

УДК 53.06

А. Ф. Ляденко

ТОВ «Інститут високих технологій – Україна», Київ

ВЫЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ АНОМАЛИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «ПИОНЕР-10, 11»

Продемонстровано можливість обчислення аномалії космічних апаратів «Піонер-10, 11». Обчислені за допомогою запропонованої формули та даних про орбітальні параметри КА «Піонер-10, 11» чисельні значення аномалії достатньо близькі до експериментальних значень.

Целью работы является демонстрация возможности описания обнаруженной у КА «Пионер-10, 11» аномалии [2–7] с помощью простой аналитической зависимости. Напомним, что аномальный эффект (далее – аномалия) состоит в линейном уходе принимаемой на Земле частоты сигнала доплеровской системы измерения скорости КА. Согласно работе [3] аномалия может быть описана в первом порядке по v/c выражением

$$[v_{obs}(t) - v_{mod}(t)] = -v_0 \frac{a_p t}{c}, \quad (1)$$

где v_{obs} – частота ретранслированного с КА сигнала, регистрируемого с помощью системы DSN (NASA's Deep Space Network), a_p – аномальное ускорение КА, t – текущее время, c – скорость света, v_{mod} – расчетная (предсказываемая) частота этого сигнала

$$v_{mod} = v_0 \left[1 - \frac{v_{mod}(t)}{c} \right], \quad (2)$$

где v_0 – опорная частота, $v_{mod}(t)$ – расчетная скорость. В уравнениях (1) и (2), в отличие от [3], удален множитель 2, так как сигнал распространяется в одну сторону.

Как видно, уход частоты можно описать с помощью единственного параметра в выражении (1) – аномального ускорения $a_p = (8.74 \pm 1.33) \times 10^{-10}$ м/с², направленного в сторону Солнца, однако физическая причина, обуславливающая торможение КА, остается невыясненной. В то же время есть и другие подходы к объяснению аномалии, связывающие ее причину не с ускоре-

нием КА, а, например, с космологическим расширением [2].

Предлагаемый подход к получению формулы, позволяющей вычислить численные значения аномалии этих КА, основывается на двух предположениях. Первое состоит в том, что во всех использованных программах расчета параметров орбит используется релятивистская формула, описывающая частоту электромагнитного поля (ЭМП) некоторого движущегося генератора. Второе предположение состоит в том, что вышеупомянутую формулу необходимо рассматривать как приближенную. Используем аксиоматический подход и терминологию [1] для вывода искомой формулы, для чего сформулируем исходные предположения следующим образом.

1. Есть испытываемая теория «Sub», в рамках которой частота v_{sub} ЭМП, генерируемого движущимся генератором, определяется выражением

$$v_{sub} = v_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{V_{\tau}^2}{c^2}} = v_0 \cdot l, \quad (3)$$

где v_0 – частота, генерируемая при нулевой трансверсальной скорости на том же удалении генератора от центрального небесного тела, что и в случае вычисления v_{sub} для иных орбит, V_{τ} – трансверсальная скорость движения генератора по орбите в поле тяготения центрального небесного тела (определяется по двум параметрам кеплеровой орбиты), l – безразмерный коэффициент.

2. Известна релятивистская теория «Rel», согласно которой формула частоты v_{rel} ЭМП, генерируемого движущимся генератором, имеет вид

$$v_{rel} = v \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} = v \cdot k, \quad (4)$$

где v – частота, генерируемая неподвижным генератором, k – безразмерный коэффициент, V – полная скорость генератора, которую можно выразить с помощью радиальной и трансверсальной скоростей:

$$V^2 = V_R^2 + V_\tau^2. \quad (5)$$

Очевидно, что в таком случае разность (3) и (4) будет соответствовать разности предсказаний для частоты генератора, выполняемых с помощью проверяемой и релятивистской теорий в случае $v = v_0$. Это условие можно считать выполненным, так как инерциально движущийся генератор во время определения v_0 можно считать неподвижным. При $V \ll c$

$$v_{sub} - v_{rel} = v_0(l - k) = v_0 \cdot m \approx -v_0 \cdot \frac{V_R^2}{2 \cdot c^2}, \quad (6)$$

где m – безразмерный коэффициент.

Искомая формула получена: численное значение безразмерного коэффициента m достаточно близко к значению использованного в (1) параметра a_p . Также с помощью (6) для движущегося генератора можно вычислить предсказываемое разными теориями различие частот. Если рассмотренный выше генератор отождествить с реальным генератором ретранслятора на каждом из КА «Пионер-10, 11», то можно вычислить ожидаемую разность частот для любого участка траектории их движения.

СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТОМ

Согласно данным [3] в процессе движения КА «Пионер-10» был обнаружен равномерно изменяющийся во времени уход частоты, описываемый формулой (1), который за 8 лет достиг 1.5 Гц (при пересчете в одну сторону пути). Вычисленное же с помощью (6) изменение частоты на порядок ниже.

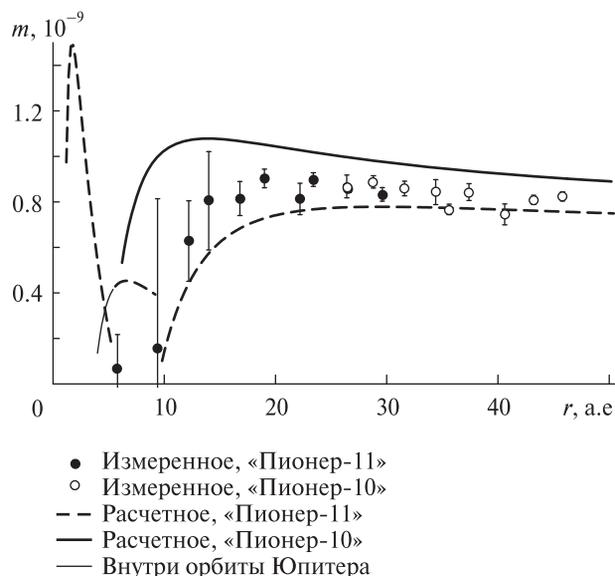
На диапазоне гелиоцентрических расстояний 39–60 а. е. оно изменяется от 2.13 до 1.98 Гц. Расчетная радиальная скорость на этом интервале снижается от 12.9 до 12.5 км/с (частота $v_0 = 2.29$ ГГц).

С другой стороны, тот факт, что $a_p \approx m$, представляется не случайным. Возможно, что из-за

каких-то особенностей весьма сложной процедуры обработки принятого сигнала этот сдвиг частоты около 2 Гц стал проявляться как порожденный нерасчетным ускорением.

Вычислим далее значение m для различных участков траектории движения рассматриваемых КА.

Неоднократно упоминаемое в литературных источниках значение a_p – это усредненное значение, в то время как экспериментальные значения a_p зависят от гелиоцентрического расстояния [5] и лежат в диапазоне $(0.7-9) \cdot 10^{-10}$ м/с². Скорее всего, этот факт отражает наличие функциональной зависимости a_p от положения КА на траектории, а не является разбросом измеренных значений некоторой постоянной величины. Принимая во внимание, что $V_R = \sqrt{\mu/p} \cdot e \cdot \sin \varphi$, где μ – гравитационный параметр небесного тела, p – параметр орбиты, e – эксцентриситет орбиты, $\varphi = ar \cos \frac{p-r}{r \cdot e}$ – центральный угол, r – радиус-вектор, мы построили графики аномалии (см. рисунок). При этом величина гравитационного параметра, как и в [5] учитывала массы



Вычисленные значения аномалии КА «Пионер-10, 11» и экспериментальные данные. По оси ординат – безразмерный коэффициент m , численно совпадающий с величиной аномального ускорения a_p

Параметры оскулирующих орбит КА «Пионер-10, 11» на различных участках траектории

Участок траектории	e	p
«Пионер-10» (Ю→...)	1.734	$2.072 \cdot 10^{12}$
«Пионер-11» (З→Ю)	0.718	$2.557 \cdot 10^{11}$
«Пионер-11» (Ю→С)	0.776	$9.874 \cdot 10^{11}$
«Пионер-11» (С→...)	2.148	$4.403 \cdot 10^{12}$

Солнца, Меркурия, Венеры и системы Земля – Луна. При построении графиков аномалии были использованы данные [5, 7] об орбитальных параметрах КА (см. таблицу). Экспериментальные значения аномалии взяты из работы [5].

Заметим, что график аномалии для КА «Пионер-11» после пролета Юпитера имеет петлеобразный вид: при подлете к нему величина аномалии уменьшилась, затем (при движении внутри орбиты Юпитера) резко увеличилась (на графике этот участок не показан), затем снова уменьшилась, достигая нуля, затем увеличилась по той же самой кривой. Ход кривых на графике для случая вычислений аномалии в сферах действия планет достаточно очевиден и здесь не приводится.

ВЫВОДЫ

Численно величина аномалии КА «Пионер-10, 11» на гелиоцентрических расстояниях более 20 а. е. может быть описана с точностью примерно 90 % выражением, представляющим собой отношение половины квадрата радиальной скорости КА к квадрату скорости света. Следовательно, предсказываемое значение аномалии для круговых орбит равно нулю.

Этот факт согласуется с высказываемой в литературе гипотезой, что аномалия КА «Пионер-10, 11» проявляется только на незамкнутых орбитах. Однако из формулы (6) следует, что причина не

в замкнутости или незамкнутости орбиты, а в величине радиальной скорости движения КА. Очевидно, что вычисление радиальной скорости автоматически подразумевается относительно того гравитирующего небесного тела, в сфере действия которого находится рассматриваемый объект. Имеет ли место $m \approx a_p$ в более широком диапазоне гелиоцентрических расстояний, возможно, удастся проверить, так как есть надежда, что будет выполнена обработка старых доплеровских данных КА «Пионер-10, 11» [4].

1. Бунге М. Философия физики. – М.: Прогресс, 1975. – 352 с.
2. Томильчик Л. М. Аномальный фиолетовый дрейф частоты излучения как локальное проявление космологического расширения // Оптика и спектроскопия. – 2007. – **103**, № 2. – С. 246–250.
3. Anderson J. D., Laing P. A., Lau E. L., et al. Study of the anomalous acceleration of Pioneer 10 and 11 // Phys. Rev. D. – 2002. – **65**. – 082004/1-50, arXiv:gr-qc/0104064v5.
4. Lämmerzahl C., Preuss O., Dittus H. Is the physics within the Solar system really understood? // General Relativity and Quantum Cosmology. – arXiv:gr-qc/0604052v1.
5. Nieto M. M., Anderson J. D. Using early data to illuminate the Pioneer anomaly // Class. Quant. Grav. – 2005. – **22**. – P. 5343–5354. – arXiv:gr-qc/0507052v2.
6. Toth V. T. Study of the Pioneer Anomaly: A scientific detective story // Postgrad. Mag. – 2007. – **1**. – P. 24–30. – arXiv:0903.0075v1.
7. Turyshev S. G., Nieto M. M., Anderson J. D. Study of the Pioneer Anomaly: A Problem Set // Amer. J. Phys. – 2005. – **73**. – P. 1033–1044. – arXiv:physics/0502123v5.

Надійшла до редакції 04.06.09

A. F. Liadenko

THE CALCULATED VALUES FOR ANOMALY OF THE «PIONEER-10, 11» SPACECRAFTS

The possibility to evaluate the anomaly of the «Pioneer-10, 11» spacecrafts is shown. Calculated with the help of the formula proposed and data on orbital parameters of the «Pioneer-10, 11» spacecrafts, the numerical values of anomaly are close enough to experimental values.