

Гравитационно-эволюционные эффекты в Солнечной системе из анализа позиционных наблюдений

Г.А. Красинский

March 19, 2007

Содержание

1. Влияние новых технологий на точность планетных и лунных наблюдений
2. Прогресс в моделировании движения планет и Луны
3. Вековое уменьшение Астрономической Единицы AU: наблюдаемые эффекты
4. Независимость движения планет от расширения Вселенной, теоретический анализ
5. Приливная эволюция системы Земля-Луна

ОБРАЗЕЦ ЛУННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (LLR)

Календарная дата	Дальность в см	Отражатель	Станция
20031215.0702322	38147052672 (6)	Apollo-15	CERGA
20031216.0131356	37886667018 (4)	Apollo-15	CERGA
20031216.0144235	37862667457 (5)	Apollo-15	CERGA
20031216.0156556	37839964642 (5)	Apollo-15	CERGA
20031217.0245037	37329105927 (4)	Apollo-15	CERGA
20031217.0257094	37304207458 (1)	Apollo-11	CERGA
20031217.0312211	37258585910 (3)	Apollo-14	CERGA
20031217.0326371	37259571029 (4)	Apollo-15	CERGA
20031217.0338561	37270004453 (3)	Lunachod-4	CERGA
20031217.0352034	37222474345 (5)	Apollo-15	CERGA
20031217.0406278	37203474461 (5)	Apollo-15	CERGA
20031217.0537018	37120573491 (5)	Apollo-15	CERGA
20031217.0547424	37112362789 (4)	Apollo-11	CERGA
20031217.0558101	37110816134 (5)	Apollo-15	CERGA
20031217.0612014	37106441878 (3)	Apollo-15	CERGA
20031219.1235066	36067341963 (2)	Apollo-15	ML2
20031219.1249542	36042645769 (4)	Apollo-15	ML2
20031219.1342589	35968786068 (6)	Apollo-15	ML2
20031220.1333487	35694614758 (3)	Apollo-15	ML2

**ОБРАЗЕЦ ИЗМЕРЕНИЙ ДАЛЬНОСТИ МАРСИАНСКОГО
ОРБИТЕРА MGS**

Календарная дата Дальность в м

20030101.1456530	306137519099 (2)
20030101.1654310	306037000624 (2)
20030101.1852110	305936418045 (2)
20030102.0639120	305331307213 (2)
20030102.0836550	305230434024 (2)
20030102.1231110	305029583025 (2)
20030102.1827130	304724069208 (2)
20030102.2022590	304624660752 (2)
20030102.2210030	304532693119 (2)
20030103.0611270	304118829526 (2)
20030103.1007020	303916087255 (2)
20030103.1204460	303814715037 (2)
20030103.1354020	303720602402 (2)
20030103.1550300	303620256075 (2)
20030103.1757360	303510710300 (2)

**ОБРАБОТКА ДАЛЬНОМЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПЛАНЕТ:
СТАТИСТИКА ОСТАТОЧНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ**

Наблюдения	Даты	N	WRMS (m) DE405	WRMS (m) EPM
Oddyseys	2003	313	2.3	2.4
Oddyseys	2002	775	1.7	1.8
MGS	2003	410	2.4	2.4
MGS	2002	720	1.7	1.7
MGS	2001	1024	1.0	1.0
MGS	2000	188	1.7	1.7
Viking 1	1976-1982	1178	9.3	9.7
Viking 2	1976-1977	80	5.5	5.4
Pathfinder	1997	90	2.7	3.1
Mariner 9	1971-1973	644	43.5	42.9
Mars ranging	1965-1995	403	729.0	743.1
Venus ranging	1961-1995	1355	637.7	647.1
Mercury ranging	1969-1997	706	1345.1	1344.7
Viking dif.	1976-1078	15030	0.035	0.035
Pathfinder dif,	1997	7613	0.003	0.003

ОЦЕНКИ ВЕКОВОГО УМЕНЬШЕНИЯ AU

$\frac{d}{dt}AU$ (m/су)	Версия	Интервал
21.5 ± 0.6	Все наблюдения ⁽¹⁾	1961-2003
9.7 ± 0.2	Все наблюдения ⁽²⁾	1961-2003
7.9 ± 0.2	Все наблюдения ⁽³⁾	1961-2003
9.7 ± 0.3	Ландеры + орбитеры ⁽³⁾	1971-2003
14.4 ± 1.2	Локация + орбитеры ⁽³⁾	1961-2003
61.0 ± 6.0	Локация + ландеры	1961-1997
21.3 ± 5.6	Ландеры	1971-1997

(1) С оцениванием параметров короны, масс Венеры, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна. (2) Без оценивания параметров короны. (3) Без оценивания масс больших планет и параметров короны.

$$\frac{d}{dt}AU = 15 \pm 3 \text{ m/су.}$$

ОЦЕНИВАЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

(ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО = 82)

- три элемента земной орбиты (большая полуось, эксцентриситет и долгота перигелия); фиксируются остальные три элемента, определяющие ориентацию планетных орбит относительно инерциальной системы,
- $6 \times 4 = 24$ орбитальных элементов Меркурия, Венеры и Марса,
- $3 \times 3 = 9$ ареоцентрических координат трех марсианских ландеров (Viking 1, Viking 2, and Pathfinder),
- три угла Эйлера экватора Марса относительно его орбиты и три вековых трендов в этих углах (6 параметров),
- сезонные вариации угла вращения Марса (4 гармоники, 8 параметров),
- массы пяти крупнейших астероидов (5 параметров),
- массы Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, и остаточной части кольца астероидов (6 параметров),
- отношение масс Луны и Земли,
- средние радиусы Меркурия, Венеры и Марса для локационных измерений планет, (3 параметра),
- параметры Солнечной короны для наблюдений марсианских орбитеров (один или два параметра для каждого верхнего соединения),
- плотности астероидов классов C и S (2 параметра),
- коэффициент J_2 потенциала Солнца ,
- Астрономическая Единица AU в метрах,
- вековой тренд в AU,
- квадратический член в шкале времени наблюдателя.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ КОСМОЛОГИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ БЫСЕЛЕННОЙ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

1. Метрика Фрийдмана открытой расширяющейся Вселенной

$$ds^2 = A (c^2 dt^2 - dr^2),$$

$$A = \left(1 - \frac{q}{S}\right)^4, \quad S = \sqrt{c^2 t^2 - r^2},$$

c - скорость света, $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$, $dr^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$, q : параметр метрики.

Если H_0 : постоянная Хаббла для современной эпохи $t = t_0$, то имеют место соотношения:

$$H_0 = \frac{c}{S_0 A_0^{3/4}} \left(1 + \frac{q}{S_0}\right), \quad S_0 = ct_0,$$
$$A_0 = \left(1 - \frac{q}{S_0}\right)^4, \quad \rho_0 = \frac{3q}{2\pi G S_0^3 A_0^{3/2}}$$

ρ_0 : средняя плотность на современную эпоху, G гравитационная постоянная.

Два свободных параметра метрики:

t_0 : возраст Вселенной,

ρ_0 : плотность материи на современную эпоху.

2. Метрика Шварцшильда:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2m}{r}\right) c^2 dt^2 - \left(1 + \frac{2m}{r}\right) dr^2,$$

где $m = \frac{GM}{r}$.

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТЫ В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ

Метрика Шварцшильда на фоне метрики Фридмана

$$ds^2 = \left(A - \frac{2m}{r}\sqrt{A} \right) c^2 dt^2 - \left(A + \frac{2m}{r}\sqrt{A} \right) dr^2.$$

Уравнения движения пробной частицы (планеты)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dp} \left(\frac{\partial L}{\partial \bar{r}_p} \right) - \frac{\partial L}{\partial \bar{r}} &= 0, \\ \frac{d}{dp} \left(\frac{\partial L}{\partial t_p} \right) - \frac{\partial L}{\partial t_p} &= 0, \end{aligned}$$

$$L = \left(A - \sqrt{A} \frac{2m}{rc^2} \right) t_p^2 - A \frac{|\bar{r}_p|^2}{c^2}.$$

p : собственное время, t_p : производная от координатного времени по собственному времени.

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ
В ШКАЛЕ КООРДИНАТНОГО ВРЕМЕНИ**

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\frac{GM}{r^3} \left(1 - 2\frac{t-t_0}{T}\right) \mathbf{r} - \frac{2}{T} \dot{\mathbf{r}},$$

$$T = \frac{S_0}{c} \left(\frac{S_0}{q} - 1\right)$$

Решение дифференциальных уравнений движения:

$$r = a \left(1 - 2\frac{t-t_0}{T}\right), \quad \lambda = \lambda_0 + n(t-t_0) \left(1 + \frac{t-t_0}{T}\right).$$

Вековое уменьшение AU (космическое торможение):

$$\frac{dAU}{AU} = -2\frac{t-t_0}{T}.$$

**ЭФФЕКТ ЭЙНШТЕЙНА В РАСПРОСТРАНЕНИИ СВЕТА
В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ**

”Эффект Эйнштейна” (изменение хода часов при изменении гравитационного поля) для случая расширяющейся вселенной ведет к замедлению хода часов и увеличению полетного времени при локации.

$$dt_{obs} = dt \left(1 + 2\frac{t-t_0}{T}\right).$$

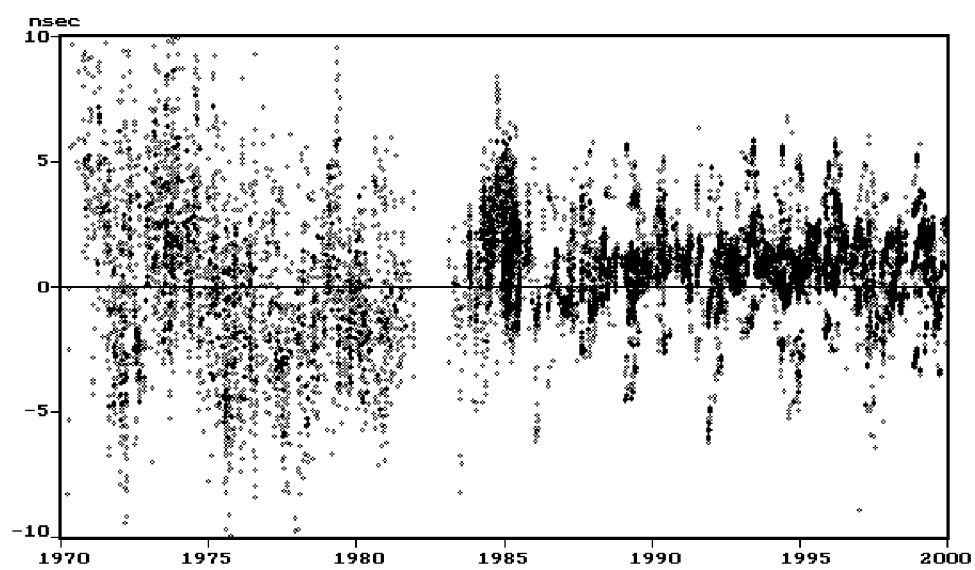
Динамический эффект космического торможения полностью компенсируется учетом эффекта Эйнштейна в распространении света. Следовательно

РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ НЕ ВЫЗЫВАЕТ НИКАКИХ НАБЛЮДАЕМЫХ ЭФФЕКТОВ В ДВИЖЕНИИ ПЛАНЕТ !

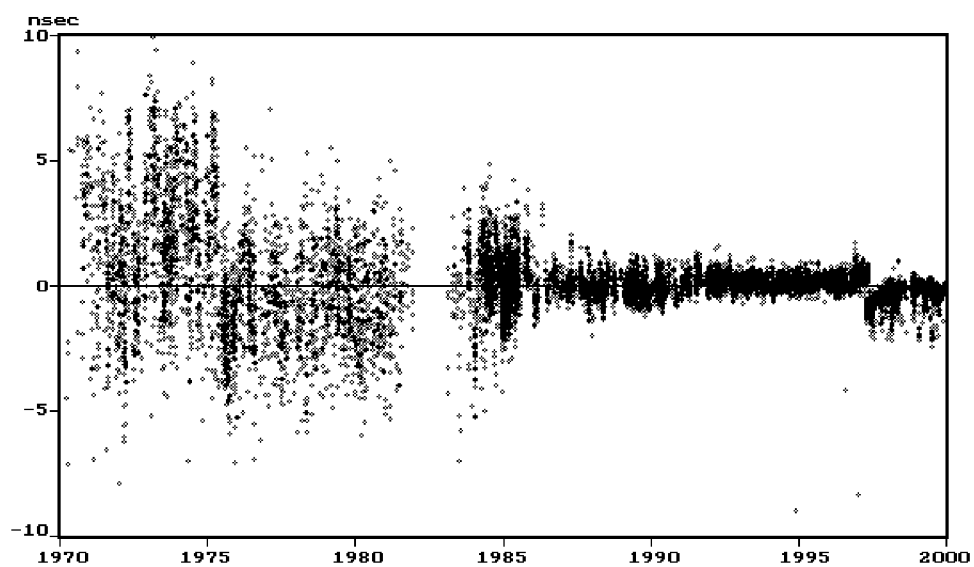
Однако:

ИМЕЮТСЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ВЕКОВОГО УМЕНЬШЕНИЯ СКОРОСТИ СВЕТА ?

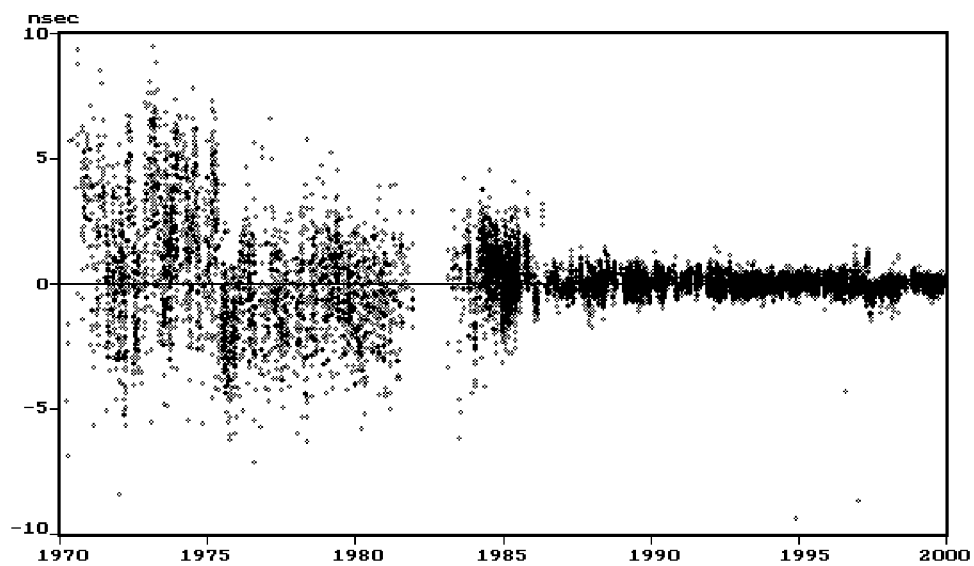
LLR НЕВЯЗКИ (ИСХОДНАЯ ЭФЕМЕРИДА DE405)



LLR НЕВЯЗКИ (ЭФЕМЕРИДЫ ЕРМ, РЕШЕНИЕ 1)



LLR НЕВЯЗКИ (ЭФЕМЕРИДЫ ЕРМ, РЕШЕНИЕ 2)



**СКАЧОК В КООРДИНАТАХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ (МЕТРЫ)
МАРТ 1998**

D_x	D_y	D_z	
-0.171 ± 0.054	0.066 ± 0.083	-0.308 ± 0.077	Apollo 11
-0.192 ± 0.053	0.110 ± 0.104	-0.021 ± 0.096	Apollo 14
-0.090 ± 0.081	0.237 ± 0.086	-0.604 ± 0.256	Lunachod 4
-0.117 ± 0.049	0.270 ± 0.035	-0.240 ± 0.027	Apollo 15

ОЦЕНКА ФАЗОВОГО ЛАГА δ ЗЕМНЫХ ПРИЛИВОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ЭВОЛЮЦИЮ ЛУННОЙ ОРБИТЫ И ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ:

$$\delta = 2.5968 \pm 0.0009 \text{ deg}$$

СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ Q :

$$Q = 11.032 \pm 0.004$$

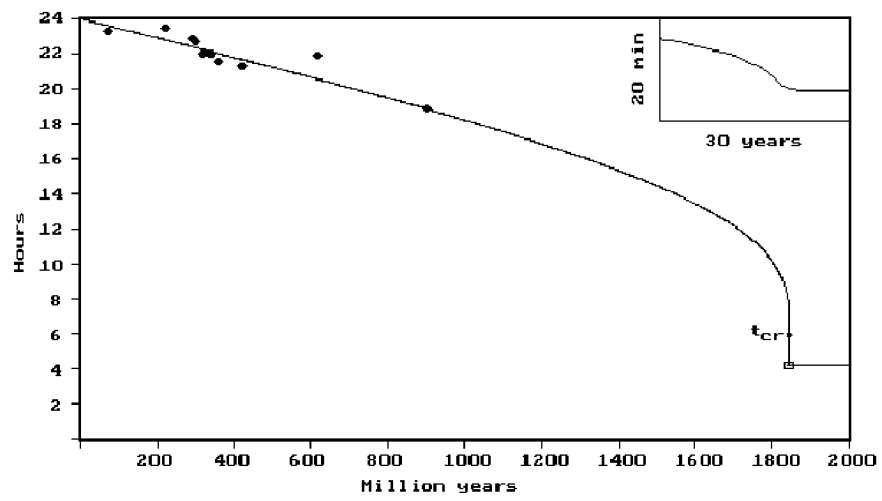
СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ВЕКОВОГО ЗАМЕДЛЕНИЯ ОРБИТАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ ЛУНЫ:

$$\dot{n} \approx -25''/cy^2$$

СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ УДАЛЕНИЯ ЛУНЫ

$$\dot{a} = 3.7 \text{ см/год}$$

ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУТОК
(В ЧАСАХ)



ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕСЯЦА (В ТЕКУЩИХ СУТКАХ)

