

УДК 521:523

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КИНЕМАТИКИ ДВИЖЕНИЯ БОЛЬШИХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ С ПОЗИЦИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Н.А.НАСИБОВ

*Азербайджанский Технический Университет  
AZ 1073, Азербайджан, Баку, пр. Г.Джавида, 25  
nasibovn1@mail.ru*

Получена: 26.06.2023

Принята к печати: 02.10.2023

Ключевые слова: Солнце, Солнечная система, Земля, планета, космическое тело, движение, теоретическая механика, кинематика, вращение, обращение, поворот, скольжение.

### РЕФЕРАТ

На основе положений теоретической механики рассмотрены общие вопросы кинематики движения больших тел Солнечной системы. В статье к этим телам, кроме Солнца, относятся все планеты и их крупные спутники, имеющие практически неизменным направление оси вращения, в том числе Земля и Луна. Движение собственно Солнца не рассматривается. Предлагается при анализе кинематики основных движений больших тел Солнечной системы считать целесообразным принимать за основу следующие формы движения: вращение, обращение, поворот и скольжение. Приводится обоснование и объяснение физического смысла каждого из указанных понятий с позиций теоретической механики.

### ВВЕДЕНИЕ

Важность изучения механики движения тел Солнечной системы, особенно ее больших тел, очевидна. В данном случае под названием больших тел имеются в виду все крупные тела Солнечной системы, обладающие неизменным (благодаря гироскопическому эффекту) в течение достаточно длительного промежутка времени направлением оси вращения. Неизменность направления оси вращения и все обсуждаемые здесь движения рассматриваются относительно считающейся достаточно инерциальной гелиоцентрической системы отсчета.

К указанным большим телам Солнечной системы можно отнести Землю, все обычные и сферической формы карликовые планеты, Луну и некоторые другие крупные спутники планет и, наконец, само Солнце. Вопросы механики движения этих тел затрагиваются в обширной литературе по астрономии, физике, механике [1-7]. В характере движения указанных тел много общего, что делает целесообразным совместное рассмотрение вопросов кинемати-

ки. Здесь обсуждаются наиболее общие, «системообразующие», в основном, качественного характера вопросы кинематики отмеченных тел (за исключением Солнца) с позиций теоретической механики. Целью является обобщение и некоторая классификация основных (главных) форм движения больших тел Солнечной системы и, в первую очередь, Земли.

Критерием в нашем подходе является практическая неизменность направления оси вращения в пространстве, что характерно для относительно крупных космических тел (КТ) сферической формы, например, для планет. В связи со сказанным, не лишена интереса следующая цитата из [1]: «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».

Заметим, что в астрономии во многих случаях движение КТ рассматривают относительно системы отсчета, теоретически жестко, т.е. неизменно связанной с так называемыми далекими «неподвижными» звездами. Если

центр масс Солнца считать неподвижным относительно этих «неподвижных» звезд, то система отсчета, жестко связанная с последними, станет неотличимой от гелиоцентрической.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Рассматривая движение планеты-Земля и всех других больших тел Солнечной системы с позиций теоретической механики, считаем целесообразным принимать за основу следующие основные (т.е. не учитывающие вековые и малые кратковременные составляющие) формы движения КТ: вращение, обращение, поворот и скольжение. Данное разделение движения КТ на составляющие может во многих случаях значительно упростить, облегчить и, самое главное, сделать более наглядным изучение ряда вопросов кинематики основных, т.е. главных движений больших тел Солнечной системы, особенно Земли. Из указанных четырех форм движений КТ только обращение носит орбитальный характер, а остальные можно считать неорбитальными движениями. Рассмотрим все эти движения в отдельности.

1. Вращение КТ. В этом случае предполагается, что КТ совершает вращательное движение вокруг некоторой жестко связанной с ним осью (обычно говорят вокруг собственной или своей оси), практически неизменного направления (за достаточно большой промежуток времени) относительно гелиоцентрической системы отсчета. Здесь термин «практически» означает, что влияние таких вековых эффектов как прецессия, нутация, а также малые «случайные» нарушения условия стационарности направления оси вращения в данном анализе не учитываются.

Понятие «вращение КТ» характеризуется в основном положением в самом теле и направлением в пространстве его оси вращения, углом поворота, угловой скоростью и периодом вращения.

Вращение КТ вокруг «фиксированной» оси следует отличить от его вращения вокруг так называемой мгновенной оси. Вращение КТ вокруг мгновенной оси может состоять из суммы двух или более вращений, и эта ось в

общем случае может непрерывно менять свое положение и направление относительно самого тела и принятой системы отсчета.

2. Обращение КТ. При этом предполагается, что центр масс КТ движется по некоторой траектории (орбите) вокруг другого КТ, например, Солнца. Это второе КТ называют центральным относительно тела, движение которого исследуется. Обращение КТ возможно также вокруг барицентра некоторой группы КТ, включая исследуемое. «Обращение» понятие менее строгое, чем понятие «вращение». Это объясняется тем, что в процессе обращения КТ может совершать любое движение вокруг своего центра масс. В общем случае это будет хорошо известным в теоретической механике сферическим движением со своими параметрами в каждом отдельном случае. Вращение КТ вокруг оси неизменного направления является частным случаем этого движения. Таким образом, понятие «обращение», вообще говоря, не полностью выражает особенности движения и положения в пространстве КТ, и, по существу, относится только к движению его центра масс.

Обращение КТ характеризуется, в основном, формой и средним радиусом орбиты, средней скоростью движения, а также периодом.

Заметим, что иногда, говоря о движении КТ, не делают особой разницы между понятиями «обращение» и «вращение». Например, обращение планеты вокруг Солнца нередко называют вращением вокруг Солнца. Это не совсем корректно, но позволяет пользоваться понятием угловой скорости. В таком случае говорят об угловой скорости обращения. При этом фактически имеют в виду угловую скорость вращения, имеющего начало в центре масс центрального тела, например, Солнца, радиус-вектора КТ, например, планеты, рассматриваемой в данном случае как некоторую материальную точку.

Поскольку понятие «обращение», в целом, неоднозначно характеризует движение тела, в нашем случае КТ, в современной теоретической механике этим понятием практически не пользуются. В сфере точных наук

данное понятие рассматривается, в основном, как астрономическое.

3. Поворот КТ. Поворот есть угловое изменение положения КТ относительно другого КТ, либо его центра масс, либо далеких «неподвижных» звезд, или же относительно некоторой системы отсчета, например, гелиоцентрической. Поворот КТ необязательно является результатом вращательного движения вокруг некоторой «фиксированной» относительно самого тела оси. В общем случае поворот является результатом вращения КТ вокруг его мгновенной оси, о свойствах которой сказано выше. Поворот может характеризоваться, в основном, углом поворота, периодом и значением мгновенной или средней угловой скоростью КТ.

Понятие «вращение КТ» является частным случаем понятия «поворот КТ».

4. Скольжение КТ. В нашей работе [8] показано, что если КТ, например, планета, имеет неизменную направления ось вращения, а угол  $\alpha$  между плоскостями его экватора и орбиты отличен от нуля, то это тело относительно указанной оси совершает, вообще говоря, не вращательное, а пространственно-параллельное, конкретно, винтовое движение. Следовательно, данное тело, вращаясь вокруг указанной оси, одновременно перемещается (скользит) вдоль нее, т.е. движется поступательно. В теоретической механике такое поступательное движение называют скольжением [9,10]. Применительно к КТ это перемещение (скольжение) носит колебательный характер. В [8] показано, что амплитуда этих колебаний может быть определена по формуле  $A = R \sin \alpha$ , где  $R$  - средний радиус орбиты КТ. Следовательно размах продольных колебаний КТ будет  $S = 2A = 2R \sin \alpha$ . Эти расстояния, т.е. значения  $A$  и  $S$ , оказываются довольно большими для ряда планет даже по космическим меркам и измеряются многими миллионами километров [8].

Эффект скольжения вдоль собственной оси вращения относится ко всем планетам, их

некоторым большим спутникам и даже к самому Солнцу (для Солнца  $\alpha > 0$ ). Строго говоря, т.е. исходя из позиций теоретической механики, оси вращения этих тел правильнее было бы называть осями винтового движения. Но, скорее всего, название «ось вращения» как общепринятое, привычное и, по-видимому, наиболее удобное в произношении, сохранится.

В случае достаточно малого значения угла  $\alpha$ , например, как у планет Меркурия и Юпитера, его при первом приближении можно принимать равным нулю, и тем самым существенно упростить исследование кинематики неорбитального движения этих КТ [11]. В указанном случае неорбитальное движение КТ приводится к хорошо изученному в теоретической механике плоскопараллельному движению твердого тела.

Понятие «скольжение КТ» может характеризоваться, в основном, скоростью, ускорением, периодом и амплитудой (или размахом).

Сказанное выше о четырех формах движения КТ особенно характерно для планеты Земля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что при исследовании кинематики основных (главных) движений больших тел Солнечной системы целесообразно принимать во внимание следующие формы движения: вращение вокруг собственной оси, обращение вокруг центрального тела или барицентра некоторой системы КТ, поворот относительно другого КТ или объекта и скольжение вдоль собственной оси вращения. Указанное разделение движения КТ на составляющие во многих случаях может упростить, облегчить и сделать более наглядным изучение кинематики основных движений больших тел Солнечной системы, и особенно, Земли.

1. Ю.А.Рябов. *Движения небесных тел*. М., Наука, (1988) 239.
2. Ч.Киттель, В.Найт, М.Рудерман. *Берклевский курс физики. Т.1. Механика*, М., Наука, (1983) 448.
3. В.П.Долгачев, Л.М.Доможилова, А.И.Хлыстов. *Некоторые свойства барицентрического движения больших планет и Солнца. Труды ГАИШ*, **62** (1991) 111-118.
4. А.И.Хлыстов, В.П.Долгачев, Л.М.Доможилова. *Барицентрическое движение Солнца и солнечно-земные связи. Биофизика*, **37** (1992) 547-553.
5. R.Ə.Hüseynov. *Astronomiya, Bakı, Maarif*, (1997) 466.
6. С.А.Язев. *Астрономия. Солнечная система*. М., Юрайт, (2021) 337.
7. Н.А.Насибов. *Очерки по космической механике*. Баку, Элм, (2017) 99.
8. Н.А.Насибов. *Пространственно-параллельное движение твердого тела как основная форма неорбитального движения планет. Инженерная механика*, № 1 (2020) 60-66.
9. Н.Н.Бухгольц. *Основной курс теоретической механики, ч.1*. М., Наука, (1972) 468.
10. Л.Г.Лойцянский, А.И.Лурье. *Курс теоретической механики*, М., Наука, **1** (1982) 352.
11. Н.А.Насибов. *К вопросу о неорбитальном плоскопараллельном движении некоторых планет, Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of physical-technical and mathematical Sciences. Physics and Astronomy*, **XXXIX** № 5 (2019) 201-206.

## NƏZƏRİ MEKANİKA MÖVQEYİNDƏN GÜNƏŞ SİSTEMİ BÖYÜK CİSİMLƏRİNİN KİNEMATİKASININ ÜMUMİ MƏSƏLƏLƏRİ

N.A.NƏSİBOV

Nəzəri mexanikanın müddəaları əsasında Günəş sisteminin böyük cisimlərinin hərəkətinin kinematikasının ümumi məsələlərinə baxılır. Məqalədə bu cisimlərə, Günəşdən əlavə bütün planetlər və onların fırlanma oxlarının istiqaməti demək olar ki, dəyişməz qalan iri peykləri, o cümlədən Yer və Ay aid edilir. Günəşin özünün hərəkətinə baxılmır.

Təklif olunur ki, Günəş sisteminin böyük cisimlərinin əsas hərəkətlərinin kinematikasının təhlili zamanı kosmik cisimlərin aşağıdakı hərəkət formalarının əsas kimi götürülməsi məqsəduyğun hesab edilsin: fırlanma, dolanma, dönmə və sürüşmə. Göstərilən anlayışların hər birinin nəzəri mexanika mövqeyindən əsaslandırılması və fiziki mənasının izahı verilir.

## GENERAL ISSUES OF MOVEMENT KINEMATICS FOR BIG BODIES OF SOLAR SYSTEM FROM POSITION OF THEORETICAL MECHANICS

N.A.NASIBOV

On the basis of principles of theoretical mechanics, general issues of movement kinematics for big bodies of the solar system have been studied. In this article, other than the Sun itself, all other planets with their large satellites that have practically fixed direction of their rotation axes, as well as Earth and Moon were related to these bodies. Movement of the Sun was not actually considered. When analyzing kinematics of basic movements for big bodies of the solar system it was offered to deem it reasonable to take as the basis the following forms of movement: rotation, revolving, turning and sliding. Justification and explanation of the physical point of each of the given concepts from the position of theoretical mechanics were provided.