

УДК 521.93

## ВОПРОСЫ КИНЕМАТИКИ НЕОРБИТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ

Н.А.НАСИБОВ

*Азербайджанский Технический Университет  
AZ 1073, Азербайджан, Баку, пр. Г.Джавида, 25  
nasibov1@mail.ru*

Получена: 07.01.2024

Принята к печати: 01.03.2024

### РЕФЕРАТ

С позиций теоретической механики рассмотрены вопросы кинематики неорбитальных движений планеты Земля. При этом она принята не как материальная точка, как это делается при исследовании орбитальных движений, а как некоторое твердое тело конечных размеров. Проанализированы основные составляющие неорбитального движения Земли: ее вращение вокруг собственной оси, обращение этой оси вокруг барицентра системы Земля-Луна, обращение барицентра вокруг Солнца и, наконец, скольжение самой Земли вдоль собственной оси вращения. Приведены необходимые расчеты и численные значения параметров, характеризующих указанные движения. Показано, что период поворота Земли в космическом пространстве и период ее вращения вокруг своей собственной оси в принципе не одно и то же. Определено положение оси поворота (мгновенный винтовой оси) и показано, что эта ось параллельна собственной оси вращения Земли, но не совпадает с ней.

Ключевые слова: Земля, неорбитальное движение, кинематика, вращение, обращение, поворот, скольжение, барицентр, ось вращения, угловая скорость, мгновенная винтовая ось.

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей механики движения и взаимодействия космических тел является важнейшими задачами космической механики и астрономии в целом [1-7]. Ряд вопросов космической механики рассмотрен и в наших работах, в том числе в [8-10]. Особенно приоритетными считаются вопросы механики движения нашей планеты, т.е. Земли. Вопросы механики движения Земли отражены не только в обширной литературе относительно общего характера по астрономии, физике, механике, но и более подробным образом в специальной литературе, например, в [6, 11-13].

В данной статье с позиций теоретической механики рассматриваются неорбитальные составляющие движения Земли. При анализе неорбитального движения космического тела,

в отличие от орбитального, где это тело моделируется материальной точкой, оно исследуется как движущееся твердое тело конечных размеров.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Если не учитывать вековые составляющие (прецессия, нутация и т.п.) и кратковременные малые отклонения, то можно считать, что движение Земли относительно гелиоцентрической системы отсчета состоит из суммы следующих основных движений: вращения вокруг собственной оси, обращения этой оси вокруг барицентра системы Земля-Луна, обращения барицентра вокруг Солнца и, наконец, указанного в [10] периодического скольжения вдоль собственной оси вращения. При первом приближении, заменяя (аппроксимируя) ука-

занные два обращения вращениями с теми же периодами, считая их происходящими вокруг осей, практически параллельных земной оси, учитывая, что оба эти вращения (обращения) имеют направление против хода часовой стрелки (если смотреть со стороны северного полюса), то среднюю мгновенную угловую скорость общего поворота Земли не только относительно гелиоцентрической системы отсчета, но и относительно далеких «неподвижных» звезд можно выразить следующим образом:

$$\Omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3, \quad (1)$$

здесь  $\omega_1$  - угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси (важно подчеркнуть, что именно своей собственной оси, т.е. оси физической симметрии);  $\omega_2$  - средняя угловая скорость вращения (обращения) Земли (а точнее, ее оси) вокруг барицентра системы Земля-Луна;  $\omega_3$  - средняя угловая скорость вращения (обращения) барицентра вокруг Солнца (а точнее, вокруг оси, проходящей через центр Солнца параллельно оси Земли).

Заметим, что параллельность векторов угловых скоростей  $\vec{\omega}_2$  и  $\vec{\omega}_3$  вектору угловой скорости  $\vec{\omega}_1$  доказывается довольно легко, так как в противном случае собственная ось вращения Земли, по которой направлен вектор  $\vec{\omega}_1$  ее угловой скорости, не смогла бы все время оставаться параллельной, как говорят, самой себе, т.е. иметь практически неизменное направление в пространстве в течение значительного периода времени. В этой связи уместно будет напомнить известное положение об осях вращения планет: «Общий характер движения планет таков, что их оси вращения сохраняют в течение очень длительного времени почти неизменное направление в пространстве; сохраняются также их периоды обращения» [3].

Согласно имеющимся данным, общий поворот Земли относительно далеких «неподвижных» звезд происходит с периодом  $T_{\text{пов.}}$ , равным 23ч.56мин.04 сек. [4,12]. Как известно, в существующей литературе этот период считают и называют периодом вращения Земли

вокруг своей оси относительно далеких «неподвижных» звезд. Однако, строго говоря, такое утверждение на самом деле является неправильным, так как период общего поворота Земли и период ее вращения именно вокруг своей собственной оси, т.е. оси физической симметрии (в обоих случаях относительно далеких «неподвижных» звезд) в принципе не одно и то же. Это следует также из [10].

Рассмотрим теперь численные расчеты, выполненные в достаточно строгом соответствии с положениями теоретической механики и иллюстрирующие вышеизложенное (расчеты приближенные).

Используя приведенное выше значение периода  $T_{\text{пов.}}$  поворота Земли, несложно определить известную, по существу, величину  $\Omega$ :

$$\Omega = \frac{2\pi}{T_{\text{пов.}}} = \frac{2\pi}{23 \cdot 60 \cdot 60 + 56 \cdot 60 + 4} = \frac{6,2832}{86164} = 7,2921 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}.$$

Как известно, один полный оборот центра масс Земли вокруг барицентра системы Земля-Луна происходит за один сидерический месяц, т.е. за 27,32 земных суток [2]. Тогда

$$\omega_2 = \frac{2\pi}{27,32(24 \cdot 60 \cdot 60)} = \frac{6,2832}{27,32 \cdot 86400} = 0,2662 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}.$$

Аналогично находим:

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{365,25(24 \cdot 60 \cdot 60)} = \frac{6,2832}{365,25 \cdot 86400} = 0,0199 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}.$$

Теперь можем найти численное значение угловой скорости  $\vec{\omega}_1$  Земли при ее вращении вокруг своей собственной оси. Согласно приведенной выше формуле (1).

$$\omega_1 = \Omega - \omega_2 - \omega_3 = (7,2921 - 0,2662 - 0,0199) \cdot 10^{-5} = 7,0060 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}.$$

Период вращения Земли вокруг своей собственной оси относительно далеких «неподвижных» звезд будет

$$T_{\text{вр.}} = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{6,2832}{7,006 \cdot 10^{-5}} \text{ с} \approx 24 \text{ ч.} 55 \text{ мин.}$$

Таким образом, период вращения Земли вокруг именно своей собственной оси составляет не 23ч.56мин.04сек., а приблизительно 24ч.55мин. Период, равный 23ч.56мин.04сек. относится к общему повороту Земли вокруг мгновенной винтовой оси (относительно тех же далеких «неподвижных» звезд) и соответствует угловой скорости  $\Omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . В то же время, период поворота Земли относительно центра масс Солнца будет равен известной величине, т.е. 24 часам. При этом угловая скорость поворота, как известно, будет равна

$$\frac{2\pi}{24 \cdot 60 \cdot 60} \approx 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}.$$

Поскольку вопрос рассматривается с позиций теоретической механики, небезынтересно также сравнить найденное значение угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси с приведенными в литературе по теоретической механике аналогичными данными. Например, в [14] приводится значение, равное  $7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  (такое же число приводится и в [13]). Согласно изложенному выше, это угловая скорость поворота (а не вращения) Земли относительно «неподвижных» звезд. А в [15] выводится число  $7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ , совпадающее с нашим результатом, если это число принят как  $7,00 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Но это совпадение не результат точности расчетов, а наоборот, грубого округления фактически получаемой в [15] цифры. При относительно точном расчете по [15] получается не  $7,00 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ , а  $7,27 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  [16]. Принятое в [15] округление неприемлемо, так как оно приводит к ложному заключению. Расчеты по указанным значениям дают значительную разницу в оценке периода вращения Земли вокруг своей оси (приблизительно 55 мин). С позиций астрономии подобная разница (погрешность) в

данном случае является огромной и недопустимой.

Рассмотрим теперь вопрос о численных значениях параметров, характеризующих скольжение Земли вдоль собственной оси вращения. Судя по известной нам литературе, этот вопрос впервые был поднят нами [9].

Средний радиус орбиты Земли  $R = 150 \cdot 10^6 \text{ км}$ , а угол между плоскостями ее экватора и орбиты (наклон оси вращения)  $\alpha = 23^\circ 26'$ , тогда амплитуда поступательных колебательных перемещений (скольжений) Земли вдоль собственной оси вращения, в соответствии с [9], будет

$$A = R \sin \alpha = 150 \cdot 10^6 \sin 23^\circ 26' \approx 60 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Следовательно, размах этих колебательных движений  $S = 2A = 120 \cdot 10^6 \text{ км}$ .

Как видно, размах скольжения Земли вдоль собственной оси вращения составляет величину, внушительную даже по космическим меркам.

Немаловажно определить также положение оси поворота Земли (а с позиций теоретической механики, мгновенной оси вращения, если без учета скольжения, а с учетом скольжения - мгновенной винтовой оси). Подход приближенный. Пренебрегая в данном случае влиянием относительно малой величины  $\omega_3$ , т.е. принимая движение барицентра системы Земля-Луна на некотором малом участке его орбиты за инерциальное, в соответствии с положениями теоретической механики о сложении вращений вокруг двух параллельных осей, можем написать

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2, \quad (2)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  - расстояния до указанной выше мгновенной оси от центра Земли и от барицентра, соответственно. С другой стороны,  $r_1 + r_2 = l$ , где  $l$  - расстояние между барицентром и осью вращения Земли. Тогда

$$r_2 = l - r_1, \quad (3)$$

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 (l - r_1). \quad (4)$$

отсюда находим:

$$r_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} l. \quad (5)$$

В качестве первого приближения принимаем  $l=4700$  км [1], а значения  $\omega_1$  и  $\omega_2$  приведены выше. Следовательно,

$$r_1 \approx \frac{0,27 \cdot 10^{-5}}{(7,00 + 027) \cdot 10^{-5}} \cdot 4700 \approx 175 \text{ км.}$$

Таким образом, ось поворота, т.е. мгновенная винтовая ось Земли проходит (при учете только двух основных вращений, а именно,  $\omega_1$  и  $\omega_2$ ) не через ее центр, а на расстоянии приблизительно равном 175 км от него. Эта ось направляется практически параллельно оси вращения Земли, никогда не совпадая с ней, и проходя между центром Земли и барицентром системы Земля-Луна, делит расстояние между этими центрами на две неравные части. При этом она, совместно с осью вращения Земли, обращается одновременно вокруг Солнца.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из позиций теоретической механики (без учета вековых и малых кратковременных отклонений) подтверждено, что общее угловое перемещение, а именно, полный поворот планеты Земля относительно далеких «неподвижных» звезд можно считать состоящим из трех составляющих: вращения вокруг собственной оси, обращения этой оси вокруг барицентра системы Земля-Луна и обращения барицентра вокруг Солнца. Указанные обращения при первом приближении заменены (аппроксимированы) вращениями и найдены их средние угловые скорости. Установлено, что период вращения Земли вокруг своей собственной оси относительно указанной выше системы отсчета («неподвижные» звезды) составляет приблизительно 24 ч. 55 мин., а не 23 ч. 56 мин. 04 сек., как это считается в настоящее время. А период, равный 23 ч. 56 мин. 04 сек., относится не к вращению Земли именно вокруг своей собственной оси, а к общему повороту Земли в космическом пространстве, что не одно и то же.

Найдено положение мгновенной винтовой оси Земли, которая не совпадает с ее осью вращения.

1. А.В.Засов, Э.В.Кононович. *Астрономия*, М., Физматлит, (2011) 254.
2. Э.В.Кононович, В.И.Мороз. *Общий курс астрономии*, М. ЛЕНАНД, (2019) 544.
3. Ю.А.Рябов. *Движения небесных тел*, М., Наука, (1988) 239.
4. С.А.Язев. *Астрономия. Солнечная система*. М., Юрайт, (2021) 337.
5. С.М.Quluzadə. *Ümumi astronomiya kursu. Bakı, Elm və təhsil*, (2016) 263.
6. Ж.С.Ержанов, А.А.Калыбаев. *О направлении и скорости векового движения земных полюсов. Доклады АН СССР*, **223** (1975) 1113-1117.
7. Ю.В.Баркин. *Тонкие механические явления во вращательном движении Луны, Доклады АН СССР*, **315** (1990) 1082-1085.
8. Н.А.Насибов. *Очерки по космической механике*, Баку, Элм, (2017) 99.
9. Н.А.Насибов. *Пространственно-параллельное движение твердого тела как основная форма неорбитального движения планет, Инженерная механика*, №1 (2020) 60-66.
10. Н.А.Насибов. *Общие вопросы кинематики движения больших тел Солнечной системы с позиций теоретической механики, Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XLIII** №5 (2023) 58-61.
11. Ж.С.Ержанов, А.А.Калыбаев. *Общая теория вращения Земли*, М., Наука, (1984) 255.
12. К.А.Куликов. *Вращение Земли*, М., Недра, (1985) 159.
13. А.А.Михайлов. *Земля и ее вращение*, М., Наука, (1984) 80.
14. Г.К.Суслов. *Теоретическая механика*, М.-Л., Гостехиздат, (1946) 656.
15. Н.Н.Никитин. *Курс теоретической механики*, М., Высшая школа, (1990) 608.
16. М.М.Гернет. *Курс теоретической механики*, М., Высшая школа, (1973) 462.

## **YER PLANETİNİN QEYRİ-ORBITAL HƏRƏKƏTLƏRİNİN KİNEMATİKASI MƏSƏLƏLƏRİ**

**N.A.NƏSİBOV**

Nəzəri mexanika mövqeyindən Yer planetinin qeyri-orbital hərəkətlərinin kinematikasını məsələlərinə baxılmışdır. Bu halda orbital hərəkətin tədqiqində qəbul edilən maddi nöqtə kimi yox, sonlu ölçülərə malik bərk cisim kimi qəbul edilmişdir. Yerin qeyri - orbital hərəkətinin əsas toplananları, yəni onun öz oxu ətrafında fırlanması, bu oxun Yer-Ay sisteminin barisentrində dolanması, barisentrin Günəş ətrafında dolanması və nəhayət, Yerin özünün öz fırlanma oxu boyunca sürüşməsi təhlil edilmişdir. Zəruri hesablamalar və göstərilən hərəkətləri xarak-terizə edən parametrlərin ədədi qiymətləri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, Yerin kosmik fəzada dönməsinin və onun öz oxu ətrafında fırlanmasının periodları prinsipcə eyni deyildir. Yerin dönmə oxunun (ani vint oxunun) vəziyyəti təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, bu ox Yerin öz fırlanma oxuna paraleldir, ancaq onunla üst-üstə düşmür.

## **PROBLEMS OF KINEMATICS OF NON-ORBITAL MOTION OF PLANET EARTH**

**N.A.NASIBOV**

From positions of Theoretical Mechanics, we look into the problems of kinematics of non-orbital motions of planet Earth. Wherein, it is taken not as a material point, as done with the research of orbital motions, but as some solid body of finite size. Basic components of non-orbital motion of the Earth are analyzed, and namely, its rotation around its own axis, revolution of this axis around the barycenter of the Sun-Moon system, revolution of the barycenter around the Sun and, finally, sliding of the Earth along its own axis of rotation. Necessary calculations and numerical values of the parameters characterizing the given motions are introduced. It is indicated that the period of turning the Earth in outer space and the period of its rotation around its own axis are not the same things, as a matter of fact. The position of the rotation axis (instant screw axis) is determined, and it is also indicated that this axis is parallel with own rotation axis of the Earth, however, does not coincide with it.