

УДК 523.4

Юпитер: загадка вращения

В.А. Котов

Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория", пос. Научный, Крым 98409
e-mail: vkotov@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 12 декабря 2005 г.

Аннотация. Общепринятый период осевого вращения Юпитера – примерно 9.9 ч, и к нему привязаны все три координатные системы этого гиганта. На основе известных результатов приливной теории и теории резонансов указывается, однако, что скорость реального, "динамического", вращения основной гравитирующей массы планеты-гиганта должна отвечать наилучшему общему кратному скоростей обращения ее массивных спутников. Соответствующий "резонанс-спектр" показал, что истинный сидерический период Юпитера равен 10.68(3) ч. Он значительно отличается от общепринятого и совпадает в пределах ошибки с периодом Сатурна 10.66 ч. Показано также, что периоды вращения всех шести быстро-вращающихся планет и десяти самых крупных астероидов находятся, в среднем, в наилучшей целочисленной соизмеримости с периодом 2.72(7) ч, известным как период глобальных пульсаций Солнца (2.67 ч). Этот факт представляет интерес для космогонии и поможет уточнить историю образования планет-гигантов.

JUPITER: THE PUZZLE OF ROTATION, *by V. A. Kotov.* The widely accepted rotation period of Jupiter is about 9.9 hr; it determines all three coordinate systems of this giant. However, – on the basis of the well-known results of the tidal and resonance theories, – it is noted that the real, "dynamical", rotation velocity of a basic gravitational mass of a planet-giant must correspond to the best divider of revolution periods of its main satellites. The corresponding "resonance-spectrum" showed that the true sidereal Jovian period is equal to 10.68(3) hr. It differs significantly from the commonly accepted value and well coincides, within the error limits, with the Saturnian period 10.66 hr. It is also noted that the rotation periods of all six fast-rotating planets and those of ten major asteroids tend to be, in average, integer multiples of a period of 2.72(7) hr known as the period of global pulsations of the Sun (2.67 hr). This fact may be of special interest for cosmogony and may help to understand better the history of formation of giant planets.

Ключевые слова: Юпитер, планеты, астероиды, вращение

1 Введение

Общепризнанные значения периода осевого вращения Юпитера группируются около 9.9 ч, и к ним привязаны все три его координатные системы (Аллен, 1977). Но "твердая поверхность" планеты-гиганта недоступна наблюдению, поэтому неясно, вращение чего характеризуют приводимые в

справочниках периоды: мощной атмосферы Юпитера на определенных широтах или магнитного поля, радиоизлучающей области атмосферы или Красного пятна, магнитосферы или основной гравитирующей массы планеты.

Недавно Котова и Котов (2001) предложили новый метод определения скоростей вращения планет-гигантов – по распределению, или резонансу, частот обращения массивных спутников. На основе известных результатов приливной теории и теории резонансов и малых знаменателей (см., например, Голдрайх, 1965; Гребеников, Рябов, 1978) обосновано, что период реального, "динамического", вращения планеты-гиганта должен быть близок к наилучшему общему кратному периодов обращения главных, массивных спутников планеты. Для Юпитера это – Ио, Европа, Ганимед и Каллисто; поведение каждого из этих спутников, на основе теории резонансов, трактуется как поведение маятника в поле тяжести. И далее, в соответствии с известными положениями теории, предполагается, что именно при резонансе имеет место устойчивое движение спутниковой системы. Возмущения, вызываемые гравитационным полем спутника, – как на центральной планете, так и на других спутниках, – поддерживают установившуюся соизмеримость, компенсируя диссипативные эффекты. (Известно, например, что возмущения в движении Гипериона, порожденные *периодической* центральной силой со стороны Сатурна, вызывают попятное движение линии апсид Гипериона.)

Анализ основан на вычислении т.н. "резонанс-спектра", или просто спектра $F(\nu)$, – функции пробной частоты ν (Котова, Котов, 2001). Максимум спектра отвечает такой частоте ν' , которая находится в наилучшей целочисленной соизмеримости, в среднем, с частотами ν_i обращения наиболее массивных спутников системы ($i = 1, 2, \dots$ – номер спутника). Спектр, вычисленный для четырех главных спутников Юпитера, показал, что динамический период его вращения $P_J = 10.69(15)$ ч, где в скобках указана приблизительная стандартная ошибка последних значащих цифр.

Соответствующий пик в спектре $F(\nu)$ Юпитера – двойной, с максимумами на периодах 10.80 и 10.57 ч (рис. 1). Для Каллисто же – при центральном периоде P_J – получается не резонанс, а анти-резонанс: отношение орбитального периода Каллисто к периоду центральной планеты равно 37.47, что близко к *полуцелой* соизмеримости. И это при том, что Каллисто имеет вторую по величине массу среди галилеевых спутников (диаметр Каллисто почти такой же, как Меркурия). Это заставляет вернуться к Юпитеру с целью анализа движения Каллисто и более надежного определения периода планеты-гиганта. Полагаем также, что наше рассмотрение лишь уточняет значение истинного динамического периода, который находится вблизи уже известных значений.

document

2 Спутники Юпитера

Параметры галилеевых спутников Юпитера приведены в табл. 1.

Спектр $F(\nu)$ для Ио, Европы и Ганимеда, – подчиняющихся, кстати, соотношению Лапласа, – хорошо согласуется с "управляющим центральным" периодом системы Юпитера $P_J = 10.69$ ч = 0.4454 сут (Котова, Котов, 2001). Что же касается Каллисто, с его периодом $P_C = 16.6890$ сут, то известно, что движение этого спутника несоизмеримо с движением Ио–Европы–Ганимеда, подвергаясь сильным возмущениям со стороны Солнца (долгота Каллисто поэтому не входит в условие либрации Лапласа). Как указывалось выше, движение Каллисто не находится и в целочисленной соизмеримости с периодом Юпитера P_J . С другой стороны, это движение достаточно близко к соизмеримости с обоими периодами дублетного пика спектра Юпитера (см. рис. 1, где главные пики отвечают периодам 0.4500 и 0.4404 сут): $P_C/0.4500 \approx 37.09$ и $P_C/0.4404 \approx 37.90$.

Закономерен вопрос: не находится ли движение Каллисто в соизмеримости второго порядка с P_J , т.е. с участием коэффициента 2? Иначе говоря, не следует ли при вычислении спектра увеличить вдвое период спутника? Если это так, то в резонансе спутник находится не просто с частотой Юпитера, а с его *удвоенной* частотой. Подобный случай имеет место, по-видимому, в системе Нептуна: Котовым (2004) показано, что Тритон, самый массивный спутник этой системы, находится в резонансе второго порядка с вращением центральной планеты, что позволило уточнить период Нептуна: 13.43(16) ч вместо общепринятого 15.80 ч.

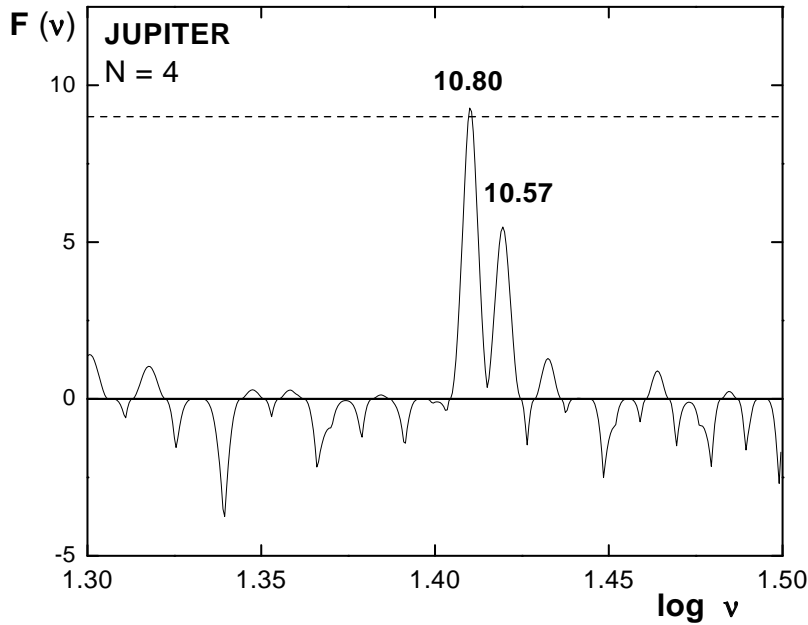


Рис. 1. Спектр $F(\nu)$ частот обращения галилеевых спутников Юпитера (число спутников $N = 4$). По горизонтали – логарифм пробной частоты ν в мГц; пунктирная линия соответствует уровню априорной значимости 3σ , числами же указаны периоды главных пиков в часах (то же на других рисунках).

Таблица 1. Главные спутники Юпитера

Спутник	Период, сут	Масса, 10^{24} г
Ио	1.7691	89
Европа	3.5518	49
Ганимед	7.1546	149
Каллисто	16.6890	107

3 Спектр спутников Юпитера

Выше говорилось, что в спектре, вычисленном "напрямую" для всех галилеевых спутников вблизи ожидаемого – из предыдущих исследований – периода, главный пик указывает на вращение планеты с периодом 10.69(15) ч. Значимость результата, однако, не очень высокая, примерно 2.5σ (98.8%, см. рис. 1).

На рис. 2 показан спектр, вычисленный для системы Юпитера в гораздо большем частотном диапазоне. Главные пики, превышающие уровень *априорной* (т.е. для заданной частоты) значимости 3σ , соответствуют периодам 21.15, 14.30, 10.80, 8.53, 7.15 и 5.34 ч. Они находятся в следующих приблизительных соотношениях – с участием целых малых чисел – с предполагаемым периодом планеты P_J : 2:1, 4:3, 1:1, 4:5, 2:3 и 1:2. Исходя из этих шести "резонансных" соотношений, можно

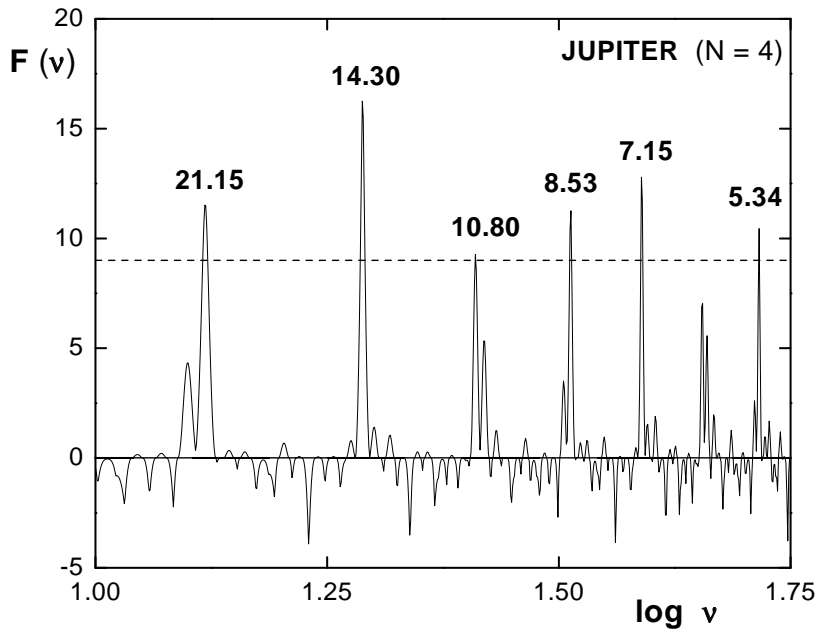


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для более широкого диапазона пробных частот.

уточнить период планеты и его ошибку: 10.69(7) ч.

Теперь вычислим такой же спектр, но с *удвоенным* периодом Каллисто. Результат представлен на рис. 3, где видим последовательность пиков 21.37, 14.30, 10.68, 8.57, 7.15, 6.12 и 5.34 ч. Они находятся в следующих соизмеримостях с предполагаемым периодом Юпитера: 2:1, 4:3, 1:1, 4:5, 2:3, 4:7 и 1:2. Высота пика 10.68(3) ч, соответствующего вращению планеты, существенно возросла по сравнению с рис. 2: формальная значимость 3.8σ . Но, учитывая неоднозначность введения резонанса второго порядка, в качестве фактического уровня достоверности следует принять средний результат рис. 2 и 3: $\approx 3\sigma$ (99.7%).

4 Юпитер и Сатурн: магическое совпадение периодов

Новый период Юпитера поразительно точно, в пределах ошибки, совпал с периодом Сатурна, определенным (а) по радиоданным космической станции "Вояджер-1" (10.657 ч; Урвик и др., 1981) и (б) методом резонанс-спектра (10.76(15) ч; Котова, Котов, 2001). Это вряд ли случайное совпадение. В качестве аргумента Котовым (2004) был вычислен спектр $F(\nu)$ для всех шести быстро-вращающихся планет, – но уже не для частот их массивных спутников, а для частот вращения самих центральных планет. Наилучшая целочисленная соизмеримость была найдена для периода 2.69(8) ч, совпадающим в пределах ошибки с известным периодом глобальной пульсации Солнца 2.67 ч (Котов и др., 2000).

Результат странной "синхронизации" был подтвержден включением восьми крупнейших – с диаметрами $D \geq 300$ км – астероидов. Но в последнее время уточнено вращение некоторых объектов; увеличилось и число крупных астероидов с установленными скоростями вращения. Поэтому мы решили повторить анализ для обновленного списка крупнейших тел Солнечной системы (см. табл. 2, где приведены сидерические периоды и диаметры). В рассмотрение, однако, не включаем недавно открытые крупные объекты пояса Койпера (т.н. "транс-нептуниевые объекты",

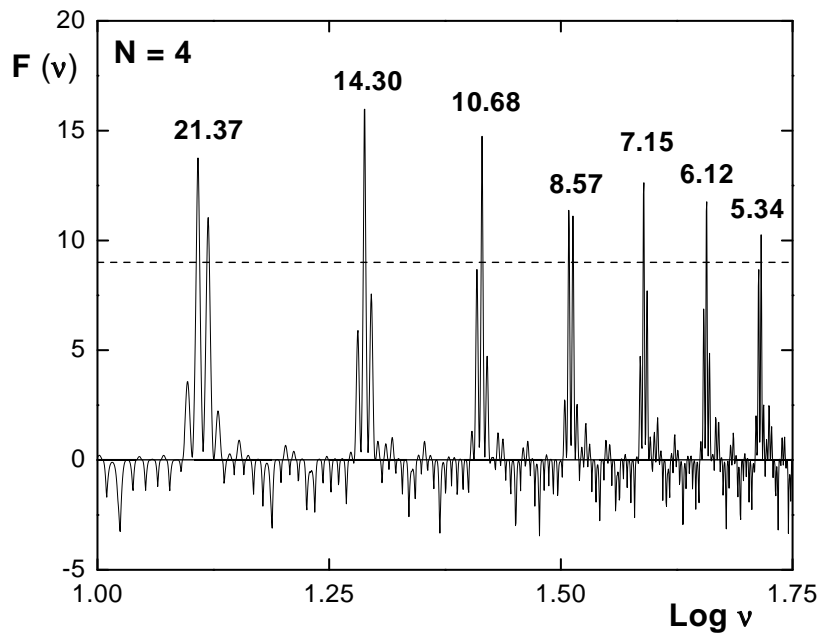


Рис. 3. То же, что на рис. 2, но с удвоенным периодом Каллисто.

ТНО): их размеры и периоды недостаточно уверенно определены, а космогоническое происхождение может отличаться от происхождения обычных астероидов планетной системы; список семи таких объектов – в конце табл. 2. Для Урана и Нептуна приняты новые, динамические периоды (Котов, 2004).

Резонанс-спектр 16 крупнейших тел – шести быстрых ротаторов-планет и десяти астероидов – приведен на рис. 4. Главный пик – уникальный по высоте, или по мощности, остроте резонанса, – отвечает периоду 2.72(7) ч; его априорная статистическая значимость 4σ . Но заметим, что период этот уже около 30 лет известен как период глобальных пульсаций Солнца: $P_0 = 2.67$ ч. Гипотеза же о возможной роли этого периода в распределении осевых вращений крупных тел системы была высказана, – например, Гофом (1983), Котовым и Кучми (1985), – задолго до нашего исследования. Поэтому и *фактическая* значимость P_0 -резонанса близка к 4σ (достоверность 99.99%).

5 От P_0 к закономерности планетных расстояний?

Впервые мысль о важнейшей роли периода P_0 в строении и эволюции Солнечной системы была высказана Савэнном (1946) более полувека тому назад, задолго до фактического открытия – в 1974 г. – глобальных пульсаций Солнца. А именно, еще в 1946 г. Савэн писал: "...период собственных вибраций Солнца, т.н. период его инфразвука (1/9 суток), играет существенную роль в распределении внешних планет". Сейчас трудно установить основания его гипотезы; по-видимому, это была интуитивная догадка, основанная на анализе расстояний планет от Солнца.

Впоследствии, однако, "догадка" нашла серьезное статистическое обоснование: применив метод "резонанс-спектра", Котов и Кучми (1985) установили, что длина волны

$$L = c \times P_0 \approx 19.24 \text{ (А.Е.)}$$

является наилучшей "резонансной", или соизмеримой, длиной для геометрических параметров всех десяти планетных орбит Солнечной системы, включая кольцо астероидов (c – скорость

Таблица 2. Крупнейшие тела Солнечной системы (исключая Солнце и медленные ротаторы: Меркурий, Венеру и Плутон)

Номер	Название	Период, ч	D , км
	Земля	23.934	12756
	Марс	24.623	6789
	Юпитер	10.68	142600
	Сатурн	10.657	120200
	Уран	16.14	49000
	Нептун	13.43	50200
1	Церера	9.075	930
2	Паллада	7.811	529
4	Веста	5.342	526
10	Гигия	27.623	429
19	Фортуна	7.444	498
24	Тэмис	8.374	510
52	Европа	5.632	310
64	Ангелина	8.752	389
511	Давида	5.129	336
704	Интерамния	8.727	333
19308	(ТНО)	6.25	< 897
20000	2000 WR106, Варуна (ТНО)	3.172 или 6.344	1060
24835	1995 SM55 (ТНО)	4.0	< 701
47171	1999 TC36 (ТНО)	6.21	609
50000	2002 LM60 (ТНО)	17.679	1260
	2000 EB173 (ТНО)	6.75	670
55636	2003 TX300 (ТНО)	7.89	< 1110

света). Спектр $F(\nu)$ показал наличие достоверной близости L к целочисленной соизмеримости со следующими параметрами орбит: $2\pi a$ – для внутренних планет, и $2a$ – для внешних планет, где a – большая полуось орбиты. Статистическая значимость этого общего, "геометрического", резонанса оказалась очень высокой, примерно 4σ (99.99%).

Наш спектр $F(\nu)$ для десяти параметров Солнечной системы, вычисленный в более широком, чем ранее, частотном диапазоне, показан на рис. 5. Здесь самый высокий пик, со значимостью примерно 4σ , отвечает периоду 2.67(7) ч, который в пределах ошибки совпадает с периодом солнечных пульсаций. Поразительно острая, ярко выраженная соизмеримость с L геометрических размеров нашей планетной системы заставляет по-новому смотреть на правило Тициуса-Боде для планетных расстояний и искать ему новое, физическое обоснование. Мы видим его в идее P_0 -резонанса системы с "космологическим колебанием" (см. п. 6). Однако природа самого "колебания" и физический механизм резонанса, конечно, еще далеки от понимания.

6 Обсуждение результатов

Имеется много нерешенных головоломок в движении тел Солнечной системы, и особенно тех головоломок, которые связаны с резонансами. Вот одна из них: неслучайная, по-видимому, бли-

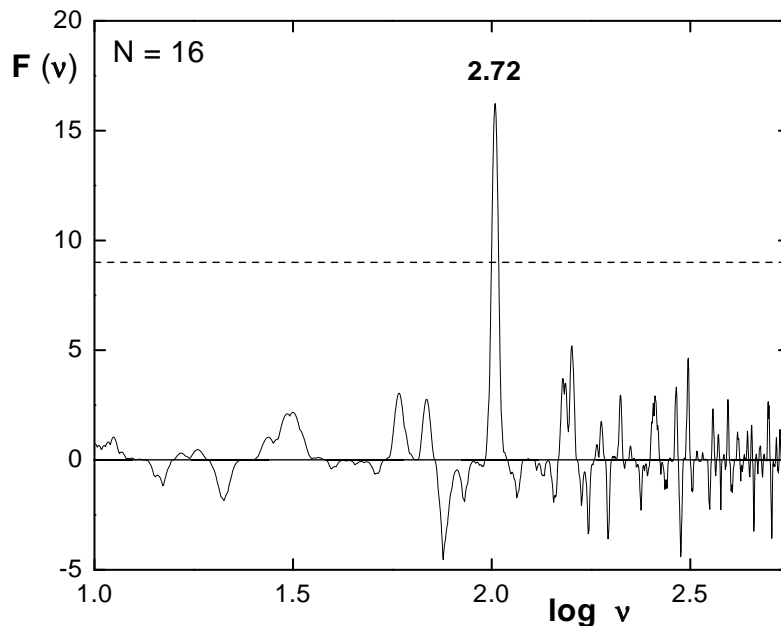


Рис. 4. Спектр частот вращения 16 крупнейших, с диаметрами ≥ 300 км, и быстрых ротаторов Солнечной системы. Главный пик отвечает "синхронизирующему" периоду 2.72(7) ч.

зость друг к другу скоростей вращения Земли и Марса, а также Юпитера и Сатурна.

Новый период Юпитера еще лучше совпал с известным периодом Сатурна 10.66 ч. Совпадение, очевидно, не случайное, т.к. периоды всех 16 крупнейших, быстро-вращающихся, тел системы оказываются в наилучшем "резонансе", или соизмеримости, с известным периодом пульсаций Солнца $P_0 = 2.67$ ч. Остается понять физическую природу такого вездесущего резонанса: периоды P крупных тел почему-то стремятся быть кратными P_0 :

$$P \approx Z \times P_0,$$

где Z – положительное малое целое число (для Юпитера и Сатурна, в частности, $Z = 4$, для Земли $Z = 9$). Это похоже на квантовую "магию" целочисленных отношений, начавшуюся когда-то с формулы Бальмера для дискретного спектра излучения атома водорода и правил квантования устойчивых орбит электрона. По неизвестной причине происходит – статистически – квантование угловых скоростей вращения крупных тел Солнечной системы.

Мы пока не в состоянии предложить конкретный физический механизм, объясняющий преимущественный – опять же *статистически* – резонанс вращений с периодом солнечных пульсаций $P_0 = 2.67$ ч; неизвестна, кстати, и природа самих этих пульсаций.

Укажем, однако, на следующее, очень интригующее, обстоятельство: согласно исследованиям Котова и Лютого (2003) и Саншэ (2004) период $P_0 = 2.66684(2)$ ч характеризует т.н. "когерентную космическую осцилляцию", природа которой весьма странная и загадочная. Из анализа наблюдений внегалактических объектов следует, например, что "космологический" период P_0 не подвержен эффекту Доплера. Это противоречит стандартным представлениям физики, но логически легко объясняется, по-видимому, с точки зрения квантовой *нелокальности* (Гланц, 1995; Белинский, 1997). Более того, находясь в безразмерной связи со всеми фундаментальными константами физики, период "осцилляции" делает несостоятельными космологические модели, предполагающие временную эволюцию этих констант. Явление заставляет сомневаться и в справедливости

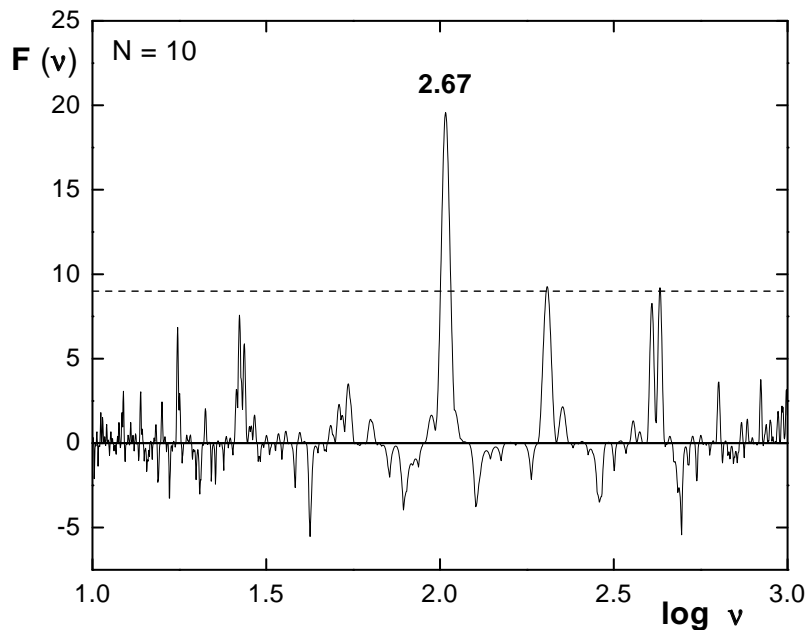


Рис. 5. Спектр $F(\nu)$, вычисленный для геометрических размеров Солнечной системы (число орбитальных параметров $N = 10$, и принято, что $c = 1$). Главный пик отвечает периоду 2.67(7) ч (см. также Котов, Кучми, 1985).

стандартной модели происхождения Вселенной, основанной на идее Большого взрыва; оно делает более предпочтительной стационарную модель Хойла–Бонди–Голда–Нарликара.

Что касается мира пульсирующих звезд, то обратим внимание на семейство звезд типа δ Sct, наиболее близких к Солнцу по массе, периодам пульсаций и спектральной классификации. Наилучшее общее кратное периодов их пульсаций – все тот же *императив* (по Канту): 2.66(2) ч. Другими словами, эти звезды в совокупности проявляют магическую тенденцию пульсировать с периодами $\approx Z^k \times P_0$, причем статистическая значимость такой, "звездной", селекции высока: примерно 3.8σ (здесь $k = \pm 1$; см. Котов, Котов, 1998). Какой же таинственный процесс, или феномен, заставляет подстраивать периоды механических пульсаций звезд Дельта Щита под тот же самый, что у Солнца, "универсальный" период P_0 или его гармоники? Ведь звезды имеют разные массы, химсостав и эволюцию...

7 Заключение

Итак, истинный, динамический, период Юпитера, связанный с вращением его гравитирующей массы, совпадает с периодом Сатурна. И это создает новую загадку резонансов Солнечной системы: оба периода кратны периоду солнечных пульсаций $P_0 = 2.67$ ч.

В прошлом веке было высказано мнение, что центральное ядро Солнца вращается сверхбыстро – с периодом порядка часа (Роксбург, 1974), или даже конкретнее – с периодом примерно P_0 (Котов, 1996). Конечно, такая "экзотика" требует нетрадиционной динамики и пекулярной физики центрального ядра Солнца. Находясь в сильном противоречии со стандартной моделью внутреннего строения нашей звезды, гипотеза все-таки заслуживает внимания ввиду "очевидной-невероятной"

значимости потаенной P_0 -синхронизации планетной системы (см. рис. 4 и 5). В рамках такой гипотезы, не привлекая мифической "пятой" силы, можно указать пока на один специфический путь физического мышления, который и приведет в будущем, наверное, к постижению тайны P_0 -резонанса: не обусловлено ли явление *нелокальностью* материи?

Нелокальность – современное квантово-механическое понятие, подразумевающее связь состояний "разлетевшихся" частиц на расстоянии. Реальность явления, когда-то оспаривавшаяся Эйнштейном, Подольским и Розеном, сейчас доказана экспериментами с фотонами и элементарными частицами (т.н. ЭПР-парадокс; см., например, Белинский, 1997). Не исключено, что именно нелокальность – на уровне элементарных частиц и атомов – способна помочь нам разобраться с новыми, сейчас непостижимыми, "чудесами" астрофизики:

- (а) пульсациями Солнца с периодом P_0 ,
- (б) P_0 -синхронизацией скоростей вращения крупных тел Солнечной системы,
- (в) L -резонансом размеров планетных орбит ($L = c \times P_0$),
- (г) P_0 -синхронизацией звезд δ Sct,
- (д) колебаниями блеска активных ядер галактик с периодом P_0 и
- (е) "когерентной космической осцилляцией".

А также приблизит нас к финалу загадки, сформулированной в фундаментальной физике как принцип Маха (Дикке, 1965): *сила инерции обусловлена взаимным влиянием материи, или, другими словами, удаленным ускоренным веществом всей Вселенной.*

Вот и трудно теперь не согласиться с Агатой Кристи: "Правда страннее, чем вымысел".

Автор благодарит С. В. Котова и В. И. Ханейчука за помощь в программировании и вычислениях, а также И. В. Сетяеву за плодотворное обсуждение вращательных особенностей планет и астероидов.

Литература

- Аллен К.У. // Астрофизические величины. М.: Мир, 1977.
- Белинский А.В. // Успехи физ. наук. 1997. Т. 167. С. 323.
- Гланц (Glanz J.) // Science. 1995. V. 270. P. 1439.
- Голдрайх (Goldreich P.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1965. V. 130. P. 159.
- Гоф (Gough D.) // Phys. Bull. 1983. V. 34. P. 502.
- Гребеников Е.А., Рябов Ю.А. // Резонансы и малые знаменатели в небесной механике. М.: Наука, 1978.
- Дикке Р. // Многоликий Мах. В кн. "Гравитация и относительность" (под. ред. Х. Цзю, В. Гоффмана). М.: Мир, 1965. С. 221.
- Котов В.А. // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 1996. Т. 39. С. 1210.
- Котов В.А. // Кинематика и физика небес. тел. 2004. Т. 20. С. 157.
- Котов В.А., Кучми С. // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1985. Т. 70. С. 38.
- Котов В.А., Люты́й В.М. // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 2003. Т. 99. С. 65.
- Котов В.А., Ханейчук В.И., Цап Т.Т. // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 2000. Т. 96. С. 188.
- Котов С.В., Котов В.А. // Кинематика и физика небес. тел. 1998. Т. 14. С. 543.
- Котова И.В., Котов В.А. // Кинематика и физика небес. тел. 2001. Т. 17. С. 157.
- Роксбург (Roxburgh I.W.) // Nature. 1974. V. 248. P. 209.
- Савэн (Sevin E.) // Compt. Rend. Acad. Sci. Paris. 1946. V. 222. P. 220.
- Саншэ (Sanchez F.M.) // Private communication. 2004.
- Уорвик и др. (Warwick J.W., Pearce J.B., Evans D.R., et al. // Science. 1981. V. 212. P. 239.