

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Математико-механический факультет
Кафедра астрономии

Грибанова Марина, Желтова Ксения, Куприянова Анна

Перевод аргументов гармоник в систему
аргументов Бретаньона

Руководитель работы
С. Д. Петров

Санкт-Петербург, 2019 г.

1. Введение

Эта работа посвящена обзору текущей теории прецессии и нутации и созданию новой.

Для начала рассмотрим эти термины отдельно.

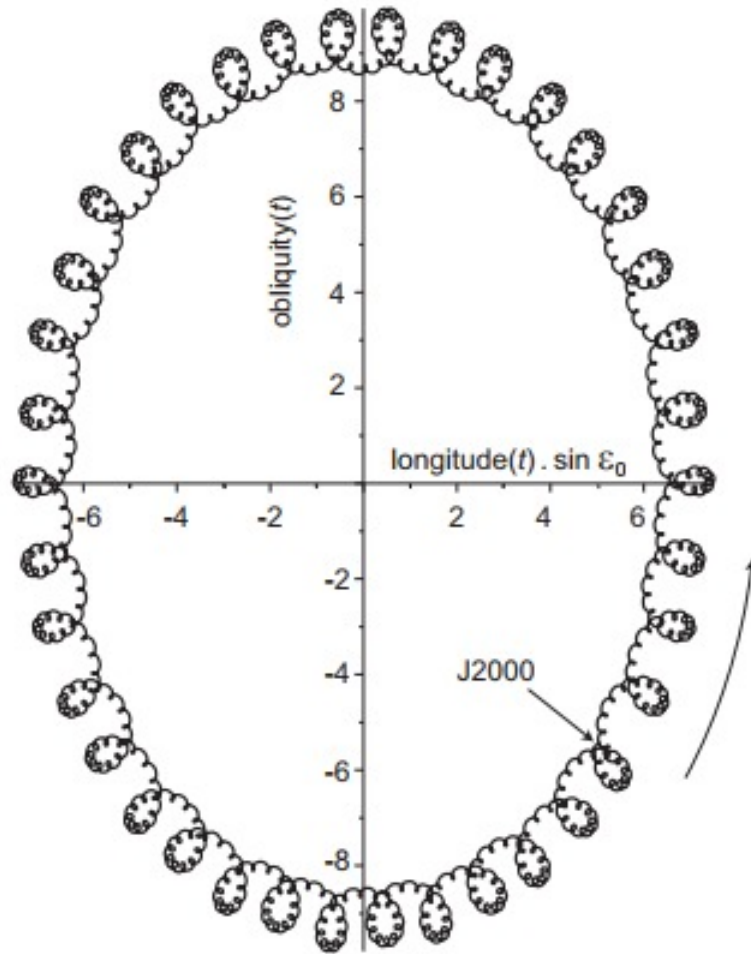
В первом приближении Земля считается осесимметричным эллипсоидом, вращающимся с одной угловой скоростью вокруг своей оси симметрии, которая является полярной осью, проходящей через центр Земли и ее северный и южный полюс. При устойчивом вращении направление этой оси сохраняет фиксированное направление в пространстве относительно направлений «неподвижных звезд». Направление оси симметрии лежит под наклоном около $23,5^\circ$ к направлению нормали на плоскость орбиты Земли вокруг барицентра Солнечной системы.

Эллипсоидальная форма, выпуклая на экваторе и сплюснутая на полюсах, есть результат центробежной силы, связанной с равномерным вращением Земли вокруг полярной оси, уравновешенной гравитацией. Эллипсоидальная структура рассчитывается на основе этого баланса сил, предполагая, что материал вращающегося тела ведет себя как жидкость под непрерывным действием сил, действующих в течение очень длительных периодов времени. Фигура Земли действительно очень близка к фигуре такого эллипсоида. В действительности, вращение и ориентация Земли являются переменными и даже дают информацию о ее внутренней структуре.

Поскольку ось вращения Земли наклонена относительно плоскости орбиты, экваториальная выпуклость выходит за пределы экваториальной плоскости во время орбитального движения. В результате Солнце и Луна создают гравитационный момент на Земле, стремясь повернуть экватор в направлении плоскости орбиты Солнца и Луны относительно Земли. Поскольку Земля вращается, она реагирует на этот крутящий момент как волчок на гравитационное притяжение. Основным эффектом является прецессия, которая представляет собой медленное движение оси вращения Земли вокруг нормали к ее плоскости орбиты. Крутящий момент, создаваемый каждым из небесных тел на Земле, имеет независимую от времени часть; именно сумма этих постоянных моментов создает движение прецессии. В результате прецессии земная ось описывает в пространстве конус с половинным углом $23,5^\circ$. Поворот земной оси смещает связанную с Землей экваториальную систему небесных координат относительно удаленных неподвижных объектов. Полный оборот по этой окружности происходит с периодом, составляющим примерно 25 800 лет.

Крутящий момент, создаваемый телами Солнечной системы, имеет огромное количество спектральных компонентов с частотами, которые связаны с частотами орбитальных движений этих тел относительно Земли.

Нутацией называют небольшие колебания земной оси, накладывающиеся на прецессионное движение. Самым большим из спектральных компонентов, безусловно, является нутация Брэдли с периодом 18,61 года, её средняя амплитуда составляет около $17''$. Другие основные нутации уже значительно меньше основной: у них есть периоды около шести месяцев, 9 лет, двух недель и так далее.



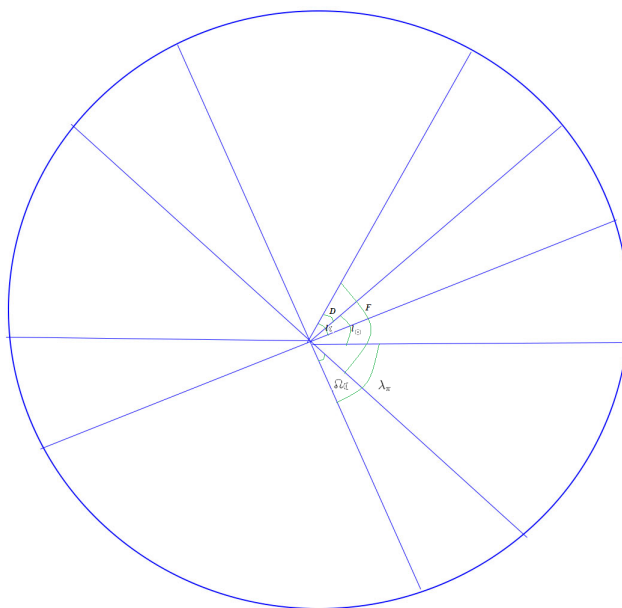
Нав рисунке выше представлена нутация по долготе и наклону как функция времени более 18,6 года. Эллиптическая особенность представляет нутацию 18,6 лет, а петли вокруг нее вносятся полугодовой нутацией и другими нутациями с еще меньшими амплитудами. Единицы измерения - угловые секунды.

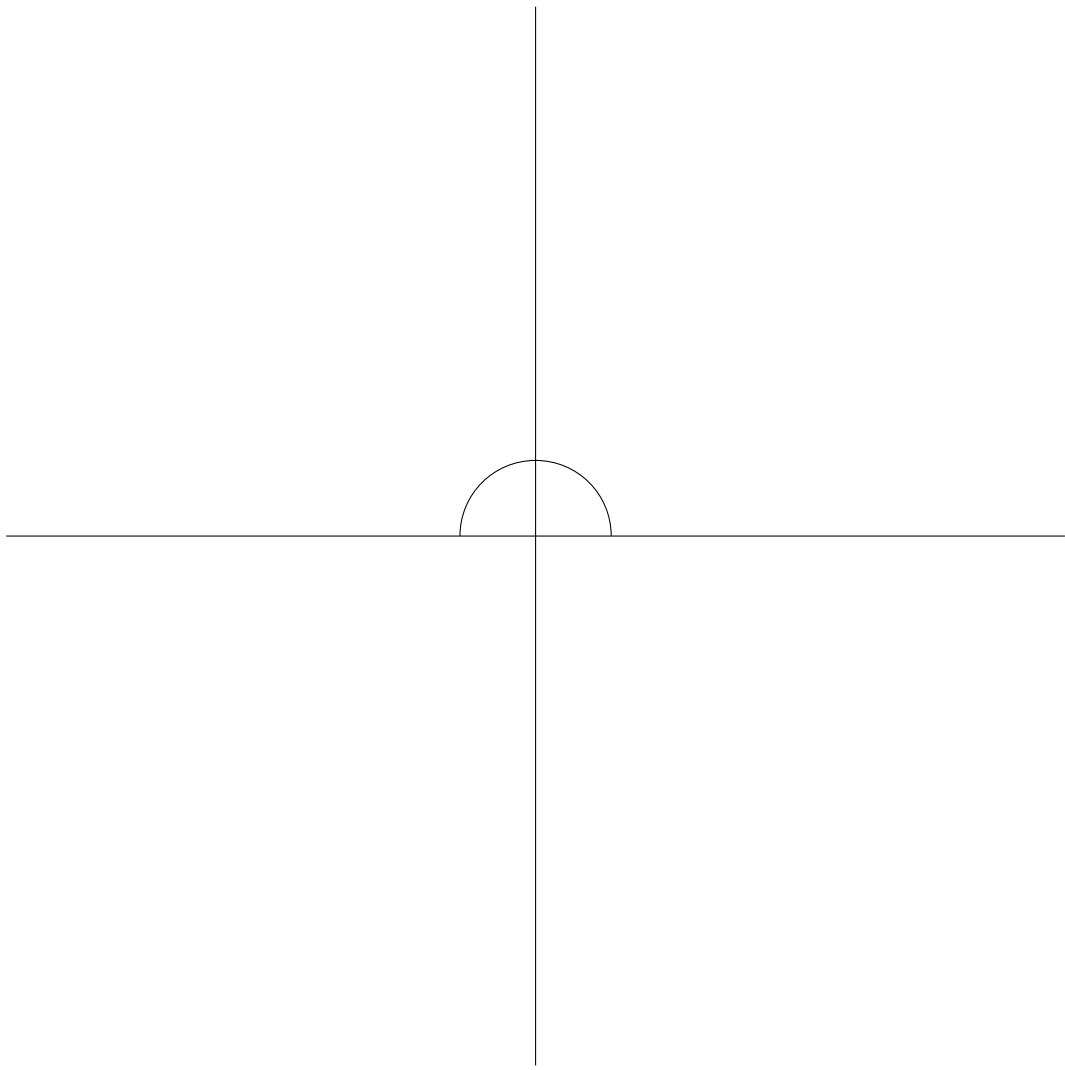
2. Аргументы нутации

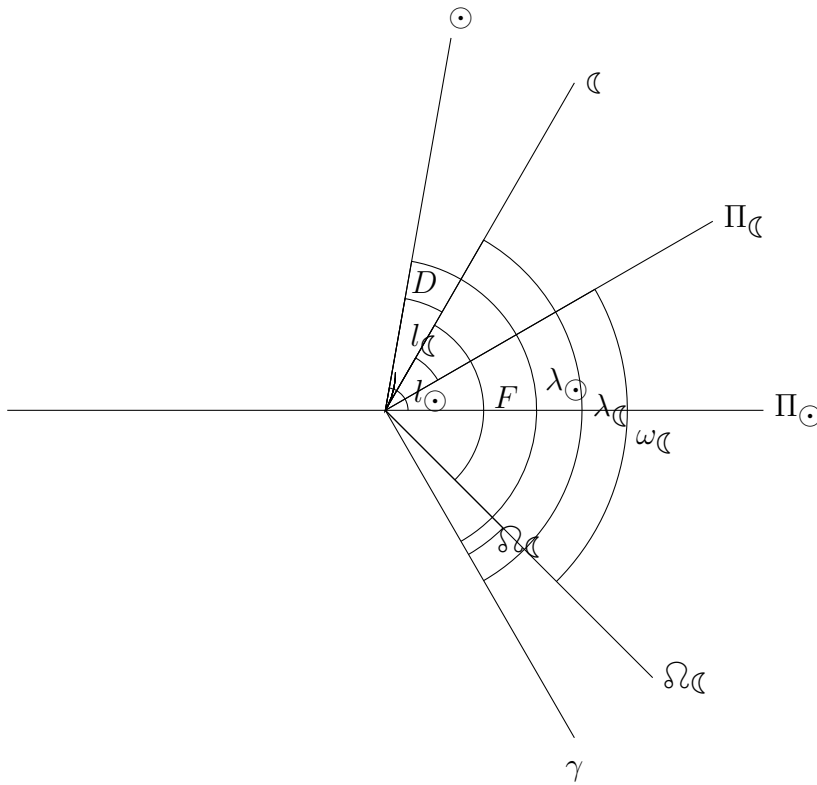
Опишем состояние теории прецессии и нутации на сегодняшний день. Действует теория нутации IAU2000 и теория прецессии IAU2006. Они позволяют вычислить нутационно-прецессионные величины - углы Эйлера на любой момент времени. IAU nutation theory 2006 представляет собой текстовые файлы с аргументами гармоник. Для вычисления гармоник используют приливные аргументы. В текущей теории нутации используются аргументы Делоне: средняя аномалия Луны, средняя аномалия Солнца, F , D , долгота восходящего узла Луны. Недостатком этих аргументов является явное включение аргумента перигелия. Долгота перигея Солнца равна следующему выражению:

$$\lambda_{\pi} = F - l^{\odot} + \Omega \zeta$$

Изменяется эта величина очень медленно: полный период изменений более ста тысяч лет. Очевидно, нет смысла представлять это движение как синусоиду. Проще аппроксимировать линейно или даже константой, то есть исключить из нового набора аргументов. Чтобы различить пару близких гармоник, надо брать второй период наблюдений, а это 200 тысяч лет! Соответственно, различить эту пару гармоник не представляется возможным.







l - средняя аномалия Луны
 l' - средняя аномалия Солнца
 F - средняя элонгация Луны от восходящего узла Луны
 D - средняя элонгация Луны от Солнца
 δ_L - восходящий узел Луны

λ_L - долгота Луны
 λ_S - долгота Солнца
 $\overline{\omega_L}$ - средний аргумент перигелия лунной орбиты
 δ_L - восходящий узел Луны

(Надо их преобразовать в другую систему координат. Для проверки выполнить обратные преобразования.)

Одному набору новых аргументов могут соответствовать несколько старых.

3. Формулы перевода. Туда и обратно

$$1) \quad l = \lambda_L - \delta_L - \overline{\omega_L}$$

$$2) \quad l' = \lambda_S - \delta_L - \overline{\omega_L}$$

$$3) \quad F = \lambda_L - \delta_L$$

$$4) \quad D = \lambda_L - \lambda_S$$

- 1) $\lambda_{\zeta} = F + \Omega_{\zeta}$
- 2) $\lambda_{\odot} = D + F + \Omega_{\zeta}$
- 3) $\overline{\omega_{\zeta}} = D + F - l'$

4. Forced motion of the Celestial Intermediate Pole (CIP)

Координаты CIP в GCRS, X и Y, могут быть даны как функции времени этих величин.

$$\begin{aligned}
X = & 0.01661700'' + 2004.19189800''t - 0.429782900''t^2 - 0.1986183400''t^3 + \\
& + 0.00000757800''t^4 + 0.000005928500''t^5 + \\
& + \sum_i [(a_{s,0})_i \sin(ARGUMENT) + (a_{c,0})_i \cos(ARGUMENT)] + \\
& + \sum_i t[(a_{s,1})_i \sin(ARGUMENT) + t(a_{c,1})_i \cos(ARGUMENT)] + \\
& + \sum_i [(a_{s,2})_i t^2 \sin(ARGUMENT) + (a_{c,2})_i t^2 \cos(ARGUMENT)] + \dots
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y = & 0.00695100'' - 0.02589600''t - 22.407274700''t^2 + 0.0019005900''t^3 \\
& + 0.00111252600''t^4 + 0.000000135800''t^5 + \\
& + \sum_i [(b_{c,0})_i \cos(ARGUMENT) + (b_{s,0})_i \sin(ARGUMENT)] + \\
& + \sum_i [(b_{c,1})_i t \cos(ARGUMENT) + (b_{s,1})_i t \sin(ARGUMENT)] + \\
& + \sum_i [(b_{c,2})_i t^2 \cos(ARGUMENT) + (b_{s,2})_i t^2 \sin(ARGUMENT)] + \dots
\end{aligned}$$

Таблицы даны на сайте IERS: tab5.2a.txt для координаты X и tab5.2b.txt для координаты Y. Полиномиальные члены X и Y приведены формулами выше.

5. Выражения для фундаментальных аргументов нутации

$$F1 \equiv l = 134.96340251^\circ + 1717915923.217800''t + 31.879200''t^2 + 0.05163500''t^3 - 0.0002447000''t^4$$

$$F2 \equiv l' = 357.52910918^\circ + 129596581.048100''t - 0.553200''t^2 + 0.00013600''t^3 - 0.0000114900''t^4$$

$$F3 \equiv F = L - \Omega = 93.27209062^\circ + 1739527262.847800''t - 12.751200''t^2 - 0.00103700''t^3 + 0.0000041700''t^4$$

$$F4 \equiv D = 297.85019547^\circ + 1602961601.209000''t - 6.370600''t^2 + 0.00659300''t^3 - 0.0000316900''t^4$$

$$F5 \equiv \Omega = 125.04455501^\circ - 6962890.543100''t + 7.472200''t^2 + 0.00770200''t^3 - 0.0000593900''t^4$$

Суммирование по всем строчкам файла.

L здесь средняя долгота Луны.

t измеряется в юлианских веках и равняется $(\text{TT} - 2000 \text{ January } 1\text{d } 12\text{h TT})$ in days/36525.