Дискуссии

Возможное обоснование торможения межпланетных зондов Pioneer и Voyager на границе Солнечной системы*

Э. Р. Смольяков

Аннотация. Предлагается математически обоснованная версия торможения межпланетных аппаратов типа Pioneer и Voyager, переставших подчиняться законам классической механики на больших расстояниях от Солнца и испытывающих необъяснимое замедление своего движения.
Ключевые слова: *динамика полета, космические зонды.*

В последние годы один из наиболее серьезных вопросов, связанных с исследовательскими зондами серий Pioneer и Voyager, бороздящими очень удаленные окраины Солнечной системы (в зоне гелиопаузы и за ее пределами), касается факта непредсказуемого замедления их движения, в течение многих лет так и не получившего удовлетворительного объяснения. Поскольку до сих пор не было понято, почему все эти зонды, находящиеся в полете уже более 35 лет, при покидании Солнечной системы перестали подчиняться известным законам небесной механики и испытывают ничем не объяснимое торможение своего движения, нам представляется уместным предложить достаточно математически обоснованную версию, указывающую на вполне возможную причину этого торможения.

Один из множества результатов, полученных с помощью «Экстремальной теории размерностей» в [1, 2], касается того, что в гравитационных полях, помимо законов Кеплера и Ньютона, должен действовать еще и следующий закон:

«Инерциальное ускорение тела в центральном гравитационном поле пропорционально четвертой степени от его скорости и обратно пропорционально массе центра гравитации».

Из этой теории следует, что если справедливы законы Кеплера и Ньютона [3], то необходимо должен выполняться и этом закон, имеющий следующее математическое выражение:

$$GM_0 r\ddot{\mathbf{r}} = \dot{r}^4 \mathbf{r}, \qquad (1)$$

где G — гравитационная постоянная ($G < 0$), а M_0 — масса центра тяготения.

Для объяснения возможной причины замедления движения зондов не требуется искать все решения этого сложного уравнения, а достаточно рассмотреть его частный случай, описывающий движение только вдоль радиуса. В самом деле, перечисленные выше зонды сейчас находятся от Солнца на расстоянии около двадцати миллиардов километров, т. е. на расстоянии более чем в десять тысяч раз превышающем диаметр Солнца. А следовательно, на таком расстоянии траектории их орбит можно с достаточной точностью аппроксимировать траекторией движения вдоль прямой, соединяющей их текущее положение

* Работа поддержана Программой фундаментальных исследований ОНИТС РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация».

с центром Солнца, наблюдаемого от них как яркая звездочка. Иначе говоря, допустимо, без сколько-нибудь серьезной потери в точности, использовать вместо уравнения (1) следующий его частный случай, описывающий движение вдоль радиуса r, соединяющего зонд с центром Солнца:

$$\dot{r}^4 = (GM_0)\ddot{r}. \qquad (2)$$

А последнее уравнение имеет в качестве решения следующее семейство параболических орбит

$$r = -\frac{GM_0}{2}\left\{\left[\left(\frac{-2r_0}{GM_0} - 2C_1\right)^{3/2} \pm \frac{3}{GM_0}(t - t_0)\right]^{2/3} + 2C_1\right\} \qquad (3)$$

(где C_1 — произвольная константа), обладающее удивительными свойствами [1, с. 44–54].

Для выяснения причины замедления движения зондов нам потребуется также и следующее классическое уравнение Ньютона, описывающее движение вдоль радиуса [3]:

$$r^2\ddot{r} = GM_0, \qquad (4)$$

в общем векторном представлении имеющее вид

$$r^2\ddot{\mathbf{r}} = GM_0\frac{\mathbf{r}}{r}. \qquad (5)$$

В [1, 2] с помощью экстремальной теории размерностей доказано, что уравнения (2) и (4) (или, что то же самое, (1) и (5)) существуют или не существуют только вместе (они — неразделимая пара). Но если уже известно, что классические уравнения (4) и (5) реально описывают все известные нам на сегодня движения в гравитационных полях, то необходимо должны где-то реализовываться и уравнения (1) и (2).

Мы намереваемся продемонстрировать, что получаемые ежесекундно измерения текущего положения зондов Voyager-1 и Voyager-2 относительно Солнца, приводимые в Интернете на официальном сайте этих аппаратов («Википедия-Вояджер»), позволяют легко рассчитать силы, действующие на эти зонды в любой момент их движения согласно уравнениям (1) и (5) (или, чего вполне достаточно для рассматриваемого случая, согласно их вполне приемлемым аппроксимациям, задаваемым уравнениями (2) и (4), обеспечивающим, как оценивалось выше, приемлемую точность).

Итак, мы воспользуемся относительно простыми уравнениями (2) и (4) и соответствующими им (очевидным образом получаемыми из этих уравнений), формулами для сил (F), действующих на зонды (вдоль радиуса от Солнца) в любой момент их движения:

$$F_{(2)} = \frac{\dot{r}^4}{G}\frac{m_1}{M_0}, \qquad (6)$$

$$F_{(4)} = \frac{GM_0 m_1}{r^2}, \qquad (7)$$

где G=6,672$\cdot 10^{-8}$ см^3/(г$\cdot$с^2) — гравитационная постоянная, m_1 = 722 кг — масса каждого из зондов Voyager, а M_0= 1,99$\cdot 10^{30}$ кг — масса Солнца.

Для расчетов нами была выбрана произвольная дата — 1 сентября 2012 г. В этот день мы записали расстояния Voyager-1 и Voyager-2 от Солнца в 19 часов и в 20 часов. По разности положений этих аппаратов за интервал времени, равный одному часу, рассчитывалась их средняя скорость, причем в расчетах бралось положение этих зондов из середины расчетного часового интервала. В расчетах положение аппаратов относительно Солнца округлялось с точностью до 1000 км (вследствие большой скорости их движения и большого расстояния до Солнца). Расчеты проводились в гауссовой системе единиц СГС (см, г, с).

В 19 часов Voyager-1 находился на расстоянии от Солнца, равном 18 209 858 000 км, а в 20 часов — на расстоянии 18 209 919 000 км. В качестве среднего расстояния в течение расчетного часа бралось расстояние 18 209 888 000 км. За час зонд удалялся от Солнца на расстояние 61 000 км.

В 19 часов Voyager-2 находился на расстоянии от Солнца, равном 14 878 502 000 км, а в 20 часов — на расстоянии 14 878 556 000 км. В качестве среднего расстояния в течение расчетного часа бралось расстояние 14 878 529 000 км. За час зонд удалялся от Солнца на расстояние 54 000 км.

Средняя скорость в течение расчетного часа для Voyager-1 составила 16 944 м/с, а для Voyager-2 — 15 000 м/с.

Подставляя эти данные в формулы (6) и (7), получаем, что, находясь на классической гиперболической орбите, Voyager-1, испытывает согласно формуле (7), притяжение к Солнцу с силой $F_{(4)} \approx$ 28,9 дин [г$\cdot$см/с^2], а согласно формуле (6), находясь на экзотической параболической орбите (3), он подвергается воздействию силы $F_{(2)} \approx$ 45 000 дин, которая заметно тормозит его движение от Солнца по сравнению с классическими законами небесной механики.

Аналогичным образом получаем, что Voyager-2 на классической гиперболической орбите подвергается воздействию силы притяжения Солнца, равной $F_{(4)} \approx$ 43,3 дин, а на параболической орбите (3) подвергается воздействию силы $F_{(2)} \approx$ 27 529 дин.

Как видим, в области гелиопаузы на зонды, летящие по орбитам (3), действуют существенно большие тормозящие силы, чем на классических гиперболических орбитах.

Можно предположить, что в какие-то моменты, например, в момент, когда удовлетворялось равенство

$$\ddot{r} = \frac{GM_0}{r^2} = \frac{\dot{\mathrm{r}}^4}{GM_0}, \tag{8}$$

получаемое из (2) и (4), или в иные моменты, например, под влиянием внешних возмущений, зонды могли перейти с той или иной классической гиперболической орбиты на ту или иную параболическую орбиту (3), а после этого они начинают подчиняться уже не закону Ньютона, а закону движения (1) или (2).

Замечание. Траектория каждого из зондов скорее всего является комбинированной, составленной из чередующихся участков уравнений (1) и (5), поскольку семейства орбит этих уравнений пересекаются и касаются в бесконечном числе точек (с одинаковым значением $\mathbf{r}$ и $\dot{\mathbf{r}}$ в точке контакта). Причем если учесть, что торможение зондов с точки зрения классической теории незначительно и что устойчивость классических орбит выше устойчивости орбит уравнения (1), то суммарное время пребывания зондов на участках классических орбит уравнения (5) должно быть значительно больше, чем на участках орбит уравнения (1), а следовательно, замедление в движении зондов должно быть незначительным.

Литература

1. *Смольяков Э. Р.* Методы поиска дифференциальных уравнений произвольных динамических процессов // Дифференциальные уравнения, 2009. Т. 45. № 12. С. 1704–1715.
2. *Смольяков Э. Р.* Теория поиска точных уравнений и законов движения. М.: Русская энциклопедия. 2012.
3. *Дубошин Г. Н.* Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Наука. 1968.

Смольяков Эдуард Римович. Профессор МГУ. Д. ф.-м. н. Окончил МФТИ в 1962 г. Количество апечатных работ: более 230 (в т.ч. 12 монографий). Область научных интересов: теория конфликтов и игр, оптимальное управление, теоретическая физика, философия эзотеризма. E-mail: ser-math@rambler.ru