

УДК 523.33

## Некоторые результаты сравнения теорий движения Луны Брауна — Эккерта ( $j = 2$ ) и LE200

Р. Л. Семеренко

Показано систематическое различие теорий движения Луны на семилетнем интервале, достигающее  $0.63''$  для прямого восхождения. Обнаружены периодические зависимости разностей  $\delta_{j=2} - \delta_{LE200}$  от среднего аргумента широты Луны  $F = g + \omega$  и  $\alpha_{j=2} - \alpha_{LE200}$  от средней аномалии Солнца  $g'$ .

*SOME RESULTS OF COMPARISON OF THE BROWN-ECKERT ( $j=2$ ) AND LE200 MOON MOTION THEORIES, by Semerenko R. L.*—The systematic difference of two theories of the Moon motion is obtained for seven-year interval reaching 0.63 in the right ascension. The periodic dependences of the differences  $\delta_{j=2} - \delta_{LE200}$  on the mean argument of the lunar latitude  $F = g + \omega$  and on the mean anomaly of the Sun  $g'$  are found.

При обработке фотографических наблюдений Луны на фоне звезд, ведущихся в ГАО АН УССР с 1978 г. на длиннофокусном астрографе Тепфера ( $F = 5.5$  м,  $D = 0.4$  м), используется теория движения Луны

Разности экваториальных координат Луны  $\alpha$  и  $\delta$  по данным теорий ( $j=2$ ) и LE200

Номер серии	Дата	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
		$(j=2) - LE200$			
1	1978.4716	0.52''	-0.10''	0.02''	-0.02''
2	1978.5454	0.56	0.02	0.02	-0.08
3	1978.5508	0.60	-0.23	0.06	-0.04
4	1978.7041	0.69	-0.30	0.02	-0.03
5	1978.7153	0.88	-0.26	0.20	0.04
6	1979.1121	0.57	0.24	-0.10	0.00
7	1979.1148	0.62	0.29	-0.05	0.01
8	1979.7671	0.79	-0.18	0.07	-0.03
9	1979.7695	0.75	-0.11	0.03	-0.03
10	1979.8374	0.78	-0.30	-0.01	-0.02
11	1979.9166	0.79	-0.23	0.02	-0.04
12	1979.9875	0.73	-0.27	-0.02	-0.01
13	1980.0932	0.68	0.26	-0.01	-0.06
14	1980.4048	0.58	0.26	0.09	0.15
15	1980.4216	0.41	-0.16	-0.08	0.12
16	1980.5804	0.64	-0.26	0.08	0.05
17	1980.7335	0.65	-0.23	-0.04	0.03
18	1980.9658	0.65	-0.10	-0.11	-0.04
19	1981.2941	0.57	0.17	0.05	0.02
20	1981.3764	0.51	0.07	0.02	0.12
21	1981.6172	0.56	-0.22	-0.04	0.10
22	1981.7872	0.68	0.02	-0.05	-0.06
23	1982.1130	0.61	0.10	-0.06	-0.07
24	1982.1395	0.54	0.09	-0.06	-0.03
25	1982.4222	0.47	0.01	-0.02	0.13
26	1982.5183	0.46	-0.27	-0.06	-0.01
27	1982.5922	0.49	-0.26	-0.08	0.01
28	1982.6685	0.57	-0.25	-0.07	-0.02
29	1983.3145	0.73	-0.01	0.22	0.07
30	1983.8842	0.74	0.38	-0.03	0.09
31	1983.9607	0.87	0.40	0.11	0.09
32	1984.0427	0.70	0.39	-0.02	0.10
33	1984.2840	0.63	0.07	0.10	0.17
Среднее		0.63 (1.17 км)	-0.03 (-0.06 км)	0.01	0.02

Брауна — Эккерта ( $j=2$ ). Положения Луны по этой теории отнесены к системе фундаментального каталога Ньюкома  $N_2$ . Для приведения их к экватору и равноденствию каталога FK4, в системе которого определяются положения звезд, Астрономический ежегодник СССР (АЕ) рекомендует перед интерполированием координат Луны на момент наблюдения вычитать из поправки  $\Delta T$ , связывающей эфемеридное и всемирное время, величину  $1.34^s$ . Для этого можно также воспользоваться рекомендациями работы [3].

Начиная с 1986 г. АЕ дает эфемериду Луны, основанную на новой численной теории ее движения LE200 [7], которая воспроизводит движение Луны вокруг Земли в геоцентрической системе координат с экватором и равноденствием стандартной эпохи  $J 2000.0$ . Кроме того,

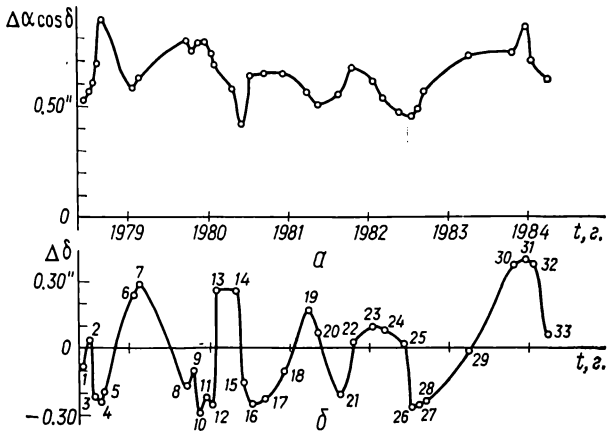


Рис. 1. Зависимость разностей экваториальных координат Луны между теориями ( $j=2$ ) и LE200 от времени: а — по прямому восхождению  $\alpha$ ; б — по склонению  $\delta$

в этой теории используется шкала времени, отнесенная к барицентру Солнечной системы, — барицентрическое динамическое время (TDB), тогда как аргументом эфемериды теории  $j=2$  является эфемеридное время (ЕТ). По физической сущности ЕТ совпадает с земным динамическим временем TDT — аргументом геоцентрических эфемерид Солнца и Луны, откуда следует необходимость преобразования TDT в TDB [1] для обращения к теории LE200.

В настоящее время в ГАО АН УССР для обработки позиционных наблюдений Луны параллельно применяются обе теории ее движения. Некоторое представление о различии теорий можно получить из сравнения соответствующих эфемерид, отнесенных к моментам наблюдений Луны [2]. Результаты сравнения видимых геоцентрических экваториальных координат Луны, отнесенных к системе каталога FK4, приведены в таблице, в которой даны средние разности для нескольких пластинок, полученных за один вечер наблюдений. Разности для параллакса Луны изменяются от  $-0.03''$  до  $+0.02''$  и в среднем равны нулю.

Зависимости  $\Delta\alpha \cos \delta$  и  $\Delta\delta$  от времени  $t$  показаны на рис. 1, а, б. Отмечается систематическое различие теорий по прямому восхождению Луны, составляющее в среднем  $0.63''$ , что соответствует  $1.17$  км на орбите Луны.

Это различие объясняется, по-видимому, несовпадением центра фигуры Луны ( $CF$ ) и центра масс Луны ( $CM$ ), к которым относятся соответственно эфемериды ( $j=2$ ) и эфемериды LE200. По результатам обработки 66 000 наблюдений покрытий звезд Луной [5, 6],  $CF$  Луны находится восточнее  $CM$  на  $0.72$  геоцентрической секунды (или на  $1.34$  км на орбите Луны), что согласуется с постоянным смещением, показанным на графике (рис. 1, а).

По данным других работ получены сходные результаты.

Кроме отмеченного систематического различия двух теорий по прямому восхождению, наблюдается периодичность этих разностей по  $\alpha$  и

б. Разности  $\Delta\alpha \cos \delta$  и  $\Delta\delta$  представим в виде зависимостей от некоторых аргументов теории движения Луны, выбор которых проведем из небесно-механических соображений.

Так, разность  $\Delta\alpha \cos \delta$  представлена в зависимости от средней аномалии Луны ( $g$ ), средней аномалии Солнца ( $g'$ ), а также от аргументов ( $l_{\zeta} - L - \Gamma + \Gamma'$ ) и  $2(l_{\zeta} - L)$ , амплитуды которых имеют наибольшие значения. Здесь  $l_{\zeta}$  — средняя долгота Луны;  $L$  — средняя долгота Солнца;  $\Gamma$  — средняя долгота перигея Солнца;  $\Gamma'$  — средняя долгота перигея

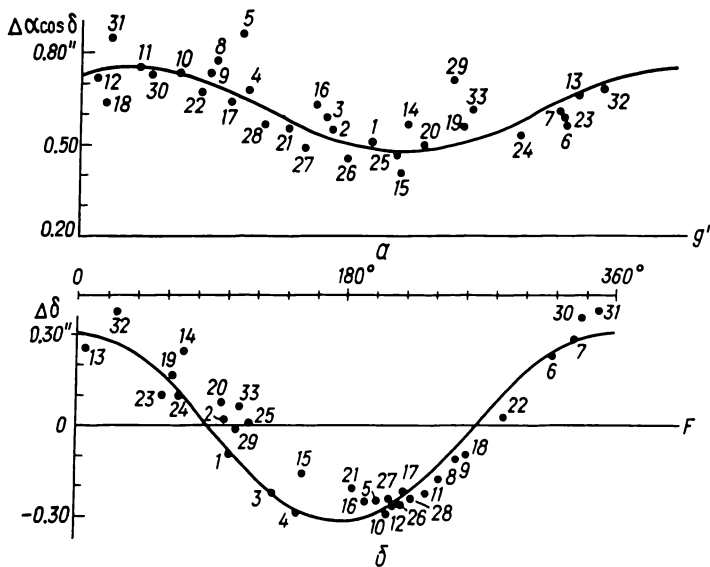


Рис. 2. Зависимость разности  $\Delta\alpha \cos \delta$  от средней аномалии Солнца  $g'$  (а) и разности  $\Delta\delta$  от среднего аргумента широты Луны  $F$  (б)

Луны. Обнаружена зависимость разности по прямому восхождению от средней аномалии Солнца, которая представляется в виде

$$(\Delta\alpha \cos \delta)_i = a \sin(-g'_i + b) + c, \quad (1)$$

где  $i$  — номер серии наблюдений (согласно таблице);  $a$  — амплитуда;  $b$  и  $c$  — смещения по осям абсцисс и ординат соответственно. Из решения системы условных уравнений получаем

$$a = 0.14'' \pm 0.03'', \quad b = 54.0^\circ, \quad c = 0.63'' \pm 0.02''.$$

Зависимость (1) можно окончательно представить в виде

$$(\Delta\alpha \cos \delta)_i = 0.14'' \sin(-g'_i + 54.0^\circ) + 0.63''. \quad (2)$$

График зависимости (2) приведен на рис. 2, а, на котором также показаны значения разностей по отдельным сериям наблюдений. Отклонения ( $\Delta\alpha$ ) этих разностей от кривой (2) приведены в таблице (графа 5).

Разности  $\Delta\delta$  представим в виде зависимости от среднего аргумента широты Луны  $F = l_{\zeta} - \Omega = g + \omega$  ( $\Omega$  — средняя долгота восходящего узла лунной орбиты на эклиптике;  $\omega$  — расстояние перигея Луны от восходящего узла лунной орбиты на эклиптике):

$$\Delta\delta_i = d \sin F_i + e \cos F_i + f, \quad (3)$$

где  $d$ ,  $e$  — амплитуды;  $f$  — смещение по оси ординат. Решая систему условных уравнений, находим

$$d = 0.04'' \pm 0.02''; \quad e = 0.32'' \pm 0.02''; \quad f = 0.02'' \pm 0.01''.$$

Запишем

$$\Delta\delta_i = 0.32'' \sin [g + \omega \pm (\pi/2)]. \quad (4)$$

Эта зависимость показана на рис. 2, б, на котором отмечены также разности по отдельным сериям наблюдений. Отклонения разностей ( $\Delta\delta$ ) от зависимости (4) приведены в таблице (графа б).

Известно, что амплитуда члена ряда с аргументом  $(g+\omega)$  для склонения является наибольшей и отличается более чем на порядок от остальных. Расхождение в амплитуде при  $\sin F$  частично можно объяснить с помощью полуаналитической теории движения Луны ELP2000, а точнее ее версии ELP2000-82 [4]. Эта теория первоначально имела постоянные, совпадающие с постоянными теории ( $j=2$ ). В частности, амплитуда при  $\sin F$  равнялась  $18\,461.40''$ . Впоследствии (при приведении теории ELP2000 к постоянным теории LE200) были определены поправки к их первоначальным значениям. Одна из самых больших ( $-0.16''$ ) поправок — применительно к точности позиционных фотографических наблюдений Луны — введена в амплитуду при  $\sin F$ . Учитывались и другие недостатки теории ( $j=2$ ).

Таким образом, теории движения Луны Брауна — Эккерта ( $j=2$ ) и LE200 обладают существенными систематическими и периодическими различиями для координат  $\alpha$  и  $\delta$ .

Автор выражает признательность сотрудникам ИТА АН СССР М. А. Фурсенко и Н. И. Глебовой, предоставившим эфемеридные положения Луны по теории LE200.

1. *Астрономический ежегодник СССР на 1986 год.*— Л.: Наука, 1984.—691 с.
2. *Василенко Н. А., Кислюк В. С., Семеренко Р. Л.* Ориентировка селенодезической координатной системы по фотографическим наблюдениям Луны на фоне звезд // *Кинематика и физика небес. тел.*—1985.—1, № 6.— С. 72—75.
3. *Ризванов Н. Г.* Влияние поправки равноденствия и экватора на шкалу эфемеридного времени // *Письма в Астрон. журн.*—1978.—4, № 11.— С. 520—522.
4. *Chapront-Touzé M., Chapront J.* The lunar ephemeris ELP2000 // *Astron. and Astrophys.*—1983.—124, N 1.— P. 50—62.
5. *Morrison L. V.* An analysis of lunar occultations in the years 1943—1974 for corrections to the constants in Brown's theory, the right ascension system of the FK4, and Watts' lunar profile datum // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1979.—187, N 1.— P. 41—82.
6. *Morrison L. V., Appleby G. M.* Analysis of lunar occultations.—III. Systematic corrections to Watts' limb-profiles for the Moon // *Ibid.*—1981.—196, N 3.— P. 1013—1020.
7. *Standich E. M.* Planetary and lunar ephemerides // *U. S. Nav. Observ. Circ.*—1981.— N 163.— P. C1—C4.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,  
Киев

Поступила в редакцию 10.01.86,  
после доработки 08.04.86

## РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 524.43—323.2

### ПОЗИЦИОННЫЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ МАРСА и ДЕЙМОСА В ГАО АН УССР В 1980 ГОДУ / Серeda Е. М.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 3583—В86)

Приведены 119 положений Марса и 60 — Деймоса в системе каталога AGK3, полученные на астрографе ГАО АН УССР ( $F=5.5$  м,  $D=40$  см). Блеск планеты ослаблялся нейтральными фильтрами и шестиугольной диафрагмой ( $D=40$  см). Положения Марса даны с учетом поправок за атмосферную дисперсию, наклон фильтра и эффект фазы.