

АСТРОНОМИЯ

УДК 531.31+523.25+523.47

**О ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛАНЕТ  
В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ**

Е. В. Павлова

(кафедра физики атмосферы и математической геофизики)

Проводится сравнительный анализ закономерности в расположении планет Солнечной системы и спутников Юпитера. Предположено существование характерных временного и пространственного масштабов, определяемых фундаментальными константами.

Регулярное расположение планет Солнечной системы было подмечено давно (см., напр., [1, 2]).

Еще в 1766 г. Титциус предложил эмпирическое правило, согласно которому среднее расстояние планеты от Солнца (длина большой полуоси орбиты) приближенно описывается формулой

$$a_n = 0,4 + 0,3 \cdot 2^{n-2}. \tag{1}$$

Здесь  $a_n$  измеряется в астрономических единицах (а. е.),  $n$  — целое число.

Это правило называется законом Титциуса—Боде. Оно сыграло определенную роль в открытии Урана и пояса астероидов, которые находятся на расстоянии  $a_5 = 2,8$  а. е. от Солнца, где согласно (1) должна была бы находиться планета.

Несмотря на широкую известность правила Титциуса—Боде, его физическое содержание не выяснено до сих пор. Существует обширная библиография, посвященная интерпретации указанной закономерности. Упомянем в этой связи работы [3—8], где также приведена подробная библиография. Тем не менее вопрос по-прежнему остается открытым.

Планета	Масса	Момент количества движения	Период обращения
Меркурий	0,055	0,03	0,241
Венера	0,815	0,69	0,616
Земля	1,00	1,00	1,00
Марс	0,107	0,13	1,881
Юпитер	317,82	725,0	11,86
Сатурн	95,28	294,0	29,46
Уран	14,56	64,0	84,01
Нептун	17,28	95,0	164,8
Плутон	0,0017	0,21	247,7

Цель настоящего сообщения — рассмотреть имеющую место закономерность в расположении планет Солнечной системы с несколько иной позиции.

Суть этого подхода заключается в следующем.

Если сопоставить важнейшие физические характеристики планет, их массу и момент количества движения (таблица) [1], то нетрудно убедиться, что практически вся масса и весь орбитальный момент планет Солнечной системы сосредоточены в четырех планетах-гигантах. Суммарные же характеристики планет земной группы пренебрежимо малы. Другими словами, с точки зрения внешнего наблюдателя, именно для этих гигантов, которые являются по существу типичными представителями Солнечной системы, должна соблюдаться закономерность расположения, если она имеет место.

Для того чтобы убедиться в существовании такой закономерности, поступим следующим образом.

Все планеты земной группы объединим в одну группу и присвоим ей порядковый номер  $n=1$ , Юпитеру присвоим индекс  $n=2$ , Сатурну —  $n=3$  и т. д.

Представленная на рисунке зависимость периода обращения планеты от ее порядкового индекса  $n$  достаточно красноречива. Эта зависимость описывается выражением

$$T_n^{1/3} = bn, \tag{2}$$

где  $n$  — целое число. Здесь  $T_n$  — измеренный в годах период обращения планеты, которая имеет порядковый индекс  $n$ ,  $b$  — безразмерная константа.

Нетрудно также убедиться, что будет справедливым и соотношение

$$a_n^{1/2} = bn, \quad (3)$$

где  $a_n$  — длина большой полуоси орбиты планеты,  $b$  — та же константа, что и в (2). Формула (3) вытекает из (2) и третьего закона Кеплера.

Обратим внимание на то, что соотношения (2) и (3) указывают на «квантованность» момента количества движения планет. Действительно, для удельного момента количества движения  $\tilde{L}_n$  имеем  $\tilde{L}_n = L_n/M_n$ , где  $L_n$  — орбитальный момент количества движения планеты с индексом  $n$ , масса которой  $M_n$ . Принимая во внимание тот факт, что для планет Солнечной системы эксцентриситет их орбит мал [1, 2], получаем оценку, следующую из (2), (3):

$$\tilde{L}_n = \frac{L_n}{M_n} \simeq \frac{M_n v_n a_n}{M_n} \sim \frac{a_n^2}{T_n} = bn. \quad (4)$$

Здесь  $v_n$  — орбитальная скорость  $n$ -й планеты.

Полученные зависимости (2)–(4) справедливы не только для планет, вращающихся вокруг Солнца как центрального притягивающего тела. Уже поверхностный анализ показывает, что указанная закономерность соблюдается и для следующего по величине представителя Солнечной системы — Юпитера с его спутниками.

Как известно, у Юпитера пять больших спутников, массы которых велики (сравнимы, например, с массой Луны или Марса). Четыре открыты еще Галилеем. Самый ближний к поверхности Юпитера — Амальтея — был обнаружен позже. Остальные спутники — это, по-видимому, захваченные астероиды, появившиеся у Юпитера сравнительно недавно, на значительно более поздних этапах существования Солнечной системы [1, 2, 9].

Зависимость периода обращения спутников Юпитера от перечисляющего их индекса  $n$  в логарифмическом масштабе может быть представлена прямой, имеющей тот же наклон, что и для планет Солнечной системы, в том случае, если Амальтею присваивается индекс  $n=2$  (рисунок).

Наличие вакансии с  $n=1$  позволяет предположить, что в недавнем прошлом Юпитер имел спутник, упавший к настоящему моменту. В пользу этого предположения, возможно, свидетельствует наличие Большого Красного Пятна как проявления столба Тейлора [7].

Масса Юпитера приблизительно на три порядка меньше массы Солнца, поэтому периоды обращения его спутников расположены на зависимости  $T_n'$ , проходящей на рисунке ниже зависимости  $T_n$  для Солнца. Это обстоятельство наводит на мысль о существовании характерных временного  $T_*$  и пространственного  $R_*$  масштабов, значения которых определяются фундаментальными константами

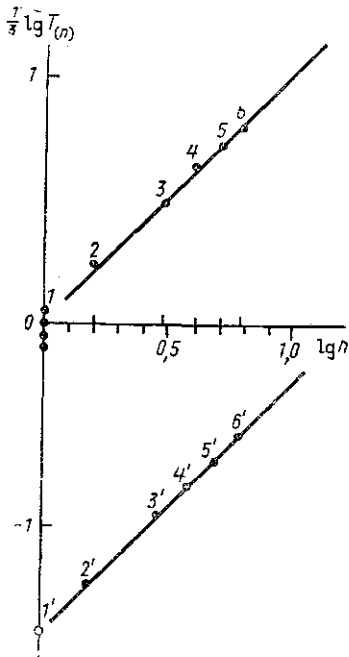
$$T_* = 2\pi \frac{\gamma m}{c^3} \left( \frac{M}{m} \right)^{s_1}; \quad R_* = \frac{\gamma m}{c^2} \left( \frac{M}{m} \right)^{s_2}. \quad (5)$$

Здесь  $\gamma$  — гравитационная постоянная,  $M$  — масса притягивающего тела,  $c$  — скорость света,  $m$  — фундаментальная масса. Вопрос о фундаментальной массе обсудим ниже. Для того чтобы формулы (5) не противоречили законам Кеплера, необходимо, чтобы показатели степени  $s_1$  и  $s_2$  удовлетворяли условию

$$2s_1 - 3s_2 = -1 \quad (6)$$

или

$$s_1 = 1 + \varepsilon/2; \quad s_2 = 1 + \varepsilon/3. \quad (7)$$



Зависимость периода обращения  $T_n$  планет и спутников Юпитера от порядкового номера  $n$ : 1 — планеты земной группы, 2 — Юпитер, 3 — Сатурн, 4 — Уран, 5 — Нептун, 6 — Плутон, 2' — Амальтея, 3' — Ио, 4' — Европа, 5' — Ганимед, 6' — Каллисто

Нетрудно убедиться, что из соотношения

$$\frac{1}{3} \lg T_n = \frac{1}{3} \lg T_* + \lg n, \quad (8)$$

следующего из (2) и (5), можно оценить величину показателя  $\varepsilon$ :

$$\frac{1}{3} \lg T_n^{\text{Sun}} - \frac{1}{3} \lg T_n^{\text{Jup}} = \frac{s_1}{3} \lg \{M^{\text{Sun}}/M^{\text{Jup}}\}. \quad (9)$$

Из рисунка следует, что левая часть равенства имеет значение  $\sim 1,3$ . Принимая во внимание оценку  $M^{\text{Sun}}/M^{\text{Jup}} \sim 10^3$  [1], получаем, что  $s_1 \approx 1,3$  ( $\varepsilon \approx 0,6-0,7$ ).

Теперь можно поставить вопрос о фундаментальной массе  $m$ . Используя  $M^{\text{Sun}} \approx 2 \cdot 10^{33}$  г,  $r_g = \gamma M^{\text{Sun}}/c^2 \approx 1,49 \cdot 10^5$  см,  $t_g = 2\pi r_g/c \approx \pi \cdot 10^{-5}$  с, 1 год  $\sim \pi \cdot 10^{12}$  с, из выражения (5) получаем оценку

$$\pi \cdot 10^{12} \approx \pi \cdot 10^{-5} \left( \frac{2 \cdot 10^{33}}{m} \right)^{s_1-1}, \quad (10)$$

т. е.

$$m \approx 2 \cdot 10^{33-34/\varepsilon} \text{ г}. \quad (11)$$

Если  $\varepsilon \approx 0,6$ , то  $m \approx 2 \cdot 10^{-24}$  г по порядку величины сравнима с массой протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-24}$  г.

Полученный результат показывает, что отмеченная в данной работе закономерность порядка, возможно [10], имеет значительно более глубокий смысл, чем это представляется на первый взгляд.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Физика космоса: Маленькая энциклопедия / Гл. ред. Р. А. Сюняев. М., 1986. С. 50. [2] Гуди Р., Уолкер Дж. Солнечная система. М., 1978. [3] Convey B. A., Elsner T. J. // Long-Term Dynamical Behaviour of Natural and Artificial N-Body Systems. L., 1989. P. 3. [4] Convey B. A., Zelenka R. E. // Ibid. P. 13. [5] Rawal J. J. // J. Astrophys. Astron. 1989, 10, N 3. P. 257. [6] Чечельницкий А. М. // ДАН СССР. 1988. 303, № 5. С. 1082. [7] Голицын Г. С. Введение в динамику планетных атмосфер. Л., 1974. [8] Wells D. R. // IEEE Trans. Plasma Sci. 1990, 18, N. 1. P. 73. [9] Patton J. M. // Celest. Mech. 1989. 44, N 4. P. 365 [10] Окунь Л. Б. // УФН. 1991. 161, № 9. С. 177.

Поступила в редакцию  
12.03.91

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1992. Т. 33, № 2

## ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 539.213

### КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МИКРОСТРУКТУРЫ В СПЛАВАХ Al—Mn

В. С. Степанюк, Г. М. Калибаева, А. А. Кацнельсон

(кафедра физики твердого тела)

Методом молекулярной динамики были смоделированы сплавы Al—Mn при концентрациях Mn 14%, 18, 22,5 и 25%. Установлено, что микроструктура данных сплавов при разных концентрациях Mn существенно отличается, причем в структуре всех сплавов присутствует большой процент икосаэдрических микрокластеров, а при концентрации 22,5% наблюдается максимум икосаэдроподобных структур.

Квазикристаллическое состояние характеризуется дальним ориентационным упорядочением икосаэдров [1, 2]. В ряде исследований [3—6], выполненных в рамках феноменологического подхода теории фазовых переходов Ландау, было показано, что