ПРЕЦЕЗИОННАЯ КОСМИЧЕСКАЯ АСТРОМЕТРИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ. II. РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ПОПРАВКИ ПРИ ПЕРЕСЧЕТЕ ШКАЛ ВРЕМЕНИ

О.С. Угольников

Астрокосмический центр ФИАН, 117810, Москва, Профсоюзная 84/32

Поступила в редакцию 08.08.2000

Работа посвящена методу измерения координат космических гамма-всплесков путем измерения времени запаздывания сигналов от всплеска на космические аппараты, находящиеся на околосолнечных орбитах. На основе известных релятивистских преобразований времени между барицентрической, геоцентрической и аппаратной системами отсчета вычисляются временные поправки для конкретных систем космических аппаратов. Определено, какие из релятивистских поправок являются существенными для данного метода.

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема низкого углового разрешения современных приемников гамма-излучения остается главной в гамма-астрономии. Невозможность точного прямого измерения небесных координат космических гамма-всплесков долгое время оставляла их природу неизвестной. В последние годы в этой области был сделан существенный шаг вперед, благодаря которому были определены точные координаты нескольких гамма-всплесков, и в нескольких случаях их положение совпало с положением далеких галактик с красным смещением $z>1$ [1]. Однако координаты измерялись для оптических послесвечений гамма-всплесков, то есть фактически мы имеем дело лишь с косвенными (хотя и достоверными) измерениями. Слишком малое количество всплесков с измеренными координатами и неубедительность их отождествления оставляет вопрос об их природе открытым. Столь же актуальным является и вопрос о методах прямого точного измерения координат большого количества гамма-всплесков.

Одним из самых перспективных методов прямого измерения координат гамма-всплесков с точностью до $1''$ является метод “космической триангуляции”: измерение времени запаздывания прихода сигнала от гамма-всплеска на различные космические аппараты. Этот метод обсуждался уже давно [2], а его подробный анализ проведен в [3]. В этой статье метод “космической триангуляции” рассмотрен как с технической стороны – обсуждаются все требования к точности работы бортовой аппаратуры, так и с точки зрения обеспечения временной синхронизации часов на регистрирующих гамма-всплеск аппаратах, осуществления корректного перехода между различными временными шкалами с использованием релятивистских преобразований времени. В [3] также оценена предельно возможная точность измерения времени запаздывания сигнала и координат гамма-всплесков при условии идеального технического выполнения задачи. Оказалось, что для существенной части гамма-всплесков можно измерить время запаздывания с точностью до 10^{-3} с, а координаты – до $1''$ и выше, что вполне позволяло бы производить отождествление гамма-всплесков с известными объектами на небе. Очевидно, что для выполнения данной задачи точность времени регистрации сигналов от гамма-всплеска должна быть хотя бы на порядок лучше, то есть 10^{-4} с.

Настоящая работа является продолжением [3]. В ней будет проведен количественный анализ различных релятивистских поправок, и среди них будут выделены те, которые нужно будет принимать во внимание с учетом требуемой точности регистрации времени сигналов от гамма-всплеска и его пересчета в другие системы координат.

2. ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПОПРАВОК

Рассмотрим релятивистские преобразования времени для конкретных систем космических аппаратов. В [3] было предложено три различных конфигурации системы из трех аппаратов: A, B и C. В модели A один аппарат обращается вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом 1 а.е., второй аппарат имеет эллиптическую орбиту с расстоянием от Солнца в перигелии 0.625 а.е., в афелии – 1 а.е. (эксцентриситет 0.23), и третий аппарат движется по эллиптической орбите с расстоянием от Солнца в перигелии 1 а.е., в афелии – 1.33 а.е. (эксцентриситет 0.14). В моделях B и C все три аппарата движутся по круговым орбитам с радиусом 1 а.е., причем в модели B два аппарата движутся с отставанием и опережением на 60° относительно третьего, а в модели C три аппарата образуют равносторонний треугольник со стороной 1.72 а.е.

В [3] отмечается, что хотя конфигурация A выгодна с технологической точки зрения [4], однако самой эффективной будет схема C, и именно для нее была оценена точность измерения координат гамма-всплесков. Как мы увидим далее, эта схема также требует учета меньшего количества релятивистских поправок.

Каждый аппарат будет фиксировать сигналы от гамма-всплеска в своей, аппаратной системе отсчета (τ, ξ). Центр управления на Земле работает в геоцентрической системе (u, **w**). Для вычисления времени запаздывания нужно перевести все временные данные в барицентрическую систему координат (t, **x**). Далее в [3] рассматриваются релятивистские преобразования между величинами τ, u и t с точностью до слагаемых порядка c^{-4}, где c – скорость света. Геоцентрическое время u и аппаратное время τ выражаются через барицентрическое время t соотношениями:

$$u = t - \frac{1}{c^2}\{\int_{t_0}^{t}(\frac{1}{2}\mathrm{v}_{\mathrm{E}}^2 + U(\mathbf{x}_E))dt + [\mathbf{v}_E.\mathbf{R}_E]\} + O(c^{-4}) \qquad (1),$$

$$\tau = t - \frac{1}{c^2}\{\int_{t_0}^{t}(\frac{1}{2}\mathrm{v}_{\mathrm{S}}^2 + U(\mathbf{x}_S))dt + [\mathbf{v}_S.\mathbf{R}_S]\} + O(c^{-4}) \qquad (2).$$

Здесь t_0 – начальная эпоха наблюдений, $\mathbf{v}_{\mathrm{E}}$ и $\mathbf{v}_{\mathrm{S}}$ – скорости геоцентра и аппарата в барицентрической системе, $U(\mathbf{x}_{\mathrm{E}})$ и $U(\mathbf{x}_{\mathrm{S}})$ – гравитационные потенциалы в центре Земли и точке положения аппарата (в первом случае поле самой Земли не учитывается) и $\mathbf{R}_{\mathrm{E}}$ и $\mathbf{R}_{\mathrm{S}}$ – радиус-векторы точки наблюдения соответственно в геоцентрической и аппаратной системах. Точка “.” между двумя векторами означает их скалярное произведение.

Так как аппаратная система отсчета будет использоваться только на борту самого аппарата, то $\mathbf{R}_{\mathrm{S}}$ и соответствующее слагаемое в формуле (2) обращается в нуль. Комбинируя с учетом этого уравнения (1) и (2), мы получаем связь между аппаратным и геоцентрическим временем:

$$\tau = u + \frac{1}{c^2}\{\int_{t_0}^{t}[\frac{1}{2}(\mathrm{v}_E^2 - \mathrm{v}_S^2) + (U(\mathbf{x}_E) - U(\mathbf{x}_S))]dt + [\mathbf{v}_E.(\mathbf{x}_S - \mathbf{x}_E)]\} + O(c^{-4}) \qquad (3).$$

В [3] эта формула записана для конфигураций аппаратов B и C, в этом случае она принимает более простой вид. Сейчас же мы рассмотрим ее в самом общем случае.

Формулы (2) и (3), выражающие время на часах космического аппарата □ через барицентрическое время t и геоцентрическое время u могут быть переписаны в виде:

$$\tau = t + \Delta t + \delta t = t + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \delta t_1 + \delta t_2$$

$$\tau = u + \Delta u + \delta u = t + \Delta u_1 + \Delta u_2 + \Delta u_3 + \delta u_1 + \delta u_2 + \delta u_3 \qquad (4).$$

Рассмотрим все эти временные поправки по отдельности. Поправки Δt_1, Δt_2, δt_1 и δt_2 можно записать в виде

$$\Delta t_1 = -\frac{1}{c^2}\int_{t_0}^{t}\frac{1}{2}\mathrm{v}_{S0}^2 dt \ ,$$

$$\Delta t_2 = -\frac{1}{c^2}\int_{t_0}^{t}\frac{GM_0}{R_{S0}} dt \ ,$$

$$\delta t_1 = -\frac{1}{c^2}\int_{t_0}^{t}\frac{1}{2}(\mathrm{v}_S^2 - \mathrm{v}_{S0}^2) dt \ ,$$

$$\delta t_2 = -\frac{1}{c^2}\int_{t_0}^{t}\sum_i \frac{Gm_i}{R_{Si}} dt \qquad (5),$$

где v_{S0} – невозмущенная скорость аппарата при его движении вокруг Солнца без взаимодействия с большими планетами. Поправки Δt_2 и δt_2 связаны с гравитационным полем Солнца (масса M_0) и больших планет (массы m_i) соответственно. Аналогичным образом выражаются все поправки Δu и δu. Величины R_{S0} (R_{Si}) и R_{E0} (R_{Ei}) есть расстояния от космического аппарата и Земли до Солнца (больших планет) соответственно. Из закона сохранения энергии очевидно, что δt_1, δt_2, δu_1, δu_2 и δu_3 имеют один и тот же порядок величины, и в нашей работе мы ограничимся оценкой лишь δt_2 и δu_2 (впоследствии мы увидим, что релятивистские поправки, связанные с планетами, малы и не требуют учета). В формуле для поправки δu_2 будет отдельно стоять слагаемое с гравитационным потенциалом поля Земли, так как это поле не учитывалось в формуле (1).

Наша задача состоит в численной оценке всех вышеперечисленных поправок. Каждая из них может иметь вековую и периодическую составляющие. Для вековых составляющих нужно оценить их темп, а для периодических – амплитуду и период. Сначала мы рассмотрим поправки, связанные с Солнцем и обращением аппаратов вокруг него, не учитывая влияние планет, а затем оценим поправки, связанные с большими планетами (как мы увидим, они окажутся крайне малыми).

2.1. Космические аппараты на круговой орбите

К этому случаю относится один из аппаратов в конфигурации A и все три аппарата в конфигурациях B и C. Эти аппараты обращаются вокруг Солнца по круговой орбите радиусом 1 а.е. с периодом T = 1 год. Из формулы (2) связи аппаратного и барицентрического времени видно, что в соответствии с законом сохранения энергии периодические части поправок Δt_1 и Δt_2 будут совпадать по амплитуде и фазе. В случае же кругового вращения периодические части вообще обращаются в нуль, а вековые части будут отличаться ровно в два раза.

Рассмотрим эллиптическую орбиту Земли и круговую орбиту космического аппарата (рис.1). Пусть *e* – эксцентриситет орбиты Земли, а *a* – ее большая полуось (совпадающая с радиусом орбиты аппарата). Для удобства начало координат поместим не в фокус, а в центр эллипса – орбиты Земли, при этом ось *x* направим в сторону Солнца и точки перигелия орбиты Земли. Примем также, что Земля прошла перигелий в момент $t_0=0$, а космический аппарат в это время находился под углом φ_0 к оси *x*. Запишем известное уравнение небесной механики для эксцентрической аномалии Земли E:

$$E = \frac{2\pi t}{T} + e \sin E \qquad (6).$$

Дифференцируя его по времени, получаем:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{2\pi}{T} \frac{1}{1 - e\cos E} \qquad (7).$$

Дальнейшие выкладки мы будем вести с учетом малости величины *e*. Мы будем опускать все слагаемые порядка e^2, а в слагаемых порядка *e* мы пренебрежем разницей между эксцентрической и средней аномалиями Земли. В этом случае ее координаты будут равны $x_E=a*\cos E$ и $y_E=a*\sin E$, а компоненты скорости геоцентра равны

$$\frac{dx_E}{dt} = -\frac{2\pi a}{T} \frac{\sin E}{1 - e\cos E},$$
$$\frac{dy_E}{dt} = \frac{2\pi a}{T} \frac{\cos E}{1 - e\cos E} \qquad (8).$$

Учитывая малость величины *e*, мы можем сделать разложение

$$\sin E = \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + e\sin E\right) = \sin\frac{2\pi t}{T} + e\sin\frac{2\pi t}{T}\cos\frac{2\pi t}{T} + O(e^2),$$

$$\cos E = \cos(\frac{2\pi t}{T} + e\sin E) = \cos\frac{2\pi t}{T} - e\sin^2\frac{2\pi t}{T} + O(e^2) \qquad (9).$$

Подставляя его в (8), получаем

$$\mathbf{v}_{E0} = \{-\frac{2\pi a}{T}(\sin\frac{2\pi t}{T} + e\sin\frac{4\pi t}{T}) + O(e^2); \frac{2\pi a}{T}(\cos\frac{2\pi t}{T} + e\cos\frac{4\pi t}{T}) + O(e^2)\} \qquad (10).$$

Космический аппарат движется по круговой орбите, и его координаты в момент времени t равны

$$\mathbf{x}_S = \{a\cos(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_0) + ae; a\sin(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_0)\} \qquad (11).$$

Перейдем теперь к вычислению релятивистских поправок. Вычислим сначала поправку Δt_1. Очевидно, что модуль скорости аппарата постоянен и равен $2\pi a/T$. Подставляя численные значения в формулу (2), получаем, что поправка Δt_1 приводит к вековому сдвигу аппаратной шкалы по отношению к барицентрической на величину

$$\Delta t_1 / t = -\frac{2\pi^2 a^2}{c^2 T^2} = -0.1558 \text{ с/год} \qquad (12).$$

Соответственно, вдвое больший сдвиг за счет поправки Δt_2

$$\Delta t_2 / t = -\frac{GM_0}{c^2 a} = -0.3115 \text{ с/год} \qquad (13).$$

В итоге, суммарный вековой сдвиг между аппаратной и барицентрической шкалами составляет 0.4673 с/год. Это очень значительная величина, однако ее учет не составляет никакого труда, так как этот сдвиг не имеет периодической части.

Для вычисления поправки Δu_1 необходимо знать модуль орбитальной скорости Земли. Из формулы (10) следует

$$\mathrm{v}_{E0}^2 = \frac{4\pi^2 a^2}{T^2}(1 + 2e\cos\frac{2\pi t}{T}) + O(e^2) \qquad (14).$$

Первое слагаемое есть среднеквадратичная скорость Земли, совпадающая (с точностью до членов порядка e^2) со скоростью аппарата. При подстановке в (3) квадраты этих скоростей сокращаются, из чего следует, что поправка Δu_1 не будет иметь вековых составляющих, а только периодическую:

$$\Delta u_1 = \frac{2\pi a^2 e}{c^2 T}\sin\frac{2\pi t}{T} + O(e^2) \qquad (15).$$

Аналогично, вековая составляющая отсутствует и у поправки Δu_2. А периодические части у этих поправок, как мы уже отмечали, должны совпадать, то есть

$$\Delta u_1 = \Delta u_2 \qquad (16).$$

Суммарная амплитуда этих поправок равна $4\pi a^2 e/c^2 T = 1.656*10^{-3}$ с. Эта величина известна как амплитуда периодического сдвига между геоцентрической и барицентрической шкалами времени.

Однако для случая космического аппарата необходимо вычислить еще и поправку Δu_3. Подставляя выражения для скорости Земли и разности координат аппарата и Земли в формулу (3) и исключая независящие от времени слагаемые, после несложных выкладок с учетом малости e получаем:

$$\Delta u_3 = \frac{4\pi a^2 e}{c^2 T}[\sin\frac{\varphi_0}{2}\cos(\frac{2\pi t}{T} - \frac{\varphi_0}{2}) - \sin\frac{2\pi t}{T}] + O(e^2) \qquad (17).$$

Комбинируя уравнения (15-17), получаем выражение для разности аппаратного и геоцентрического времени в точке положения аппарата с учетом малости величины e и пренебрегая влиянием планет:

$$\tau = u + \frac{4\pi a^2 e}{c^2 T}\sin\frac{\varphi_0}{2}\cos(\frac{2\pi t}{T} - \frac{\varphi_0}{2}) + O(e^2) \qquad (18).$$

Из этой формулы видно, что период изменения этой величины составляет 1 год, а амплитуда и фаза зависят от взаимного расположения аппарата и Земли. Так, при $\varphi_0=0$ все поправки компенсируют друг друга, и собственное время космического аппарата совпадет с геоцентрическим с точностью до членов порядка e^2, составляющих примерно 10^{-5} с, что несущественно для измерения координат гамма-всплесков. Максимальной амплитуда будет при φ_0=180° – она достигнет значения $1.656 \cdot 10^{-3}$ с. Даже эта величина сравнительно невелика (порядка наилучшей точности измерения времени запаздывания), и ее хоть и нужно учитывать, это опять-таки не создаст особых проблем.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что в случае круговых орбит аппаратов их собственное время отличается от геоцентрического не более чем на $1.656 \cdot 10^{-3}$ с, что сравнимо с наилучшей точностью измерения времени запаздывания сигналов от гамма-всплеска и легко учитывается. Вековые поправки при пересчете в барицентрическую шкалу времени также очень легко учитываются, так как не имеют временных вариаций. Это еще одно преимущество конфигураций аппаратов B и C наряду с теми, которые отмечались в [3].

2.2 Космические аппараты на эллиптических орбитах

Рассмотрим два других космических аппарата в конфигурации A. Напомним, что они обращаются по эллиптическим орбитам, причем для одного из них расстояние в 1 а.е. соответствует точке афелия, а у другого – точке перигелия орбиты. Для этих двух аппаратов ситуация с релятивистскими поправками будет значительно сложней, чем в случае круговых орбит.

Начнем с рассмотрения связи аппаратного и барицентрического времени. Вследствие эллиптичности орбит аппаратов наряду с вековыми сдвигами между этими шкалами появятся и периодические сдвиги. Очевидно, что и здесь в силу закона сохранения энергии периодические части поправок Δt_1 и Δt_2 будут совпадать. Вековой сдвиг будет наибольшим для первого аппарата, заходящего внутрь орбиты Земли. Численное интегрирование в формуле (2) дает следующие величины вековых сдвигов:

$$\Delta t_1/t = -0.1918 \text{ с/год}; \quad \Delta t_2/t = -0.3835 \text{ с/год}; \quad \Delta t/t = -0.5752 \text{ с/год} \qquad (19).$$

Наряду с этим, обе величины Δt_1 и Δt_2 испытывают периодические колебания с амплитудой 0.0103 с и периодом 267.5 суток, равным периоду обращения аппарата вокруг Солнца. Суммарная амплитуда периодических колебаний составит 0.0205 с. Соответственно, для второго (внешнего) аппарата получаются следующие значения вековых сдвигов между собственной и барицентрической шкалами времени:

$\Delta t_1/t = -0.1337$ с/год; $\Delta t_2/t = -0.2674$ с/год; $\Delta t/t = -0.4012$ с/год (20).

Амплитуда периодических колебаний каждой из величин Δt_1 и Δt_2 составит 0.0075 с, соответственно суммарная амплитуда равна 0.0150 с. Период этих колебаний, равный периоду обращения аппарата, составит 459.3 суток.

Очевидно, что все эти величины весьма существенны для задачи определения координат гамма-всплесков и требуют аккуратного учета. Еще более сложная картина возникает при сопоставлении собственного времени аппарата и геоцентрического времени. В отличие от аппаратов на круговых орбитах с радиусом 1 а.е. здесь появятся вековые сдвиги, равные –0.1079 с/год и +0.0661 с/год для первого и второго аппаратов соответственно. На периодические же колебания величины Δu будет сказываться целый ряд факторов: изменения расстояния аппаратов до Солнца, эллиптичность орбиты Земли и постоянно изменяющееся взаимное положение аппаратов и Земли, приводящее к весьма сложным вариациям составляющей Δu_3. На рис.2 показано изменение величины Δu для обоих аппаратов в предположении, что в момент времени $t_0=0$ оба аппарата находились вблизи Земли на расстоянии 1 а.е. от Солнца. Видно, что уже за несколько лет поправки достигают нескольких десятых секунды, одновременно испытывая значительные периодические изменения. Все это необходимо учитывать при измерении координат космических гамма-всплесков.

2.3. Оценка влияния больших планет

Мы рассмотрели релятивистские поправки между различными шкалами времени, учитывая гравитационное воздействие на аппараты только одного небесного тела – Солнца. В настоящем параграфе мы оценим влияние восьми больших планет – от Меркурия до Нептуна. Это влияние будет крайне малым, и мы оценим его для аппаратов, находящихся на круговых орбитах с радиусом 1 а.е. на примере релятивистских поправок δt_2 и δu_2, связанных с гравитационными потенциалами планет. Очевидно, что поправки δt_1 и δu_1, связанные с возмущением орбит аппаратов, будут иметь тот же порядок величины в силу закона сохранения энергии. Тот же порядок будут иметь и величина δu_3.

Для простоты оценки мы будем считать орбиты всех планет круговыми. В этом случае для всех планет, кроме Земли, поправка δt_2 будет иметь вековую и периодическую составляющие, причем период будет равен синодическому периоду планеты. Величина δu_2 будет иметь только периодическую составляющую с тем же периодом (так как аппарат находится на том же среднем по времени расстоянии от планеты). Амплитуда ее изменения будет зависеть от разности фаз орбитального вращения аппарата и Земли, достигая максимума для аппарата, находящегося по другую сторону от Солнца. В этом случае амплитуда изменения δu_2 достигнет удвоенной амплитуды периодических изменений δt_2. Гравитационное поле Земли будет приводить к вековому сдвигу как для величины δt_2, так и для величины δu_2. Он будет зависеть от расстояния аппарата от Земли.

В таблице приведены значения вековых и периодических сдвигов времени за счет влияния каждой из восьми планет. Видно, что наибольшее влияние оказывает Юпитер, но даже его влияние можно не принимать в расчет при определении координат гамма-всплесков. Вековой сдвиг от гравитационного поля Земли приведен для аппарата, удаленного всего на 0.1 а.е. от нашей планеты, и даже в этом случае он остается крайне малым. Столь же малым будет и влияние возмущений орбит аппаратов за счет взаимодействий с планетами.

Ситуация качественно не изменяется и для аппаратов конфигурации A, обращающихся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам. Конечно, определенные сдвиги собственной шкалы времени могут произойти во время возможных тесных сближений этих аппаратов с Венерой и Землей, но такие сближения будут носить редкий единичный характер, и проблема будет снята при синхронизации часов после подобного явления.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен количественный анализ релятивистских поправок при пересчете различных шкал времени, необходимом для космической астрометрии гамма-всплесков методом триангуляции. Оказалось, что при требуемой точности временной синхронизации часов аппаратов (10^{-4} с) можно не учитывать эффекты, связанные с гравитационным воздействием больших планет. Основным эффектом при пересчете из аппаратной в барицентрическую шкалу времени будет гравитационное поле Солнца и орбитальное вращение аппарата вокруг него. При этом в случае круговой орбиты аппарата мы будем иметь только вековой сдвиг без периодических колебаний.

При сопоставлении аппаратной и геоцентрической шкал времени преимущество схемы с круговыми орбитами аппаратов становится особенно отчетливым. В этом случае две шкалы времени не будут иметь вековых сдвигов друг относительно друга, а амплитуда периодических колебаний не будет превышать $1.656*10^{-3}$ секунды. Эта величина ненамного превышает требуемую точность временных измерений и может быть легко учтена. С гораздо большими вековыми и периодическими сдвигами шкал времени мы сталкиваемся в случае конфигурации аппаратов А, в которой два аппарата из трех обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам.

Наряду с другими преимуществами систем с круговыми орбитами (особенно системы С), отмеченными в [3], факт малости релятивистских поправок дает основание считать именно эту систему (равносторонний треугольник со стороной 1.72 а.е.) оптимальной. Система А имеет только одно преимущество – технологическую простоту вывода аппаратов на орбиты [4], во всем остальном значительно уступая системе В и, особенно, системе С.

В любом случае, все необходимые релятивистские поправки при пересчете шкал времени могут быть учтены на основе точных данных об орбитах космических аппаратов и не создают непреодолимых препятствий для метода “космической триангуляции” измерения координат гамма-всплесков на небе, возможно, самого эффективного астрометрического метода в этой области электромагнитного спектра.

В заключение автор бы хотел выразить искреннюю благодарность В.Г. Курту и С.М. Копейкину за помощь и ряд ценных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постнов К.А. Космические гамма-всплески // УФН. 1999. Т.169. N5. С.545-558

2. Bisnovaty-Kogan G.S., Estulin I.V., Havenson N.G., Kurt V.G., Mersov G.A., Novikov I.D. The trasformation of the coordinates of a gamma burst source to a star catalogue // Astrophysics and Space Science. 1981. V.75. P.219-224.

3. Копейкин С.М., Курт В.Г., Угольников О.С. Прецезионная космическая астрометрия гамма-всплесков // Космические исследования. 2000. Т.38. N4. С.?

4. Курт В.Г., Тихомирова Я.Ю., Шейхет А.И. Можно ли решить проблему происхождения космических гамма-всплесков? // Космические исследования. 1996. Т.34. N6. С.564-570.

HIGH-PRECISION SPACE ASTROMETRY OF COSMIC GAMMA-RAY BURSTS. II. RELATIVISTIC CORRECTION AT THE TIME SCALE TRANSFORMATIONS

O.S. Ougolnikov

Astro-Space Center, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,

Profsoyuznaya ul., 84/32, Moscow, 117810, Russia

This work is devoted to the method of gamma-ray burst coordinates measuring by the measuring of time delay of gamma signals on the different spacecrafts at the near-solar orbits. Based on the well-known relativistic time transformations between barycentric, geocentric and spacecraft reference frames we had calculated relativistic corrections for concrete systems of spacecrafts. We had defined which of these corrections are sufficient for this method.

Планета	δt_2		δu_2		Период
	веков.	период.	веков.	период.	
	с/год	с	с/год	с	сут.
Меркурий	$5.14*10^{-8}$	$1.02*10^{-9}$	—	$2.05*10^{-9}$	115.9
Венера	$9.10*10^{-7}$	$1.67*10^{-7}$	—	$3.35*10^{-7}$	583.9
Земля (0.1 а.е.)	$9.36*10^{-6}$	—	$9.36*10^{-6}$	—	—
Марс	$7.56*10^{-8}$	$1.67*10^{-8}$	—	$3.35*10^{-8}$	780.0
Юпитер	$5.77*10^{-5}$	$1.94*10^{-6}$	—	$3.88*10^{-6}$	398.9
Сатурн	$9.38*10^{-6}$	$1.63*10^{-7}$	—	$3.26*10^{-7}$	378.1
Уран	$7.09*10^{-7}$	$6.00*10^{-9}$	—	$1.20*10^{-8}$	369.7
Нептун	$5.33*10^{-7}$	$2.87*10^{-9}$	—	$5.73*10^{-9}$	367.5

Таблица. Значения релятивистских поправок за счет гравитационных полей планет.

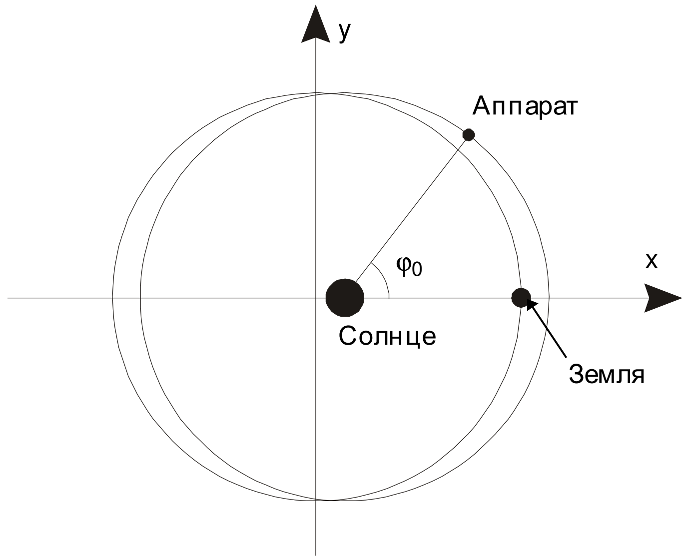

Рис.1. Орбита Земли и круговая орбита космического аппарата то в момент t_0=0.

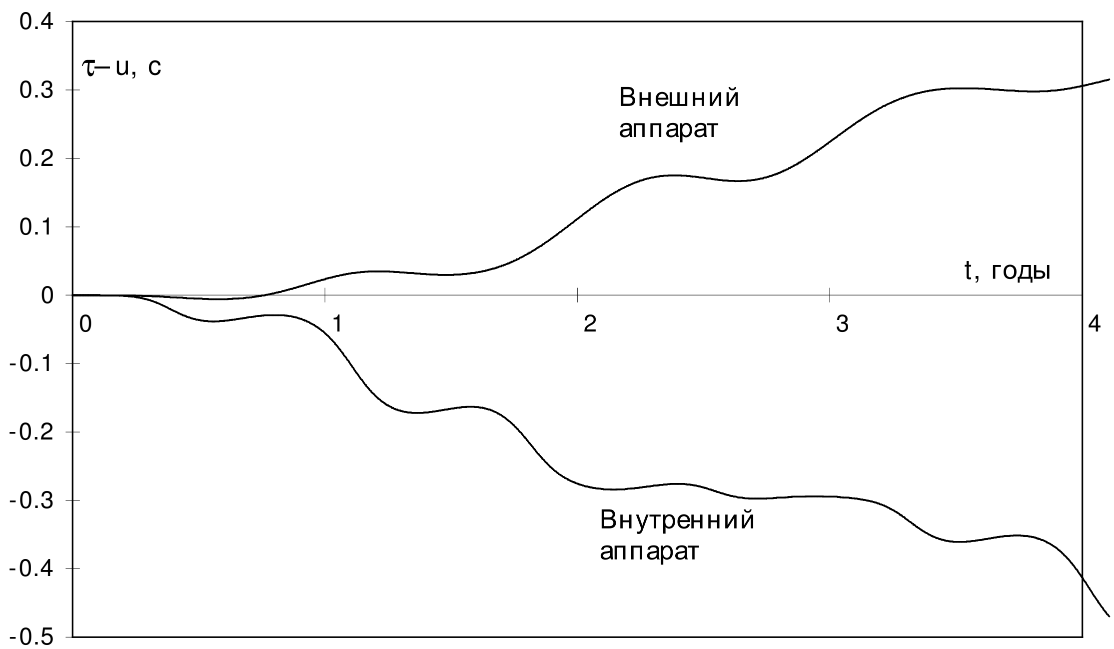

Рис.2. Разность между собственным и геоцентрическим временем для аппаратов на эллиптических орбитах в конфигурации А.