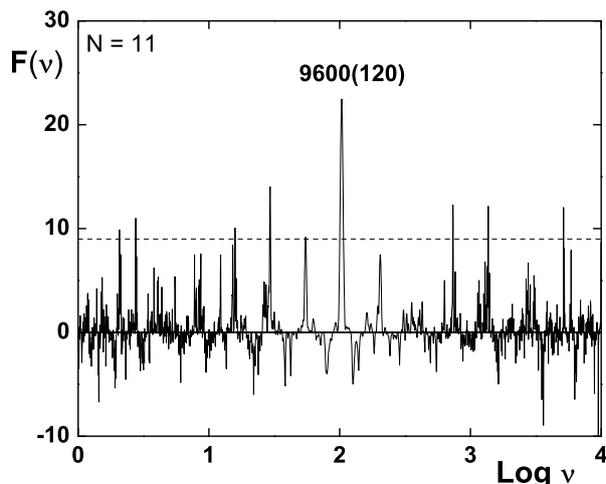


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для пространственного спектра $F(\nu)$ Солнечной системы, вычисленного для $N = 11$ больших полуосей. Главный пик соизмеримости отвечает масштабу 9600(120) свет. сек (принято $c = 1$, для внутренних орбит введен фактор π)

скорости фотосферы, следует из спектра мощности доплеровских данных, вычисленного Scherrer, Wilcox (1983) в области периодов 1.2–4.6 ч: самый высокий пик отвечает периоду $\approx 1/9$ сут при отсутствии пиков других суточных гармоник; точное значение периода, 9600.57(6) с, в пределах ошибки согласуется с P_0 , отличаясь на 9.5σ от суточной гармоники.

Чтобы избежать трудностей, связанных с циклом день–ночь и суточными трендами сигнала скорости (атмосферной или инструментальной природы), Grec et al. (1980) провели на Южном полюсе Земли пятидневные непрерывные измерения лучевой скорости солнечной фотосферы методом атомной резонансной спектроскопии. Полученные данные показали присутствие в сигнале скорости волны с периодом 9600 с, причем в фазе с синусоидальной экстраполяцией средней P_0 -волны на основе данных КраО и Стэнфорда (см. также Kotov, 1985).

Несмотря на убедительные свидетельства солнечного происхождения P_0 -колебания, некоторые авторы (см., например, Grec, Fossat, 1979; Fossat et al., 2017; Efremov et al., 2018) приписали явление переменной прозрачности земной атмосферы, объявив его артефактом наблюдений и обработки данных. Однако детальный анализ этих проблем (Koutchmy et al., 1980; Severny et al., 1980) показал, что ни поведение амплитуды, ни фазы колебания не может быть приписано влиянию атмосферы, игре статистики или процедуре обработки данных наблюдений; вообще трудно указать источник периодических возмущений земной атмосферы, сохраняющий начальную фазу на протяжении многих лет.

3 Причина универсальная?

Предположение о космической природе P_0 -колебания основано на следующих примечательных и статистически значимых наблюдательных фактах:

1. Наилучшая кратная, или “синхронизирующая”, временная шкала периодов пульсаций звезд типа δ Sct совпадает в пределах ошибки с P_0 (Kotov, Kotov, 1997).
2. Наилучший кратный период движения наиболее массивных и быстрых ротаторов Солнечной системы составляет 9594(65) с (см. п. 2 и рис. 1).
3. Существенная часть сверхбыстрых экзопланет движется с орбитальными периодами, кратными шкалам P_0 и/или $2P_0/\pi$ со значимостью составного эффекта 3.6σ для экзопланетных периодов

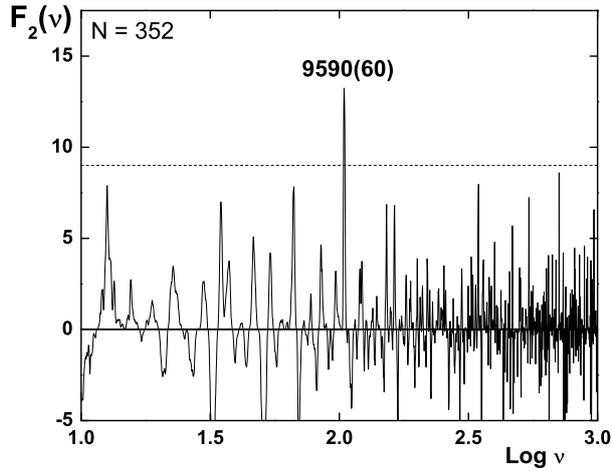


Рис. 3. То же, что на рис. 1, для спектра $F_2(\nu)$ сверхбыстрых экзопланет с периодами менее двух суток (число объектов $N = 352$). Главный пик отвечает шкале 9590(60) с

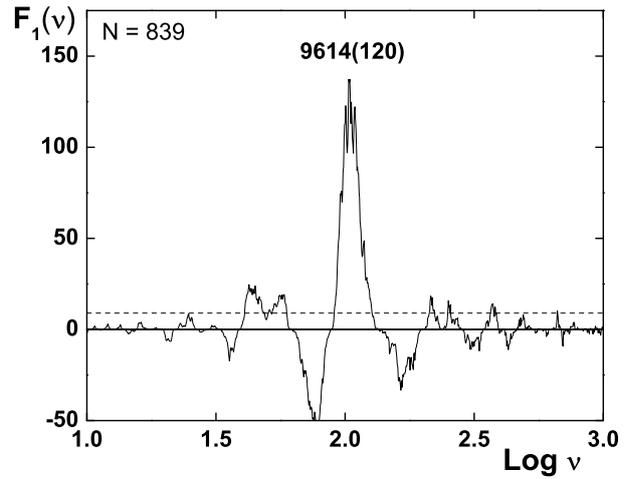


Рис. 4. То же, что на рис. 1, для резонанс-спектра $F_1(\nu)$, вычисленного для $N = 839$ периодов взрывных переменных и родственных объектов, с фактором $2/\pi$. Главный пик соизмеримости отвечает шкале 9614(120) с (см. Kotov, 2019a)

менее двух суток, см. Kotov (2019a) и рис. 3, где максимальный пик отвечает шкале 9590(60) с. (Согласно exoplanet.eu, к 18 февраля 2022 г. было открыто 4978 внесолнечных планет, из которых 352 – с периодами $P < 2$ сут; вероятность того, что шкала экзопланет совпадает с P_0 случайно, около 3×10^{-4} .)

4. Наилучшее общее кратное орбитальных периодов взрывных переменных и родственных объектов составляет $2P_0/\pi$ (здесь 2 – коэффициент, учитывающий симметрию орбиты, а π – фактор стабильности движения двойной системы по отношению к периодическому возмущению неизвестной природы; см. рис. 4 и Kotov, 2008; Kotov, 2019a).
5. Максимумы распределения периодов взрывных переменных и родственных объектов отвечают шкалам $2P_0/\pi \approx 0.071$ сут и $4P_0/\pi \approx 0.141$ сут, тогда как центр “провала”, природа которого современной астрофизикой не установлена, отвечает шкале (в сутках, см. рис. 5)

$$3 \frac{P_0}{\pi} \approx 0.106. \quad (1)$$

Очевидно, что “провал” не обусловлен эволюцией ультратесных двойных систем и не является продуктом множества сложных теоретических механизмов, предложенных за последние 50 лет (см. Spruit, Ritter, 1983; Kotov, 2008 и ссылки там).

6. Орбитальные периоды двойных звезд с периодами менее пяти суток стремятся к соизмеримости со шкалами $2\pi P_0$ и/или $2P_0/\pi$ (статистическая значимость комбинированного эффекта около 6σ ; Kotov, 2008).
7. Светимости некоторых компактных и сверхмассивных внегалактических объектов – активных ядер галактик – осциллируют с периодом P_0 , причем независимо от красного смещения z (см. рис. 6 и Kotov, Lyuty, 1990; Kotov et al., 1997; Kotov и др., 2012).

В некоторых работах (см. ссылки в п. 2) период P_0 объясняется спецификой наблюдений с Земли и процессами в земной атмосфере, проявляющимися в периодическом воздействии на наблюдательные данные. Из вышеизложенного следует, однако, что все эти скептические основания – сугубо гипотетические.

4 Движения Меркурия, Венеры и Земли

Легко показать, что близость (в пределах 0.007%) шкалы P_0 к гармонике суток является, в противоположность мнению оппонентов, сильным аргументом в пользу *реальности* феномена из-за того, что

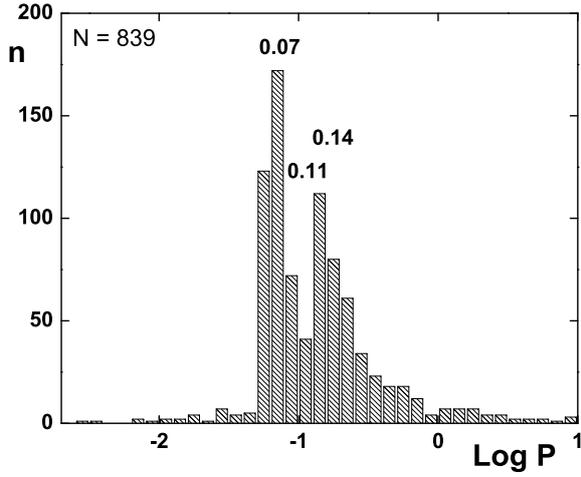


Рис. 5. Распределение периодов взрывных переменных и родственных объектов (число объектов $N = 839$). По горизонтали – логарифм периода P (в сутках), по вертикали – число n объектов в бине шириной $0.1 \log P$; вверху указаны экстремумы, соответствующие шкалам 0.07 сут, 0.11 сут (“провал”) и 0.14 сут

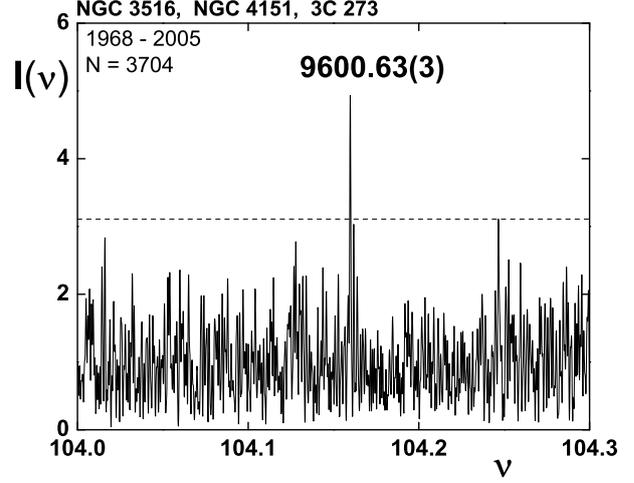


Рис. 6. Средний спектр мощности колебаний светимости квазара 3C 273 и ядер сейфертовских галактик NGC 3516 и NGC 4151 (данные 1968–2005 гг. с суммарным числом измерений блеска $N = 3704$). По горизонтали – частота ν в мкГц, по вертикали – мощность $I(\nu)$ в произвольных единицах, пунктирной линией показан уровень значимости 3σ . Главный пик отвечает шкале 9600.63(3) с (согласно Котов и др., 2012)

шкала P_0 связана как с суточным, $P_D = 1.000$ сут, так и с орбитальным, $P_E = 365.256$ сут, периодами Земли. Потому что последние представляют собой, по-видимому, не случайные шкалы времени, как трактует современная астрономия, а фундаментальные константы Солнечной системы:

$$\frac{P_{\odot}}{P_D} \approx 2 \frac{P_E}{P_{\odot}} \approx 3 \frac{P_D}{P_0} \approx 3^3, \quad (2)$$

где $P_{\odot} = 27.027(4)$ сут – синодический период вращения Солнца (см. Kotov, 2019b; Котов, 2020; подчеркнем, что соотношения (2) на деле являются равенствами в пределах $\pm 0.1\%$). Сидерическое же вращение нашей звезды, с периодом $P'_{\odot} = 25.165(4)$ сут, находится в тесном резонансе с обоими движениями Меркурия:

$$2 \frac{P_M}{P'_{\odot}} \approx 3 \frac{P_{MR}}{P'_{\odot}} \approx 7, \quad (3)$$

где $P_M = 87.969$ сут и $P_{MR} = 58.646$ сут – сидерические орбитальный и осевой периоды планеты соответственно (точность связей (3) составляет $\pm 0.13\%$).

Тесный резонанс с солнечным вращением наблюдается и для осевого (обратного) вращения Венеры с сидерическим периодом $P_{VR} = 243.023$ сут:

$$P_{VR} \approx \frac{2}{3} P_E \approx 3^2 P_{\odot} \approx 3^5 P_D \approx 3^7 P_0 = 243.015, \quad (4)$$

где все временные шкалы представлены в сутках (точность связей составляет $\sim 0.2\%$).

Вызывает интерес и тот факт, что взаимное положение Земли и Венеры (орбитальные периоды последней: $P_V = 224.701$ сут – сидерический, $P'_V = 583.924$ сут – синодический) в сидерической координатной системе повторяется не только через известные восемь лет, но и через интервал $P_{VE} = 243.00$ г., поскольку отношение $P_{VE}/P_V = 395.00$, а $P_{VE}/P'_V = 152.00$ (Koutchmy, 2020, частное сообщение). При этом

$$\frac{P_{VR}}{P_D} \approx \frac{P_{VE}}{P_E} = 243 = 3^5, \quad (5)$$

тогда как, в сутках,

$$P_D \approx 3^2 P_0, \quad P_\odot \approx 3^3 P_D, \quad P_E \approx \frac{P_\odot^2}{2P_D} = 365.23(11). \quad (6)$$

Подчеркнем, что отклонения от точных равенств левой части (5) и связей (6) не превышают 0.1%. (Заметим также, что сидерический период Луны, 27.322 сут, близок к $3^3 P_D$, а орбитальный период Нептуна, 164.79 г., находится в отношении 2:3 со шкалой P_{VE} .) Приведенные выражения – дополнительное свидетельство неслучайных взаимосвязей между движениями трех внутренних планет и Солнца, а также фундаментального значения некоторых временных шкал для Солнечной системы.

Имеют место и другие поразительные, точные до 0.2%, связи между временными шкалами, характеризующими динамику системы Солнце – Венера – Земля (исключая Меркурий и применяя годы ко всем шкалам):

$$P_{VE} \approx 3^{13} \frac{P_0}{2} \approx 3^{11} \frac{P_D}{2} \approx 3^8 \frac{P_\odot}{2} \approx 3^5 P_E = 243.000. \quad (7)$$

5 Заключение

Характерная особенность Солнечной системы – резонансные соотношения между периодами движений некоторых планет и спутников. При этом механизм установления резонансной структуры, основанный на приливном взаимодействии тел, не дает удовлетворительного объяснения резонансов: действие приливов, эффективное в некоторых системах спутников, ничтожно мало для взаимодействия планет в целом (Goldreich, 1965; Alfvén, Arrhenius, 1976).

В настоящее время общепринято считать, что скорость вращения Солнца (Schröter, 1985; Fossat et al., 2017) случайная, и что Земля и Луна приобрели скорости своих движений тоже случайно благодаря сложным процессам, протекавшим в далеком прошлом в протопланетном облаке (Layzer, 1984; в случае Луны – во время ее формирования или гипотетического захвата). Проблема усложняется тем, что Солнечная система дана нам в единственном экземпляре, устройство же экзопланетных систем сильно отличается от устройства нашей. Согласно Ксанфомалити (2006), открытие экзопланет разрушило старое представление о том, что Солнечная система – типичное явление Галактики: “Внесолнечные планеты предлагают теоретикам столько вопросов, что впору всю теорию образования планет писать заново. А наивный вопрос: почему миграции нет в нашей Солнечной системе? – им лучше не задавать”.

На основе приведенных выше корреляций можно предположить, что динамика и архитектура нашей системы в значительной мере “управляется” набором неких констант времени, причем с особой ролью скорости вращения Солнца, что не учитывается теорией и игнорируется принятой историей нашей планетной системы.

Приведем эти потенциальные “константы временной связи”: P_\odot , P_E , P_D и P_0 . Заметим также, что большинство вышеприведенных соотношений – не точные, а приблизительные; малые же, до 0.2%, отклонения от “идеальных” связей можно легко объяснить гравитационными возмущениями со стороны других объектов системы, а также ее эволюцией. (Что касается достоверности связей, то отметим, что вероятность получить случайно соотношения (2) между P_\odot , P_E и P_D , например, не выше 10^{-4} .) Связи (2)–(7) могут дать ключ к объяснению особенностей нашей системы, выделяющих ее из множества экзопланетных (цит. Амбарцумян, 1965): “... такие свойства нашей планетной системы, как приблизительная компланарность и почти круговой характер планетных орбит, закон Бодэ – Тициуса, являются характерными лишь для Солнечной системы или же являются частными проявлениями более общих закономерностей”.

Реальность пульсаций Солнца и все соотношения, приведенные выше, основаны на твердых наблюдательных фактах, что заставляет вспомнить высказывание Simpson (1964) о роли наблюдений, теорий и гипотез в науке: “Неотъемлемый признак любого определения науки – требование, что утверждения, которые не могут быть проверены наблюдениями, не говорят в действительности ни о чем – или по крайней мере они вообще не наука”.

Наши выводы основаны на длительных наблюдениях колебаний Солнца, выполненных в КрАО с 1974 г. по 2018 г., и аксиоме, что “все физические законы подчинены одним и тем же законам сохранения” (цит. Feynman, 1965). И мы понимаем, что иногда оказывается возможным опровергнуть теорию новыми наблюдениями, но нельзя доказать ее правильность: всегда существуют пределы

доказуемости, которые невозможно преодолеть; это доказано в математике и тем более должно учитываться в физике и астрономии. Цит. Chaitin (2006): “теория должна быть проще данных, которые она объясняет, иначе она не объясняет ничего...”. И далее: “... математикам иногда следует постулировать новые аксиомы. Именно так поступают физики, которые обобщают результаты экспериментов и выводят фундаментальные законы, недоказуемые с помощью логики”. Это же относится и к астрономам, которые сталкиваются с проблемой объяснения пульсаций Солнца и резонансов между его вращением и движениями планет. Чтобы понять эти явления, им необходимы новые теоретические механизмы, и этому соответствует высказывание физика-теоретика С. Вейнберга: “Чем больше мы развиваемся, тем меньше мы понимаем Вселенную”. Однако связи (2)–(7) показывают, что мы еще плохо понимаем и Солнце, и нашу планетную систему.

Примечательно, что в корреляции (1)–(7) входят только коэффициенты π , 2, 3 (и целочисленные степени числа 3) и 7. Это обстоятельство может, наверное, дать ключ к пониманию корреляций и замечательной архитектуры Солнечной системы, а также устойчивости движений Земли, ее обитаемости и природы P_0 -колебания.

Хотя истинная физическая природа пульсаций Солнца и указанных корреляций неизвестна, мы предполагаем, что шкалы P_{\odot} , P_E , P_D и P_0 характеризуют *стремление* (свойство) объектов, структур и процессов космического пространства повторяться в пространстве и времени. Это поможет объяснить особенности Солнечной системы, известные всем астрономам и отмеченные Амбарцумян, а также ее замечательную стабильность: система “работает” как правильно идущие часы.

Физическая природа солнечных P_0 -пульсаций и указанных выше корреляций неизвестна. Но в жизни, как отмечал Фейнман, неведение и сомнение – истинные двигатели научного прогресса.

Благодарности. Автор признателен Ф.М. Саншезу (Париж) и покойному С. Кучми за плодотворные дискуссии о Солнечной системе и устройстве Вселенной, В.И. Ханейчуку за активное участие в наблюдениях Солнца в КрАО на телескопе БСТ–1 им. А.Б. Северного и рецензенту за ряд полезных замечаний.

Литература

- Амбарцумян В.А., 1965. Внеземные цивилизации. / Ред. Товмасян Г.М. Ереван: АН Арм. ССР. С. 7–11. [Ambartsumyan V.A., 1965. In Tovmasjan G.M.(Ed.), Extraterrestrial civilizations. Erevan: Acad. Sci. Arm. SSR, pp. 7–11 (in Russ.)]
- Котов В.А., 2008. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 104. № 1. С. 169–184. [Kotov V.A., 2008. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 104, no. 1, pp. 169–184. (In Russ.)]
- Котов В.А., 2013. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 109. № 1. С. 232–253. [Kotov V.A., 2013. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 109, pp. 232–253. (In Russ.)]
- Котов В.А., 2020. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 116. № 1. С. 14–23. [Kotov V.A., 2020. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 116, no. 1, pp. 14–23. (In Russ.)]
- Котов В.А., Саншез Ф.М., Бизуар К., 2012. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 108. № 1. С. 57–70. [Kotov V.A., Sanchez F.M., Bizouard C., 2012. Izv. Krym. Astrofiz. Obs., vol. 108, no. 1, pp. 57–70. (In Russ.)]
- Котов В.А., Ханейчук В.И., 2016. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 112. № 1. С. 125–128. [Kotov V.A., Haneychuk V.I., 2016. Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ., vol. 116, no. 1, pp. 125–128. (In Russ.)]
- Ксанфомалити Л., 2006. Наука и жизнь. № 12. С. 60–68. [Ksanfomaliti L., 2006. Nauka i Zhizn, no. 12, pp. 60–68. (In Russ.)]
- Чейтин Г., 2006. В мире науки. № 6. С. 38–45. [Chaitin G., 2006. V Mire Nauki, no. 6, pp. 38–45. (In Russ.)]
- Alfven H., Arrhenius G., 1976. Evolution of the solar system. NASA SP, Washington: NASA.
- Brookes J.R., Isaak G.R., van der Raay H.B., 1976. Nature, vol. 259, pp. 92–95.
- Efremov V.I., Parfinenko L.D., Solov'ev A.A., 2018. *Astrophys. Space Sci.*, vol. 363, no. 12, p. 257.
- Feynman R., 1965. The character of physical law. London: Cox and Wyman LTD.
- Fossat E., Boumier P., Corbard T., et al., 2017. *Astron. Astrophys.*, vol. 604, p. A40.
- Goldreich P., 1965. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., vol. 130, pp. 159–181.
- Grec G., Fossat E., 1979. *Astron. Astrophys.*, vol. 77, pp. 351–353.

- Grec G., Fossat E., Pomerantz M., 1980. *Nature*, vol. 288, pp. 541–544.
- Kotov V.A., 1985. *Solar Phys.*, vol. 100, no. 1–2, pp. 101–113.
- Kotov V.A., 2018. [Earth Moon and Planets](#), vol. 122, no. 1–2, pp. 43–52.
- Kotov V.A., 2019a. [Earth Moon and Planets](#), vol. 123, no. 1–2, pp. 1–8.
- Kotov V.A., 2019b. [Adv. Space Res.](#), vol. 63, pp. 3385–3389.
- Kotov V.A., Lyuty V.M., 1990. *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris*, vol. 310, no. 6, pp. 743–748.
- Kotov S.V., Kotov V.A., 1997. *Astron. Nachr.*, vol. 318, no. 2, pp. 121–128.
- Kotov V.A., Lyuty V.M., Haneychuk V.I., Merkulova N.I., Metik L.P., Metlov V.G., 1997. *Astrophys. J.*, vol. 488, pp. 195–201.
- Koutchmy S., Koutchmy O., Kotov V.A., 1980. *Astron. Astrophys.*, vol. 90, pp. 372–376.
- Layzer D., 1984. *Constructing the Universe*. New York: Scientific American Books.
- Scherrer P.H., Wilcox J.M., 1983. *Solar Phys.*, vol. 82, pp. 37–42.
- Schröter E.H., 1985. *Solar Phys.*, vol. 100, pp. 141–169.
- Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T., 1976. *Nature*, vol. 259, pp. 87–89.
- Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T., 1980. *Astron. Astrophys.*, vol. 88, pp. 317–319.
- Sevin É., 1946. *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris*, vol. 222, pp. 220–221.
- Simpson G.G., 1964. *Science*, vol. 143, pp. 769–775.
- Spruit H.C., Ritter H., 1983. *Astron. Astrophys.*, vol. 124, pp. 267–272.

The main argument against solar pulsations

V.A. Kotov

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
vkotov@craocrimea.ru

Abstract. A closeness of the solar oscillation period, 0.111 days, to the 9th daily harmonic has been presented by the opponents as the main argument against oscillations. It is shown that this argument, on the contrary, proves the reality of the oscillations because the Earth's daily period itself appears to be the fundamental timescale of the Solar system, closely associated with motions of the Sun, Mercury, Venus, and Earth. However, the true nature of solar oscillations is yet unknown.

Key words: Sun, photosphere, pulsations, helioseismology, Solar system