

## СОСТАВНАЯ МОДЕЛЬ ВРАЩЕНИЯ СОЛНЦА И СМЕЩЕНИЕ ПЕРИГЕЛИЯ МЕРКУРИЯ

И. И. Смутьский

НИУ Институт криосферы Земли СО РАН  
625000, Тюмень, а/я 1230 ИКЗ СО РАН  
Телефон: (3452) 688714, E-mail: : [jmulsky@mail.ru](mailto:jmulsky@mail.ru)

Движение тел Солнечной системы происходит в результате их взаимодействия по закону тяготения Ньютона. Однако в результате анализа данных наблюдения еще в 19 веке было получено, что наблюдаемое смещение перигелия Меркурия на 7.7% превышает рассчитанное. Для объяснения этого несоответствия привлеклись разные гипотезы о влиянии: других тел, сплюснутости Солнца, конечной скорости распространения тяготения. Пауль Гербер в 1898 г [1] на основе умозрительных представлений о конечной скорости передачи воздействия от одного тела к другому получил выражение для потенциала воздействия тела с массой  $m_1$  на тело с массой  $m_2$  в таком виде:

$$V = G(m_1 + m_2)/[r(1 - \beta)], \quad (1)$$

где  $\beta = v/c$ ;  $v$  - скорость второго тела относительно первого;  $c$  - скорость света в вакууме;  $G$  - гравитационная постоянная;  $r$  - расстояние от первого тела до второго.

С этим потенциалом он решил задачу взаимодействия двух тел приближенным методом и получил выражение для смещения перигелия орбиты тела  $m_2$  за один период его обращения  $T_p$ :

$$\Delta\varphi_p = 24\pi^3 a^2 / [T_p^2 c^2 (1 - e^2)], \quad (2)$$

где  $a$  - большая полуось орбиты, а  $e$  - ее эксцентриситет.

Задавая смещением перигелия Меркурия 41"/столетие, П. Гербер из (2) определяет скорость распространения тяготения  $c = 305500$  км/сек.

Полученный П. Гербером вывод и основной результат (2) в 1915 г. были положены А. Эйнштейном в основу Общей теории относительности.

Так как умозрительные построения П. Гербера лишены оснований, то для определения силы мы пошли следующим путем. Опираясь на экспериментальные законы электромагнетизма, мы определили силу воздействия одной заряженной частицы с зарядом  $q_1$  на другую с зарядом  $q_2$  в виде [2]:

$$\vec{F} = k \cdot \vec{r} (1 - \beta^2) / \left\{ r^2 - [\vec{\beta} \times \vec{r}]^2 \right\}^{3/2}, \quad (3)$$

где  $k = k_e = q_1 q_2 / \epsilon$ ;  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды между частицами.

Закон Кулона определяет силу взаимодействия неподвижных друг относительно друга заряженных частиц. Отличие его от закона (3) для движущихся друг относительно друга заряженных частиц обусловлено конечной скоростью распространения электромагнитного воздействия. Если это отличие мы применим для закона тяготения Ньютона, то выражение (3) при  $k = k_g = -G m_1 m_2$  будет определять силу гравитационного воздействия, распространяющегося со скоростью света.

Уравнение взаимодействия двух тел при силе (3) мы численно проинтегрировали для разных ситуа-

ций и получили весь спектр возможных траекторий [3]. Для перигелия Меркурия сила (3) дает  $\Delta\varphi_p = 0.23''$  в столетие, которая в 200 раз меньше величины, чем полученная П. Гербером. Кроме того конечная скорость воздействия приводит к изменениям периода обращения  $T_p$  и большой полуоси орбиты  $a$  в два раза большим, чем изменение перигелия. Так как последние два параметра хорошо описываются законом тяготения Ньютона, то конечная скорость тяготения не может объяснять аномальное смещение перигелия.

При расчете взаимодействий тел Солнечной системы тела рассматривались как материальные точки (МТ) и не учитывалось вращение Солнца. Каждая часть вращающегося тела относительно МТ движется по-разному. Это движение отразится на взаимодействии этой части с МТ. Различие взаимодействий будет точно такое же, как и при воздействии одной МТ на другую. Если вначале вторая МТ неподвижна относительно первой, то она будет двигаться в ее направлении. Если же начальная скорость второй МТ направлена перпендикулярно их линии соединения, то в зависимости от величины скорости эта точка будет двигаться по окружности, эллипсу, параболе или гиперболе.

Для учета вращения Солнца мы рассмотрели составную модель вращающегося тела. Его вращение мы представляем в виде осесимметрично расположенных в одной плоскости  $n$  тел, которые в результате взаимного тяготения обращаются вокруг центрального тела по окружности радиусом  $a$ . Варьируя их параметрами можно некоторые характеристики вращения составной модели и рассматриваемого тела сделать одинаковыми. Такую составную модель вращения Земли мы создали и исследовали [4]. Она хорошо представила эволюцию оси вращения Земли.

Плоскость составной модели Солнца расположена в плоскости его экватора. Масса каждого периферийного тела -  $m_i$ , а центрального -  $m_0$ . Масса всех  $n+1$  тел равна массе Солнца  $M_S$ , а координаты и скорости тел в начальный момент определялись по результатам нашей работы [5], с учетом параметров вращения Солнца Р.Ч. Каррингтона (1863 г.).

Мы разработали новый метод численного интегрирования уравнений взаимодействия  $n_2$  тел по закону тяготения Ньютона:

$$\frac{d^2 \vec{r}_i}{dt^2} = -G \sum_{k \neq i}^{n_2} \frac{m_k \vec{r}_{ik}}{r_{ik}^3}, \quad i = 1, 2, \dots, n_2. \quad (4)$$

Метод реализован в виде программы Galactica на фортране. Его точность на порядки превышает точность известных нам из литературы методов. Этим методом мы проинтегрировали уравнения движения

планет, Луны и Солнца, т.е. при  $n_2 = 11$ , за разные интервалы времени, в том числе за 100 млн. лет.

Интегрирование уравнений (4) проводится в неускоренной системе координат  $xuz$  (см. рис. 1), основой которой является остановленная на определенную эпоху  $T_0$ , например 2000.0 г., плоскость земного экватора  $A_0A_0'$ . Чтобы уменьшить влияние движения плоскости  $MeMe'$  орбиты Меркурия на положение перигелия  $B$ , его угол мы отсчитываем от т.  $G$ , которая получена в результате пересечения перпендикулярного круга  $\gamma_0G$  с кругом  $MeMe'$ , т.е.  $\varphi_{p0} = GB$ .

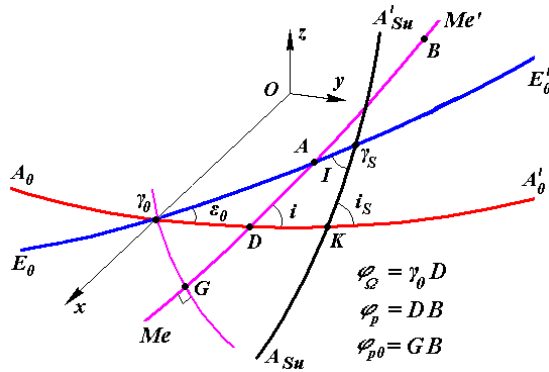


Рис. 1. Параметры орбиты Меркурия в неподвижной экваториальной гелиоцентрической системе координат  $xuz$ :  $A_0A_0'$  – плоскость экватора Земли в эпоху  $T_0$ ;  $E_0E_0'$  – плоскость орбиты Земли в эпоху  $T_0$ ;  $MeMe'$  – плоскость орбиты Меркурия в произвольную эпоху  $T$ ;  $A_{Su}A_{Su}'$  – плоскость экватора Солнца в произвольную эпоху  $T$ ;  $\gamma_0$  – точка весеннего равноденствия в эпоху  $T_0$ ;  $B$  – положение перигелия Меркурия на круге  $MeMe'$ .

Уравнения (4) были проинтегрированы на интервале времени  $-3 \div +3$  тыс. лет и определены изменения параметров орбит планет  $e$ ,  $i$ ,  $\varphi_{\Omega}$ ,  $\varphi_{p0}$ ,  $T_{tr}$  и  $a$ . Рассчитанные результаты сопоставлены с аппроксимациями данных наблюдений С.Ньюкомба (1895 г.) и Дж. Л. Симона и др. (1994 г.). Эта работа была выполнена при воздействии обычного Солнца ( $n_2 = 11$ ) и при пяти составных моделях Солнца. В составных моделях Солнца варьировалась масса  $m_1$  периферийного тела.

Для второй модели, с наибольшей массой периферийного тела  $m_1/M_S = 3.041 \cdot 10^{-5}$  и  $n = 5$ ,  $n_2 = 16$ , существенно изменились параметры орбиты Меркурия, а изменение орбит Венеры, Земли и Марса последовательно уменьшалось. По мере уменьшения массы  $m_1$  периферийного тела влияние составной модели вращения Солнца на орбиты Венеры и др. планет уменьшилось.

В табл.1 представлены скорости изменения основных параметров орбиты Меркурия по данным наблюдения - Ne/Sim, при воздействии обычного Солнца ( $n_2=11$ ) и для четвертой составной модели Солнца с 5-ю периферийными телами ( $n_2 = 16$ ). Скорость вращения перигелия  $581.6''$  в столетие близка к наблюдаемой величине  $582.3''$  в столетие. Дальнейшим уточнением массы периферийного тела  $m_1$  можно сделать эти скорости равными.

Табл. 1. Сопоставление скоростей изменения параметров орбиты Меркурия на эпоху 2000.0.; Nc и Sim – вековые изменения Ньюкомба и Симона и др. по результатам наблюдений;  $n_2=11$ , 16 – по результатам интегрирования уравнений (4) с обычным Солнцем ( $n_2=11$ ) и с четвертой моделью Солнца ( $m_1/M_S = 7.869 \cdot 10^{-8}$  и  $n = 5$ ,  $n_2 = 16$ ).

Скорости	Изменение параметра за столетие (углы $i$ и $\varphi_{\Omega}$ в радианах, $\varphi_{p0}$ – в секундах)	
	Nc Sim	$n_2=11$ $n_2=16$
$de/dT$	$2.04 \cdot 10^{-5}$ $2.0406 \cdot 10^{-5}$	$2.0253 \cdot 10^{-5}$ $2.0228 \cdot 10^{-5}$
$di/dT$	$8.1302 \cdot 10^{-5}$ $8.1047 \cdot 10^{-5}$	$8.5020 \cdot 10^{-5}$ $7.4037 \cdot 10^{-5}$
$d\varphi_{\Omega}/dT$	$-5.6510 \cdot 10^{-4}$ $-5.6510 \cdot 10^{-4}$	$-5.7229 \cdot 10^{-4}$ $-5.9606 \cdot 10^{-4}$
$d\varphi_{p0}/dT$	582.05 582.53	529.86 581.64

Как видно из табл. 2 составная модель вращения Солнца привела также к изменению скорости угла наклона  $di/dT$  с  $8.5 \cdot 10^{-5}$  радиан в столетие до  $7.4 \cdot 10^{-5}$ . Это изменение направлено в сторону сближения с величиной  $8.1 \cdot 10^{-5}$  радиан в столетие, полученное по данным наблюдения. Однако эта тенденция слишком сильная, по-видимому, из-за отличия составной модели от реального Солнца.

С целью проверки влияния количества периферийных тел в пятой модели оно было увеличено вдвое ( $n = 10$  и  $n_2 = 21$ ), а масса  $m_1$  вдвое уменьшена. Результаты моделей 4 и 5 совпали. Составные модели Солнца 4 и 5 не изменили величин отклонений полуоси  $\Delta a$  и периода обращения  $\Delta T_{tr}$  Меркурия. Эти модели не оказали ощутимого влияния на параметры орбиты Венеры, а орбиты Земли и Марса практически остались без изменения. Таким образом, воздействие вращающегося Солнца, имитированное составной его моделью, приводит к дополнительному смещению перигелия Меркурия и не оказывает существенного влияния на другие параметры орбиты Меркурия, а также на параметры орбит других планет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gerber P. Die raumliche und zeitliche Aubreitung der Gravitation // Z. Math. Phys. – 1898. – Vol. 43. – P. 93-104.
- Смутьский И. И. Теория взаимодействия. - Новосибирск: Из-во Новосибирского ун-та, ННЦ ОИГТМ СО РАН. - 1999. - 294с.
- Смутьский И.И. Траектории при взаимодействии двух тел, зависящем от относительного расстояния и скорости // Математическое моделирование. - 1995. - Т.7. - N7. - С.117-126.
- Мельников В. П., Смутьский И.И., Смутьский Я.И. Эволюция осесимметричной системы и вращение Земли / Фундаментальные и прикладные проблемы механики: Материалы конференции. – Томск: Изд-во Том. Ун-та. – 2006. – С. 448-449.
- Смутьский И.И. Осесимметричная задача гравитационного взаимодействия N-тел // Математическое моделирование. – 2003, т. 15, № 5, с. 27-36.