

УДК 523.21

## Магнитное Солнце, пульсации и феномен стоячих волн в структуре Солнечной системы

*М.Ю. Скульский*

Национальный университет “Львовская Политехника”, ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013  
*mysky@polynet.lviv.ua*

Поступила в редакцию 29 октября 2013 г.

**Аннотация.** Выполняемая в КраО в 1960-х гг. задача регистрации магнитного поля Солнца как звезды привела впоследствии к систематическим измерениям глобальных осцилляций фотосферы и обнаружению “таинственных” пульсаций с периодом  $P_0 = 9600$  с, а вскоре и до упорядочения Солнечной планетной системы на основе принципов “ $L_0$ -резонанса”. Принимая во внимание современные знания об экзопланетных системах, замечено, что структура Солнечной планетной системы тесно соотносится с феноменом стоячих волн с длиной  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  (здесь:  $\lambda = cP_0$  и  $c$  – скорость света). Принцип упорядочения внешних планет в форме  $a = n\lambda_{SW}$  (где  $a$  – большая полуось орбиты и  $n$  – целое число) располагает внешние планеты на расстояниях от Солнца пропорционально четверти или половине длины волны  $\lambda$ . Этот алгоритм также справедлив для карликовых планет и главных транснептуновых объектов, включая семейства комет. Принцип упорядочения орбит внутренних планет преобразован к виду  $2\pi a = m\lambda'_{SW}$  (где  $m$  – целое число) с шагом  $\lambda'_{SW} = (1/12)\lambda_{SW}$ . Длины орбит планет от Меркурия до Марса квантуются согласно  $\lambda_{SW}$  и ее гармоникам. Эти результаты выглядят вполне эмпирическими, что позволяет предположить образование обеих групп Солнечной системы в едином физическом волновом процессе. Кроме того, обнаруженный резонанс собственных колебаний Солнца и планет непосредственно ассоциируется с длиной стоячей волны как со структурным фактором в Солнечной планетной системе. Кратко рассматриваются вопросы интерпретации природы стоячих волн.

MAGNETIC SUN, PULSATIONS AND STANDING WAVES PHENOMENON IN THE STRUCTURE OF THE SOLAR SYSTEM, *by M.Yu. Skulsky*. The task outlined by the CrAO in 1960s for registration of the magnetic field of the Sun as a star advanced afterwards systematic measurements of global photospheric oscillations. This program resulted in the discovery of the “enigmatic” pulsations with a period  $P_0 = 9600$  s, later extended to ordering of the Solar planet system based on the principles of “ $L_0$  – resonance”. Taking into account the current knowledge about exoplanet formations, we notice that planetary structure of the Solar system is closely related to the phenomenon of standing waves with length  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  (here:  $\lambda = cP_0$  and  $c$  is the speed of light). The principle of outer planets ordering in the form of  $a = n\lambda_{SW}$  (where  $a$  is a semi-major axis and  $n$  is a whole number) arranges outer planets at distances from the Sun proportional to a quarter and a half of  $\lambda$  wavelength. This algorithm is also true for dwarf planets and main transneptunian objects, including comet families. The principle of orbit ordering of inner planets is transformed into  $2\pi a = m\lambda'_{SW}$  (where  $m$  is a whole number) with a step  $\lambda'_{SW} = (1/12)\lambda_{SW}$ . Orbit lengths of planets from Mercury to Mars are quantized with  $\lambda_{SW}$  and its harmonics. These results are rather empirical; it is reasonable to suppose that the formation of both planetary groups of the Solar system is accomplished through one and the same physical process similar to the wave scenario. In addition, the discovered resonance of proper oscillations of the Sun and planets

is directly associated with the length of the standing wave as a structural factor of the Solar planetary system. The question of interpretation of the standing wave nature is briefly considered.

**Ключевые слова:** Солнце, пульсации, структура Солнечной системы

---

## 1 Введение

В 1960-е годы в Крымской астрофизической обсерватории начала выполняться задача исследования магнитного поля Солнца как звезды. Она стимулировала изучение его активности, измеряя колебания всей атмосферы Солнца на основе эффекта Доплера (в линии FeI  $\lambda 512.37$  нм с нулевым фактором Ланде). Такие наблюдения привели к обнаружению осцилляций Солнца с периодом  $P_0 = 160$  минут (Северный и др., 1976), получившим широкую известность и выполняемым в других обсерваториях. Теперь количество зарегистрированных данных наблюдений достигает примерно 160000.

Изучение пульсаций Солнца привело также к обнаружению новых закономерностей в структурной организации Солнечной планетной системы (Котов и Кучми, 1985). Они принципиально отличаются от известного закона Тициуса-Боде и его многочисленных модификаций (Ньетто, 1976), попытки теоретических обоснований которых не убедительны до сих пор.

Котов и Кучми (1985) показали, что кинематический алгоритм упорядочения планет Солнечной системы определяется “пространственным масштабом”  $L_0 = cP_0 = 19.24$  а. е. (здесь  $c$  – скорость света,  $P_0$  – период 160-минутных пульсаций), который входит в две закономерности. Одна из них соотносит окружности орбит внутренних планет в виде  $2\pi a = L_0/n$ , а другая упорядочивает сечения орбит внешних планет  $2a = nL_0$ , где  $a$  – большая полуось орбиты и  $n$  – малые числа натурального ряда. Расположение внутренних планет (Меркурий, Венера, Земля и Марс) определяется числами  $n = 8, 4, 3, 2$  (для астероидов  $n = 1$ ). Для внешних планет (Сатурн, Уран, Нептун, а также Плутон) этот ряд имеет вид:  $n = 1, 2, 3, 4$ , но для Юпитера –  $n = 1/2$ . Вычисленный “резонанс-спектр”, как наилучшее кратное выборки орбитальных размеров для объектов Солнечной системы (по аналогии со спектром мощности), показал максимальный пик соизмеримости, отвечающий  $L_0$  – масштабу. Статистическая значимость пика достигает  $4\sigma$ , явно указывая на общий “ $L_0$ -резонанс” планет в Солнечной системе (Котов и Ханейчук, 2011). Обе закономерности “ $L_0$ -резонанса” более адекватны строению внутренней и внешней групп планет, нежели закономерность Тициуса-Боде и ее модификации. Но пропуски в ряду целых чисел и их дробность затрудняли понимание природы двух новых закономерностей. Физический механизм архитектуры Солнечной системы как цельного явления не был предложен.

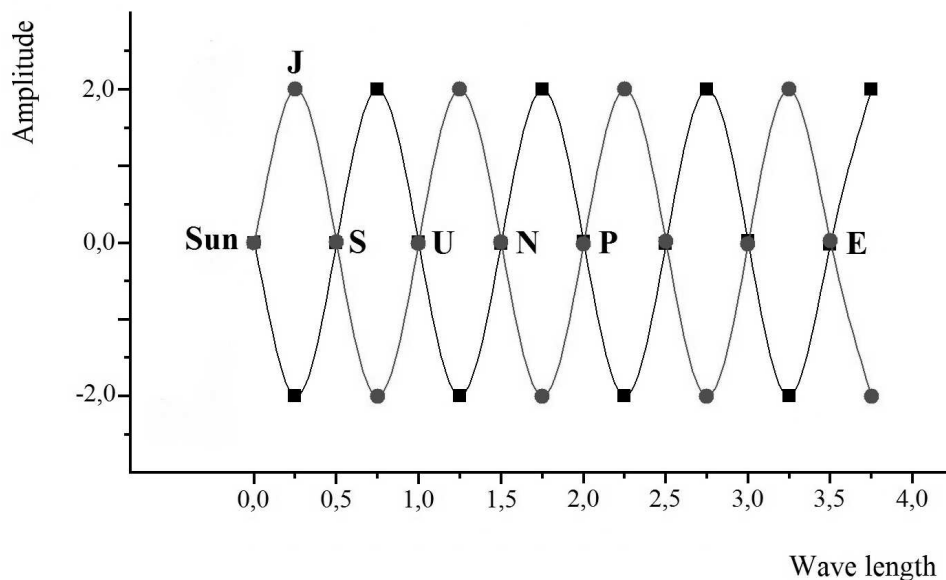
Наш интерес к этой теме инициирован открытием экзопланет и их систем. Строение уже известных экзопланетных систем активизировало (в основном на базе т. н. Nice Model, например, Валш и др. (2011)) исследования сценариев их образования и динамической эволюции. Оказалось, что структура известных 15 планетных систем необычна в сравнении со структурой Солнечной системы (Ловис и др., 2010; Флорес-Гутиеррес и Гарсия-Гуерра, 2011). Например, многие из массивных “горячих Юпитеров” двигаются по сильно вытянутым орбитам вблизи своих звезд, что должно вести к трансформации этих орбит и даже к миграции планет за границы их систем. В некоторых экзопланетных системах наблюдаются законы упорядочения больших полуосей планет, напоминающие закон Тициуса-Боде. Однако пока нет универсального правила упорядочения планет на базе определенного физического механизма.

При современном положении в изучении экзопланетных систем был смысл под иным ракурсом проанализировать необычные закономерности упорядочения планет, задаваемых их “ $L_0$ -резонансом” в Солнечной системе (Скульский, 2011). Оказалось, что обе закономерности “ $L_0$ -резонанса” можно преобразовать в волновую форму записи. Это позволило рассматривать расположение обеих групп планет в структуре Солнечной системы на основе единого волнового механизма.

## 2 Первый волновой алгоритм в структуре Солнечной планетной системы

### 2.1 Внешние планеты

Представим  $L_0$ -масштаб как длину волны  $\lambda = L_0 = c \cdot P_0 = 19.24$  а. е., которая распространяется в пространстве Солнечной системы. Закономерность “ $L_0$ -резонанса”  $2a = nL_0$ , упорядочивающую внешние планеты, трансформируем к такой волновой форме:  $a = n\lambda/2$ . Тогда Юпитер располагается на расстоянии  $\lambda/4$  от Солнца, а остальные внешние планеты на расстояниях, кратных  $n\lambda/2$ , где  $n = 1, 2, 3$  (Сатурн –  $\lambda/2$ , Уран –  $2\lambda/2$ , Нептун –  $3\lambda/2$ ). Расстояния известных карликовых планет таковы: Плутон –  $4\lambda/2$ , Эрида –  $7\lambda/2$ . Такое эмпирическое распределение внешних планет от Солнца напоминает по форме алгоритм, родственному явлению стоячих волн с длиной  $\lambda_{SW} = \lambda/2$ , производной от  $\lambda$  – длины волны  $P_0$ -периода пульсаций Солнца. При этом Юпитер размещается в пучности стоячей волны, а другие внешние планеты и карликовые планеты – в узлах стоячей волны. Это схематически представлено на рис. 1, где расстояние внешних планет от Солнца дано в длинах волн  $\lambda$ , чтобы показать на нем и более удаленную Эриду ( $a = 7\lambda_{SW}, n = 7$ ). Численные расчеты приведены в четвертом столбце табл. 1, в которой указаны характеристики объектов Солнечной системы: массы, большие полуоси орбит планет, соотношения этих полуосей с длинами волн и другие параметры, объясняемые в дальнейшем.



**Рис. 1.** Модель схематического расположения внешних планет в координатах “амплитуда стоячей волны” – “длина волны”. Юпитер расположен от Солнца на расстоянии четверти волны  $\lambda/4$ , в пучности стоячей волны. Сатурн, Уран, Нептун и карликовые планеты Плутон и Эрида расположены кратно длине стоячей волны  $n\lambda_{SW} = n\lambda/2$ , в ее узлах ( $n = 1, 2, 3, 4, 7$ )

Отметим прежде всего, что среднее отклонение внешних планет от предсказываемых положений, определяемых уравнениями  $a = n\lambda_{SW}$  (или  $a = n\lambda/4$ ) при соответствующих числах  $n$ , составляет примерно 5 %. Более “разбалансированной” является самая внешняя планета Нептун, что можно бы объяснить ее наибольшей уязвимостью при длительном взаимодействии с различными типами транснептуновых объектов во время эволюции Солнечной системы.

Следует напомнить, что стоячая волна во многих процессах образуется в результате интерференции прямой и отраженной волн при встречном распространении их в пространстве тела. Стоячая

Таблица 1. Характеристики Солнечной планетной системы

Planet	M	a	$a/\lambda/2$	$2\pi a/\lambda/4$	T, min	T, $P_0$	$cT, \lambda/2$
Mercury	0.0553	0.387	0.040	$0.50 - 1/2$	85	0.5	1
Venus	0.8150	0.723	0.076	$0.95 - 1$	90	0.5	1
Earth	1.0000	1.000	0.104	$1.31 - 4/3$	84	0.5	1
Mars	0.1074	1.524	0.158	$1.99 - 2$	100	0.5	1
Asteroids		2.9	0.302	$3.79 - 4$			
Jupiter	317.87	5.203	$0.54 - 1/2$	6.80	172	1	2
Saturn	95.162	9.509	$0.99 - 1$	12.42	236	1.5	3
Uranium	14.538	19.251	$2.00 - 2$	25.14	177	1	2
Neptune	17.141	30.188	$3.13 - 3$	39.43	158	1	2
Pluto	0.0218	39.499	$4.10 - 4$	51.59			
Eris	0.0285	67.668	$7.03 - 7$	88.39			
Sun					167	1	2

волна равна  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  – половине длины волны. Линейный размер тела кратен  $\lambda_{SW}/2 = \lambda/4$  – четверти длины волны, и с этой кратностью вдоль тела создаются пучности и узлы колебаний соответственно с двойной амплитудой и амплитудой, равной нулю. Таким образом, упорядочение внешних планет в феномене стоячих волн как в достоверном физическом процессе (Скульский, 2011) послужило стимулом для дальнейшего изучения явления “ $L_0$ -резонанса” в Солнечной системе. Анализируя здесь табличные данные и рассматривая  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  как определенный физический параметр, мы пока не поднимаем вопрос о физической природе волн  $\lambda$  и их интерференции.

## 2.2 Транснептуновые объекты (ТНО)

Так как количество внешних планет ограничено, проанализировано распределение расстояний от Солнца до наиболее крупных ТНО. Эти объекты движутся приблизительно в основной плоскости Солнечной системы. За орбитой Нептуна известно около двух десятков объектов с размерами от 600 км до 2600 км, для которых определены параметры их орбит. Большие полуоси орбит большинства этих ТНО, включая Плутон и Эриду, оказались кратными длине стоячей волны  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  или парному числу четвертей волны  $2n\lambda/4 = n\lambda_{SW}$ , а меньшинства ТНО – кратными непарному числу четвертей волны  $(2n + 1)\lambda/4$ .

Действительно, Плутон, Орк и Оксион расположены от Солнца на расстоянии примерно 39.4 а. е., что соответствует  $4.1\lambda/2$  (их перигелии равны  $3.1\lambda/2$ , а афелии –  $5.1\lambda/2$ ). На рис. 1 они группируются в четвертом узле стоячей волны. В пятом узле находится объект 2002  $AW_{197}$ , большая полуось которого составляет  $4.9\lambda/2$ . В шестом узле на расстоянии 57.5 а. е. или  $6.0\lambda/2$  группируются объекты GK147, SM331, VK305, XR190, YW134. На расстоянии в 67.7 и 67.3 а. е. от Солнца (или в седьмом узле –  $7.0\lambda/2$ ) расположены Эрида и объект 2007  $OR_{10}$ . Непарное число  $\lambda/4$  укладывается, например, в больших полуосях орбит объектов Хаумеа, Квавара, Варуна и 2002  $UX_{25}$ , которые расположены на расстоянии  $4.5\lambda/2$  от Солнца. Объекты 2007  $UK_{126}$  и  $CP_{105}$  находятся на расстояниях соответственно в  $7.5\lambda/2$  и  $8.5\lambda/2$ .

Оказалось, что семейства комет в пространстве Солнечной системы также подчиняются выявленному алгоритму. Исследование афелиев орбит известных комет (Козлов, 2009) выявило три транснептуновые семейства комет на средних расстояниях 56, 86 и 106 а. е. или 6, 9 и 11  $\lambda/2$  от Солнца. Первое семейство планет группируется в шестом узле стоячей волны (на рис. 1 перед Эридой), а два других – в девятом и одиннадцатом узлах. Отклонения расположений рассмотренных ТНО, включая семейства комет, от предсказываемых положений узлов и пучностей стоячей волны укладываются в несколько процентов относительной ошибки. Соответствуя резонансным соотноше-

ниям, упорядоченное расположение этих объектов прослеживается более чем до 100 а. е., примерно до границ наблюдаемой гелиосферы.

### 3 Второй волновой алгоритм в структуре Солнечной планетной системы

#### 3.1 Внутренние планеты

Внутренние от Юпитера планеты (рис. 1) вращаются на расстояниях от Солнца меньших, нежели  $\lambda_{SW}/2 = \lambda/4$ , и не могут подчиняться закономерности  $a = n\lambda/4$  для внешних планет. Однако для внутренних планет существует иная закономерность “ $L_0$ -резонанса” (Котов и Кучми, 1985), которая, записанная в волновой форме, имеет вид:  $2\pi a = \lambda/n$ . Ею упорядочиваются не расстояния внутренних планет к Солнцу, а окружности их орбит. Из пятого столбца табл. 1 видно, что для этих планет отношения  $2\pi a/(\lambda/4)$  кратны длине стоячей волны или длине ее первых гармоник (известно, что длины стоячих волн могут демонстрировать дискретный набор значений). Длина орбиты Марса непосредственно равна длине стоячей волны  $\lambda_{SW} = \lambda/2$ . Длина орбиты Венеры соизмерима с первой гармоникой стоячей волны  $(1/2)(\lambda/2) = \lambda/4$ , длина орбиты Земли – с двумя другими ее гармониками  $(2/3)(\lambda/2)$ , а длина орбиты Меркурия равна третьей гармонике стоячей волны  $(1/4)(\lambda/2)$ . Относительная средняя ошибка отклонений длин орбит четырех планет от предсказываемых этим механизмом составляет около 2 %.

Отметим два интересных резонансных эффекта в структуре внутренних планет. Известно, что за время двух обращений Меркурия вокруг Солнца он трижды вращается вокруг оси. И две длины орбиты Меркурия равны четверти волны  $\lambda/4$ , которая “согласована” с его спин-орбитальным резонансом 3 : 2. В случае Земли длина ее орбиты равна длине двух стоячих волн второй гармоники  $(2/3)\lambda_{SW} = \lambda/3$ , или длина трех обращений Земли по орбите равна длине двух стоячих волн  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  – здесь также наблюдается резонанс 3 : 2.

Соседним парам внутренних планет Солнечной системы присущи явные резонансные соотношения для длин их орбит. Для планет Меркурий – Венера, Венера – Земля и Земля – Марс они соответственно близки к 1 : 2, 3 : 4 и 2 : 3. Это позволяет естественным образом преобразовать закономерность “ $L_0$ -резонанса” к форме записи, соответствующей стоячим волнам. Действительно, число 12, как общий знаменатель этих резонансов, может указывать на дискретный набор “дочерних” стоячих волн  $\lambda'_{SW}$ , укладывающихся в основной стоячей волне  $12\lambda'_{SW} = \lambda_{SW} = \lambda/2$ . Структурная организация внутренних планет описывается тогда уравнением  $2\pi a = m\lambda'_{SW}$ , стандартным для стоячих волн, формирующимся на окружностях (напоминает, например, волновое уравнение для стационарных орбит электрона в атоме водорода). Числа  $m = 3, 6, 8, 12$  определяют длины орбит планет от Меркурия до Марса в соответствующем соотношении “дочерних” стоячих волн (3 : 6 : 8 : 12)  $\lambda'_{SW}$ .

Таким образом, длинам орбит четырех внутренних планет присущ дискретный набор волн, относящийся в механизме стоячих волн как  $(1/4)(\lambda/2) : (1/2)(\lambda/2) : (2/3)(\lambda/2) : (\lambda/2)$ . Преобразуя его к виду  $\lambda/8 : \lambda/4 : \lambda/3 : \lambda/2$  и исследуя уравнение  $2\pi a = m\lambda'_{SW}$ , можно показать, что число внутренних планет в Солнечной системе ограниченное. Это следует из того, что “дочерние” стоячие волны длиной  $\lambda'_{SW}$ , укладывающиеся без остатка на возможных орбитах, определяются ограниченным количеством целых чисел  $m$  или гармоник (отсутствие планеты с числом  $m = 4$  и длиной орбиты, равной  $\lambda/6$ , объясняется невыполнением целочисленных резонансных соотношений между длиной орбиты этой гипотетической планеты и длинами орбит соседних Венеры и Меркурия). Максимально расширенный ряд, выраженный через отношения долей длин волн, мог бы иметь вид:  $\lambda/24 : \lambda/12 : \lambda/8 : \lambda/4 : \lambda/3 : \lambda/2 : \lambda$ . Естественно ожидать существование планеты с длиной орбиты  $2\pi a = \lambda$  (при  $m = 24$ ). Ее отсутствие за Марсом (на месте астероидного пояса) можно объяснять суммарным эффектом: не только гравитационным возмущением Юпитером орбит планетезималей и их “выкачиванием” из астероидного пояса на этапе формирования планеты в газопылевом протодиске, но и отрицательной ролью резонанса 1 : 1 между длиной волны  $\lambda$  и длиной орбиты такой гипотетической планеты. В этом ключе легче объяснить небольшую массу Марса по сравнению с массами Венеры и Земли. Отсутствуют и планеты с минимально возможными длинами

орбит  $\lambda/24$  (при  $m = 1$ ) и  $\lambda/12$  (при  $m = 2$ ). Можно, как уже принято для экзопланетных систем, этот факт объяснять миграцией планет за пределы Солнечной системы, но не исключен захват планетезималей или планет Солнцем на фазе их образования в условиях отрицательного резонанса длин их орбит с длиной “дочерней” стоячей волны. Заметим в связи с этим, что при  $m = 1$  расстояние такой гипотетической планеты с длиной орбиты  $2\pi a = \lambda'_{SW}$  от Солнца составляет 0.127 а. е. На таких расстояниях и вплоть до 0.02 а. е. от звезды в экзопланетных системах наблюдаются и по несколько планет (Ловис и др., 2010; Флорес-Гутиеррес и Гарсия-Гуерра, 2011). В этом смысле Солнечная планетная система, по-видимому, уникальна.

#### 4 Феномен стоячих волн и его связь с резонансом собственных колебаний Солнца и планет

Известна близость поверхностных осцилляций Солнца с периодом  $P_0 = 160$  минут и “глобального” собственного колебания Солнца, равного 167 минутам. Формула, используемая для оценки периода колебаний на внешнем слое звезды массой  $M$  и радиусом  $R$  в поле сил тяжести и внутреннего давления, проста:  $T = 2\pi(R^3/GM)^{1/2}$ , где  $G$  – гравитационная постоянная. Она справедлива для шарообразных объектов со сферически симметричным распределением массы и однородным полем их гравитации. Хотя в ней не учитывается радиальное распределение вещества внутри реальных объектов, но в связи с обнаружением феномена стоячих волн, мы посчитали периоды таких колебаний для всех планет Солнечной системы, что отображено в 6–8 столбцах табл. 1.

Видим, что период собственных колебаний для Солнца составляет  $T = 167.3$  минут, для внутренних планет от Меркурия до Марса такие периоды соответственно равны 85, 90, 84 и 100 минут, а для внешних планет от Юпитера до Нептуна – 172, 236, 177 и 158 минут. Седьмой столбец табл. 1 демонстрирует, что собственные колебания Солнца и всех планет находятся практически в целочисленных соотношениях с периодом  $P_0 = 160$  минут. Удивительно, что эти  $T$ -периоды кратны только  $P_0/2$ ,  $P_0$  и  $3P_0/2$ , а именно, для внутренних планет выполняется соотношение  $T : P_0$ , примерно равное  $0.5 : 1$ , а для внешних планет –  $1 : 1$  (для Сатурна –  $1.5 : 1$ ), отражая с шагом  $P_0/2$  всеобъемлющий резонанс колебаний планет и Солнца. Шаг кратности  $P_0/2$  соответствует длине стоячей волны  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  независимо от физических параметров обоих типов планет и Солнца (помня, что  $c \cdot P_0 = \lambda$ , из восьмого столбца табл. 1 следует, что для всех объектов выполняется аналогичное соотношение  $cT \approx k\lambda/2$ , где  $k = 1, 2, 3$ ). Вся Солнечная планетная система как бы “резонансно настроена” на пульсации с периодом  $P_0 = 160$  минут (со средним отклонением около 5 %), и все планеты откликаются на них. Итак, не только структурная архитектура обоих типов планет, но и их “глобальные” собственные колебания явно соотносятся с длиной стоячей волны  $\lambda_{SW} = \lambda/2$  как со структурным фактором.

#### 5 Выводы

Сформулируем полученные нами результаты.

1) Важнейший результат анализа явления “ $L_0$ -резонанса” состоит в следующем: в основе структурной организации Солнечной планетной системы лежит единый волновой механизм, родственному феномену стоячих волн. Он согласован с пульсациями Солнца с периодом  $P_0 = 160$  минут и явно отражается в двух родственных кинематических алгоритмах расположения обеих групп планет Солнечной системы. В соразмерности с длиной стоячей волны и ее гармониками в первом из них квантуются окружности орбит внутренних планет, а во втором – расстояния до внешних планет и основных транснептуновых объектов, включая семейства отдаленных комет. Достаточно высокая точность согласования эмпирических данных: отклонения позиционных расположений всех основных объектов планетной системы от предсказываемых в механизме стоячих волн укладываются в несколько процентов средней относительной ошибки. Выявленным механизмом можно объяснить

базовые вопросы планетной космогонии: почему орбиты планет практически круговые и компланарные, почему определенным образом упорядочены расстояния планет от Солнца, почему структурное пространство Солнечной системы поделено на две части с двумя группами планет.

2) В результате исследования “ $L_0$ -резонанса” выявлен всеобщий резонанс “глобальных” собственных колебаний Солнца и планет. Фактор стоячей волны, согласованной с “таинственными” пульсациями Солнца с периодом  $P_0 = 160$  минут, четко отражается и в этом резонансе. Таким образом, выявленный резонанс связан единым волновым механизмом со структурной организацией Солнечной планетной системы.

3) Эти результаты подтверждают независимо существование “таинственных” пульсаций Солнца с периодом  $P_0 = 160$  минут. Их, по-видимому, следует также принимать во внимание при изучении вопроса формирования и эволюции не только Солнечной системы, но и экзопланетных систем.

## Приложение 1

### Механизм стоячих волн и сценарий структуризации Солнечной системы

Упорядочение Солнечной планетной системы выглядит эмпирически вполне выполняемым и закономерным в механизме стоячих волн. Исходя из современных представлений, имеет смысл попытаться воспроизвести в нем сценарий формирования Солнечной планетной системы. Следует вначале сделать это без рассмотрения вопроса о физической природе этих волн, но помня, что стоячая волна является результатом интерференции встречных когерентных волн. Здесь возможны два основных варианта: или современный кинематический алгоритм “выработался” постепенно в процессе длительной динамической эволюции планетной системы вплоть до настоящего времени, или он заложен в некоторую начальную эпоху, когда возникли резонансные волновые процессы, сгенерированные пульсациями Солнца. Согласно Молчанову (1969), вероятность случайного образования планетной системы со свойствами Солнечной порядка  $10^{-10} - 10^{-11}$  и обе группы планет Солнечной системы, находясь в орбитальном резонансе, сохранены от “разбаланса” в процессе ее эволюции; поэтому есть смысл обратиться к начальным этапам формирования нашей планетной системы.

Для создания стоячих волн как результата интерференции встречных когерентных волн нужно предположить, что на определенном расстоянии от Солнца находилась отражающая уплотненная кольцеобразная “стенка” протопланетного диска (такие стенки или “гребни” в дисках зарождающихся экзопланетных систем наблюдаются). Подчеркнем, что определяющим фактором при образовании стоячей волны является фактор отражения прямой волны на границе тела с более плотной средой, где образуется узел стоячей волны. Трудно сказать, когда именно возникли 160-минутные колебания Солнца. Но поскольку их частота близка к “глобальной” собственной частоте Солнца, наиболее прогнозируемым результатом видится переменное действие встречных сил тяжести и внутреннего давления в гармоническом режиме. К механизму запуска колебаний Солнца могли иметь отношение и первичное гравитационное сжатие (например, несимметричный коллапс), и возгорание в недрах Солнца термоядерных реакций. Главное предположение состоит в том, что Солнце вошло в определенный колебательный режим (например, автоколебательного характера), и эти колебания могли иметь отношение к созданию волновых подструктур в протопланетном диске.

В упрощенной схеме этот процесс можно представить так. Примем, что протопланетный диск поддавался мощному давлению “молодого” солнечного ветра. Вещество диска приводилось в движение, выметалось и уплотнялось вдоль его распространения. Сначала в ближайших окрестностях Солнца формировалась кольцевая уплотненная подструктура или “гравитационный гребень”. Волны длины  $\lambda$ , возникшие в результате колебательного процесса на Солнце, распространяясь со скоростью света, моделировали движение солнечного ветра. В некоторый момент на определенном расстоянии от Солнца могли возникать условия для отражения прямой волны от уплотненной стенки гравитационного гребня и интерференции прямой и обратной волн с образованием стоячей волны в этом пространстве. Когда гравитационные гребни располагались вблизи узлов стоячей

волны, амплитуда колебаний газопылевых частиц и их турбулентные движения были минимальны, а уплотнения гребней максимальны. В таких квазистабильных гребнях на фиксированных от Солнца расстояниях, задаваемых уравнением  $a = n\lambda/4$ , наиболее интенсивно могли образовываться планетезимали и, в дальнейшем, планеты.

Предположим, что образование планет проходило в два этапа: вначале был сформирован Юпитер, но вскоре в эту же эпоху образовались и другие планеты. Ведь считается, что возмущения (орбитальные резонансы), вызываемые первой сформированной планетой, важны для образования последующих планет в их росте из планетезималей (Ксанфомалити, 2010). Итак, когда давление “молодого” солнечного ветра “сгребло” вещество протопланетного диска до расстояния  $\lambda/4$  от пульсирующего Солнца, создались условия отражения его волн от уплотненного гребня вещества диска. На этом расстоянии изначально могла располагаться основная масса вращающегося протопланетного диска. В этом узле стоячей волны создались условия для эффективного слипания планетезималей с дальнейшим формированием Юпитера. Когда вещество гравитационного гребня Юпитером в основном было захвачено, а пространство на его орбите им “очищено” и стало более прозрачным, началась фаза поочередного образования планет. Она распространилась на оставшуюся внешнюю часть газопылевого диска с постепенно падающей от Солнца плотностью. Теперь условия для образования Сатурна и других планет должны были совпадать с образованием гравитационных гребней в пространстве диска на определенных расстояниях от Солнца, когда создаются условия для отражения прямой волны. Например, Сатурн, сформировавшись из планетезималей, находится в узле первой стоячей волны, Уран – в узле второй, Нептун – в узле третьей. По этой схеме могли образоваться карликовые планеты Плутон, Эрида и другие, наиболее крупные транснептуновые объекты. Этот процесс продолжался до истощения основного вещества протопланетного диска (на расстояниях 86 и 106 а. е. теперь группируются два наиболее отдаленные транснептуновые семейства комет – Козлов, 2009).

В отличие от внешних планет, формирование внутренних планет Солнечной системы в механизме стоячих волн должно было проходить по-иному, так как они вращаются на расстояниях от Солнца, меньших, чем  $\lambda/4$  – рис. 1. По-видимому, они сформировались в основном из пылевого вещества, оставшегося после того, как из внутренней части нашей системы давление солнечного ветра “выгребло” основные газопылевые массы диска (общая масса внутренних планет на два порядка меньше массы Юпитера – табл. 1). Сгущение этого вещества в кольцевые гравитационные гребни, в которых сформировались планетезимали и вскоре внутренние планеты с круговыми орбитами, упорядочивались по правилу соизмеримости между длиной волны  $\lambda$  и длинами орбит внутренних планет. Марс сформировался с длиной орбиты, равной  $\lambda/2$ , как параметром стоячей волны основного тона, а Меркурий, Венера и Земля – с длинами орбит, соизмеримыми с гармониками стоячей волны. Согласно уравнению  $2\pi a = m\lambda'_{SW}$  и выполнению строгих резонансных отношений для длин орбит, до нашего времени “дожили” лишь четыре планеты с соотношением длин орбит  $\lambda/8 : \lambda/4 : \lambda/3 : \lambda/2$ , которое и стабилизирует внутреннюю часть Солнечной системы.

Итак, в основе сценария формирования обеих групп планет Солнечной системы могло лежать волновое явление, родственное явлению стоячих волн. Однако стратификация протопланетного диска с дальнейшим образованием Солнечной системы могла произойти лишь под действием определенного физического механизма генерирования волн с длиной  $\lambda$ .

## Приложение 2

### Замечания о природе механизма генерирования волн с длиной $\lambda = cP_0$

Феномен стоячих волн лежит в основе структуры Солнечной планетной системы. Он воспроизводится в алгоритмах относительного расположения обеих групп планет и в резонансе “глобальных” собственных осцилляций Солнца и планет как в едином физическом процессе. Возникает основной вопрос: какова природа феномена стоячих волн и их отражения в механизме взаимодействия Солнца и планет. Этот вопрос следует решать комплексно с вопросами о природе волны с длиной  $\lambda = cP_0$  и периода  $P_0 = 160$  минут.



Период  $P_0 = 9600.6$  с фотосферы Солнца наблюдался в 1974–1982 гг., а в последующем стал доминировать период 9597.9 с (Котов и Ханейчук, 2011; Котов, 2013). Поскольку период 9600.6 с обнаружен в вариациях активных ядер галактик (Котов, Лютый, 2010), его определили как “когерентное космологическое колебание”. Ему определили и статус одной из космологических констант, используя для выражения физических взаимодействий, задающих структуру Вселенной (Саншес и др., 2011), или уточнения гравитационной постоянной (Котов, 2013). Происхождение периода 9597.9 с считается менее ясным и, по-видимому, является солнечным (Котов, 2013). Эти же авторы придерживаются мнения о том, что пространственный “ $L_0$ -резонанс” Солнечной системы, связанный со шкалой  $L_0 = cP_0 = 19.24$  а. е., имеет космологическое происхождение.

Мы обратили внимание на то, что при преобразовании закономерностей “ $L_0$ -резонанса” к волновой форме записи (длина волны  $\lambda = cP_0$ ), структура Солнечной планетной системы приобретает волновой характер, определяющийся феноменом стоячих волн с длиной  $\lambda/2$ . Эти волны центрированы к Солнцу, поэтому рассматривался некий “усредненный” период  $P_0 = 160$  минут “солнечной” природы. Поскольку волны распространяются со скоростью света, то феномен стоячих волн, отражающийся в алгоритмах упорядочения планет и в резонансе собственных колебаний планет и Солнца, свидетельствует, прежде всего, о гравитационной природе этих волн.

Этот вывод входит в противоречие с возможностью генерации гравитационных волн от сферических объектов в общей теории относительности. Тогда можно бы предположить, что на начальных этапах своего формирования Солнце претерпело несимметричный коллапс и вошло в автоколебательный процесс с периодом  $P_0 = 160$  минут. Со временем эти колебания затухали, но привели к формированию волновой структуры Солнечной планетной системы. Здесь также непонятно, как рассматривать возможность интерференции встречных когерентных гравитационных волн. Правда, существуют и другие трактовки природы гравитации. Например, гравитационное поле может владеть не только тензорной компонентой (как в общей теории относительности), но и скалярной (Соколов, 1992). Скалярная компонента может излучаться при сферично-симметричных пульсациях любого источника гравитации, в том числе и Солнца. Явление волновой структуризации Солнечной системы можно представить как релятивистское запаздывание скалярной части гравитационного поля или возмущений на ньютоновском потенциале. В таком аспекте гипотеза о возможности гравитационных волн (в том числе с длиной 19.24 а. е.) и их взаимодействия между собой и с веществом имеет право на существование. Она требует дальнейшей разработки вопросов теории гравитационного взаимодействия.

Следующий аспект проблемы состоит в том, что волновой механизм структуризации Солнечной системы подтверждает существование пульсаций Солнца с периодом  $P_0 = 160$  минут, в то время как теоретические исследования внутреннего строения Солнца считают существование пульсаций Солнца с этим периодом дискуссионным (например, Аппорчаукс и Палле, 2013). Они свидетельствуют о сильном затухании низкочастотных  $g$ -мод в направлении к поверхности Солнца. Один из возможных вариантов поисков ответа состоит в учете взаимодействия гравитационных и магнитодинамических процессов. Ведь период осцилляций Солнца  $P_0 = 160$  минут обнаружен по методике, в основе которой лежит изучение общего магнитного поля Солнца. Следует предположить модуляцию общего магнитного поля низкочастотными  $g$ -модами с выносом их на поверхность вместе с магнитным полем. Тогда, возможно, удастся заметить и переменность периода  $P_0 = 160$  минут во времени, в частности, с 22-летним циклом и с переменной конфигурацией планет.

Подытоживая, можем сказать, что проблема природы осцилляций Солнца с периодом  $P_0 = 160$  минут и механизма генерирования волн с длиной  $\lambda = cP_0$ , породившей феномен стоячих волн в структуре Солнечной планетной системы, остается и далее невыясненной однозначно. Она затрагивает фундаментальные вопросы образования и эволюции Солнечной и экзопланетных систем. Эмпирические данные свидетельствуют о том, что глобальные пульсации Солнца, независимо от причины и времени их возникновения, по-видимому, синхронизировали и сохраняли волновую структуру планетной системы в процессе ее эволюции вплоть до настоящего времени.

## Литература

- Аппорчаукс и Палле (Appourchaux T. and Palle P.L.) // ar Xiv:1309.3835v2 [astro-ph.SR] 19 Sep. 2013.
- Валш и др. (Walsh K.J., Morbidelli A., Raymond S.N., et al.) // Nature. 2011. V. 475. P. 206.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2013. Т. 109. С. 263.
- Котов В.А., Кучми С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 72. С. 199.
- Котов В.А., Лютый В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2010. Т. 106. № 1. С. 187.
- Котов В.А., Ханейчук В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2011. Т. 107. С. 99.
- Козлов (Kozlov V.A.) // Astron. School's Report. 2009. V. 6. P. 163.
- Ксанфомалити Л.В. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2010. Т. 26. № 4. С. 84.
- Ловис и др. (Lovis C., Segransan D., Mayor M., et al.) // Astron. Astrophys. Man. 2010. N HD10180.
- Молчанов (Molchanov A.M.) // Icarus. 1969. V. 11. P. 95.
- Ньето М.М. // Закон Тициуса-Бодде. М.: Мир. 1976.
- Саншес и др. (Sanchez F.M., Kotov V.A., Bizouard C.) // J. Cosmology. 2011. V. 17. P. 7225.
- Северный и др. (Severny A., Kotov V., Tsap T.) // Nature. 1976. V. 259. P. 87.
- Скульский (Skulsky M.Yu.) // Astron. School's Report. 2011. V. 7. P. 28.
- Соколов (Sokolov V.V.) // Astrophys. Space Sci. 1992. V. 191. P. 231.
- Флорес-Гутиеррез и Гарсия-Гуерра (Flores-Gutierrez J.D., Garsia-Guerra C.) // Rev. Mex. Astron. Astrophys. 2011. V. 47. P. 173.