

Представление эфемериды Луны LE-405/406 рядами Пуассона

С.М. Кудрявцев

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ
e-mail: ksm@sai.msu.ru

Общая характеристика

Прилагаемые файлы содержат аналитическое разложение сферических эклиптических координат Луны в ряды Пуассона, полученное с помощью нового метода спектрального анализа (Kudryavtsev 2004) современной долгосрочной численной эфемериды Луны LE-405/406 (Standish 1998). Полный вариант разложения (решение LEA-406a) включает в себя 42270 членов ряда с минимальной амплитудой, равной в линейной мере 1 см, и действителен на интервале времени 1000 лет, 1500 - 2500 гг. Упрощенный вариант разложения (решение LEA-406b) включает в себя 7952 членов ряда с минимальной амплитудой, равной в линейной мере 1 м, и действителен на интервале времени 6000 лет, 3000 г. до н.э. – 3000 г. н.э. На интервале 1500 – 2500 гг. максимальное отклонение между координатами Луны, предоставляемыми полным аналитическим разложением LEA-406a и численной эфемеридой LE-406, составляет: 3.2 м в геоцентрической дальности, 0".0056 в эклиптической долготе и 0".0018 в эклиптической широте. На интервале 3000 г. до н.э. – 3000 г. н.э. максимальное отклонение между координатами Луны, предоставляемыми упрощенным аналитическим разложением LEA-406b и численной эфемеридой LE-406, составляет: 0.20 км в геоцентрической дальности, 0".42 в эклиптической долготе и 0".33 в эклиптической широте.

Форма и аргументы разложения координат Луны

В качестве величин, описывающих положение Луны, используются сферические координаты ее центра: r (геоцентрическая дальность), V (эклиптическая долгота, отсчитываемая вдоль подвижной эклиптики от средней точки весны даты) и U (эклиптическая широта, отсчитываемая от подвижной эклиптики).

Связь системы отсчета, связанной с подвижной эклипкой, с системой отсчета, связанной со средним геоэкватором эпохи J2000 (в которой определена эфемерида LE-406), осуществляется с использованием следующих прецессионных величин (Simon et al. 1994):

$$\theta_A = 20042.''0207t - 42.''6566t^2 - 41.''8238t^3 - 0.''0731t^4 - 0.''0127t^6 \quad (1)$$

$$\zeta_A = 23060.''9097t + 30.''2226t^2 + 18.''0183t^3 - 0.''0583t^4 - 0.''0285t^5 - 0.''0002t^6 \quad (2)$$

$$z_A = 23060.''9097t + 109.''5270t^2 + 18.''2667t^3 - 0.''2821t^4 - 0.''0301t^5 - 0.''0001t^6 \quad (3)$$

$$\varepsilon_A = 23^\circ 26' 21.''412 - 468.''0927t - 0.''0152t^2 + 1.''9989t^3 - 0.''0051t^4 - 0.''0025t^5 \quad (4)$$

где t здесь и далее есть интервал времени в юлианских тысячелетиях TDT (365250 сут.), прошедший с эпохи J2000 (JD2451545.0). Выражения (1)-(4) основаны на значении общей прецессии в долготе, согласно Williams et al. (1991)

$$p_A = 50288.''200t + 111.''2022t^2 + 0.''0773t^3 - 0.''2353t^4 - 0.''0018t^5 + 0.''0002t^6. \quad (5)$$

Сферические координаты Луны r , V , U разложены в ряды Пуассона вида

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_r} \{ A_{k0}^{(r)} \cos[\omega_k^{(r)}(t) + \varphi_{k0}^{(r)}] + A_{k1}^{(r)} t \cos[\omega_k^{(r)}(t) + \varphi_{k1}^{(r)}] + A_{k2}^{(r)} t^2 \cos[\omega_k^{(r)}(t) + \varphi_{k2}^{(r)}] \} \quad (6)$$

$$V(t) = \bar{V}(t) + \sum_{k=1}^{N_V} \{ A_{k0}^{(V)} \sin[\omega_k^{(V)}(t) + \varphi_{k0}^{(V)}] + A_{k1}^{(V)} t \sin[\omega_k^{(V)}(t) + \varphi_{k1}^{(V)}] + A_{k2}^{(V)} t^2 \sin[\omega_k^{(V)}(t) + \varphi_{k2}^{(V)}] \} \quad (7)$$

$$U(t) = \sum_{k=1}^{N_U} \{ A_{k0}^{(U)} \sin[\omega_k^{(U)}(t) + \varphi_{k0}^{(U)}] + A_{k1}^{(U)} t \sin[\omega_k^{(U)}(t) + \varphi_{k1}^{(U)}] + A_{k2}^{(U)} t^2 \sin[\omega_k^{(U)}(t) + \varphi_{k2}^{(U)}] \} \quad (8)$$

где

$$\bar{V}(t) = 218^{\circ}.31664563 + 17325643723.^{\circ}0470t - 527.^{\circ}90t^2 + 6.^{\circ}665t^3 - 0.5522t^4 \quad (9)$$

есть средняя долгота Луны, отсчитываемая вдоль подвижной эклиптики от средней точки весны даты (Simon et al. 1994).

Аргумент каждого члена ряда есть полином 4-й степени времени, представляющий собою различные линейные комбинации переменных Делонэ D , I' , I , F , долготы восходящего узла Луны Ω , средних долгот больших планет Солнечной системы $\lambda_{Me}, \lambda_{Ve}, \dots, \lambda_{Ne}$ (отсчитываемые в системе неподвижной эклиптики эпохи J2000), и значения общей прецессии в долготе. Также, как и для параметров прецессии (1) – (5) выражения для данных величин взяты из работы Simon et al. (1994):

$$\Omega = 125.^{\circ}04455501 - 69679193.^{\circ}631t + 636.^{\circ}02t^2 + 7.^{\circ}625t^3 - 0.3586t^4 \quad (10)$$

$$D = 297.^{\circ}85019547 + 1602961601 2.^{\circ}090t - 637.^{\circ}06t^2 + 6.^{\circ}593t^3 - 0.3169t^4 \quad (11)$$

$$I' = 357.^{\circ}52910918 + 1295965810.^{\circ}481t - 55.^{\circ}32t^2 + 0.^{\circ}136t^3 - 0.1149t^4 \quad (12)$$

$$I = 134.^{\circ}96340251 + 1717915923 2.^{\circ}178t + 3187.^{\circ}92t^2 + 51.^{\circ}635t^3 - 2.4470t^4 \quad (13)$$

$$F = 93.^{\circ}27209062 + 1739527262 8.^{\circ}478t - 1275.^{\circ}12t^2 - 1.^{\circ}037t^3 + 0.0417t^4 \quad (14)$$

$$\lambda_{Me} = 252.^{\circ}25090552 + 5381016286.^{\circ}88982t - 1.^{\circ}92789t^2 + 0.^{\circ}00639t^3 \quad (15)$$

$$\lambda_{Ve} = 181.^{\circ}97980085 + 2106641364.^{\circ}33548t + 0.^{\circ}59381t^2 - 0.^{\circ}00627t^3 \quad (16)$$

$$\lambda_{Ea} = 100.^{\circ}46645683 + 1295977422.^{\circ}83429t - 2.^{\circ}04411t^2 - 0.^{\circ}00523t^3 \quad (17)$$

$$\lambda_{Ma} = 355.^{\circ}43299958 + 689050774.^{\circ}93988t + 0.^{\circ}94264t^2 - 0.^{\circ}01043t^3 \quad (18)$$

$$\lambda_{Ju} = 34.^{\circ}35151874 + 109256603.^{\circ}77991t - 30.^{\circ}60378t^2 + 0.^{\circ}05706t^3 + 0.04667t^4 \quad (19)$$

$$\lambda_{Sa} = 50.^{\circ}07744430 + 43996098.^{\circ}55732t + 75.^{\circ}61614t^2 - 0.^{\circ}16618t^3 - 0.11484t^4 \quad (20)$$

$$\lambda_{Ur} = 314.^{\circ}05500511 + 15424811.^{\circ}93933t - 1.^{\circ}75083t^2 + 0.^{\circ}02156t^3 \quad (21)$$

$$\lambda_{Ne} = 304.^{\circ}34866548 + 7865503.^{\circ}20744t + 0.^{\circ}21103t^2 - 0.^{\circ}00895t^3 \quad (22)$$

Формат данных

Даны два варианта разложения сферических координат Луны r , V , U в ряды Пуассона: полное решение (папка LEA-406a), включающее в себя все члены с минимальной амплитудой, равной в линейной мере 1 см, и действительное на интервале времени 1000 лет (1500 – 2500 гг. н.э.), и упрощенное решение (папка LEA-406b), включающее в себя все члены с минимальной амплитудой, равной в линейной мере 1 м, и действительное на интервале времени 6000 лет (3000 г. до н.э. – 3000 г. н.э.).

Коэффициенты разложения для каждой координаты содержатся в следующих файлах:

Папка LEA-406a (полное решение):

файл LEA-406a-R.txt – коэффициенты разложения для координаты r ;
файл LEA-406a-V.txt – коэффициенты разложения для координаты V ;
файл LEA-406a-U.txt – коэффициенты разложения для координаты U ;

Папка LEA-406b (упрощенное решение):

файл LEA-406b-R.txt – коэффициенты разложения для координаты r ;
файл LEA-406b-V.txt – коэффициенты разложения для координаты V ;
файл LEA-406b-U.txt – коэффициенты разложения для координаты U .

Каждый файл имеет следующую структуру:

Строки 1-8 дают краткое описание данных, содержащихся в файле.

Каждая последующая строка содержит коэффициенты разложения для одного (будем считать его k -м) члена ряда Пуассона вида (6), (7) или (8), а именно:

$NN, l, l', F, D, \Omega, Me, Ve, Ea, Ma, Ju, Sa, Ur, Ne, Pa, A_{k0}, A_{k1}, A_{k2}, \varphi_{k0}, \varphi_{k1}, \varphi_{k2},$

где

- NN – порядковый номер члена разложения;
- $l, l', F, D, \Omega, Me, Ve, Ea, Ma, Ju, Sa, Ur, Ne, Pa$ – целочисленные коэффициенты при значениях аргументов Делонэ, средних долгот больших планет и общей прецессии в долготе [определяемых *полными* выражениями (10)-(22) и (5), включая свободный член]. Линейная комбинация указанных

величин, вычисленная с использованием данных коэффициентов, есть аргумент $\omega_k(t)$ соответствующего члена разложения, представляющий собою полином 4-й степени от времени;

- A_{k0}, φ_{k0} - амплитуда (размерность [км] для координаты r и [сек. дуги] для координат V и U) и фаза [град.] чисто тригонометрической части данного члена ряда Пуассона;
- A_{k1}, φ_{k1} - амплитуда (размерность [км / 365250 сут.] для координаты r и [сек. дуги / 365250 сут.] для координат V и U) и фаза [град.] смешанной части члена ряда Пуассона вида $t \times \begin{Bmatrix} \sin \\ \cos \end{Bmatrix}$;
- A_{k2}, φ_{k2} - амплитуда (размерность [км / (365250 сут.)²] для координаты r и [сек. дуги / (365250 сут.)²] для координат V и U) и фаза [град.] смешанной части члена ряда Пуассона вида $t^2 \times \begin{Bmatrix} \sin \\ \cos \end{Bmatrix}$.

Формат каждой строк данных есть: I6,2X,5I3,1X,8I3,1X,I3,F16.7,2F11.6,3F19.12

Суммарное (по всем 3-м координатам) количество чисто тригонометрических и смешанных компонент разложения LEA-406, имеющих ненулевую амплитуду, есть 42270 в полном решении LEA-406a и 7952 в упрощенном решении LEA-406b.

Литература

1. *Standish E.M.* - JPL IOM 312.F-98-048, 1998, Pasadena
2. *Simon J.L., Bretagnon P., Chapront J. et al.* - Astron. Astrophys., 1994, v.282, pp.663-683
3. *Williams J.G., Newhall XX, Dickey J.O.* - Astron. J., 1991, v.241, pp.L9-L12
4. *Kudryavtsev S.M.* - J. Geodesy, 2004, v.77, pp.829-838