Резолюция B1.5. Распространение в Солнечной системе релятивистского подхода на вопросы преобразования координатного времени

24-ая Генеральная ассамблея Международного астрономического союза,

принимая во внимание

1. что резолюция A4 21-ой Генеральной ассамблеи (1991 год) дала определения системам координат пространства–времени в рамках общей теории относительности для Солнечной системы (барицентрическая система отсчёта) и Земли (геоцентрическая система отсчёта),

2. что в резолюции B1.3, озаглавленной “Определение барицентрической и геоцентрической опорных систем отсчёта”, эти системы переименованы, соответственно, в барицентрическую небесную систему отсчёта и геоцентрическую небесную систему отсчёта, и даны общие указания для представления метрических тензоров и проведения преобразований координат в постньютоновском приближении,

3. что, опираясь на ожидаемое улучшение характеристик атомных часов, будущие измерения времени и частоты потребуют практического применения шкалы, задаваемой этим устройством, в барицентрической системе отсчёта, и

4. что теоретические исследования в этом направлении уже выполнены,

рекомендует

чтобы в приложениях, имеющих дело с преобразованиями координат и вычислениями координатного времени в пределах Солнечной системы, Резолюция B1.3 применялась следующим образом:

1. компоненты метрического тензора имеют вид

$$g_{00} = -\left(1 - \frac{2}{c^2}(w_0(t,\vec{x}) + w_L(t,\vec{x})) + \frac{2}{c^4}(w_0^2(t,\vec{x}) + \Delta(t,\vec{x}))\right),$$

$$g_{0i} = -\frac{4}{c^3}w^i(t,\vec{x}),$$

$$g_{ij} = \left(1 + \frac{2w_0(t,\vec{x})}{c^2}\right)\delta_{ij},$$

   где $(t \equiv TCB, \vec{x})$ — барицентрические координаты, $w_0 = G\sum\limits_A \frac{M_A}{r_A}$, суммирование выполняется по всем телам Солнечной системы A, $\vec{r}_A = \vec{x} - \vec{x}_A$, $\vec{x}_A$ — координаты центра масс тела A, $r_A = |\vec{r}_A|$, а w_L является разложением по мультипольным моментам внешнего потенциала каждого из небесных тел (определение мультипольных моментов дано в резолюции B1.4 "Коэффициенты потенциала в постньютоновском приближении"). Формула векторного потенциала $w^i(t,\vec{x}) = \sum\limits_A w_A^i(t,\vec{x})$ и функции $\Delta(t,\vec{x}) = \sum\limits_A \Delta_A(t,\vec{x})$ даны в замечании 2.

2. соотношение между TCB и геоцентрическим координатным временем TCG с достаточной точностью может быть записано в

виде

$$
\begin{aligned}
TCB - TCG = c^{-2} & \left[\int\limits_{t_0}^{t} \left(\frac{v_E^2}{2} + w_{0ext}(\vec{x}_E) \right) dt + v_E^i r_E^i \right] \\
& - c^{-4} \int\limits_{t_0}^{t} \left(-\frac{1}{8} v_E^4 - \frac{3}{2} v_E^2 w_{0ext}(\vec{x}_E) + 4 v_E^i w_{ext}^i(\vec{x}_E) + \frac{1}{2} w_{0ext}^2(\vec{x}_E) \right) dt \\
& - c^{-4} \left(3 w_{0ext}(\vec{x}_E) + \frac{v_E^2}{2} \right) v_E^i r_E^i,
\end{aligned}
$$

где v_E скорость Земли относительно барицентра, а индекс ext означает суммирование по всем телам, исключая Землю.

Замечания

1. *На расстояниях от Солнца, превышающих несколько солнечных радиусов, формулы обеспечивают относительную погрешность не хуже, чем* 5×10^{-18}, *и, для почти периодических членов, не хуже, чем* 5×10^{-18} *в амплитуде и* 0.2×10^{-12} *угловых секунд по фазе. Погрешности такого же порядка возникают при преобразованиях между* TCB *и* TCG *на расстояниях до 50000 км вокруг Земли. Неопределённости в значениях астрономических постоянных могут быть причиной гораздо больших погрешностей.*

2. *с точностью, указанной выше, векторный потенциал* $w_A^i(t, \vec{x})$ *небесного тела* A *имеет вид*

$$
w_A^i(t, \vec{x}) = G \left[-\frac{[\vec{r}_A \times \vec{S}_A]^i}{2 r_A^3} + \frac{M_A v_A^i}{r_A} \right],
$$

где $\vec{S}_A$ *— полный угловой момент тела* A *и* v_A^i *— компоненты барицентрической скорости тела* A. *С той же точностью для функции* $\Delta_A(t, \vec{x})$ *достаточно использовать выражение*

$$
\begin{aligned}
\Delta_A(t, \vec{x}) = \frac{G M_A}{r_A} \Big[& -2 v_a^2 + \sum_{B \neq A} \frac{G M_B}{r_{BA}} \\
& + \frac{1}{2} \left(\frac{\left(r_A^k v_A^k\right)^2}{r_A^2} + r_A^k a_A^k \right) \Big] + \frac{2 G v_A^k [\vec{r}_A \times \vec{S}_A]^k}{r_A^3},
\end{aligned}
$$

где $r_{BA} = |\vec{x}_B - \vec{x}_A|$, *а* a_A^k *— барицентрическое ускорение тела* A. *В этих формулах величины* $\vec{S}_A$ *необходимы только для Юпитера* ($S \approx 6.9 \times 10^{38} m^2 s^{-1} kg$) *и Сатурна* ($S \approx 1.4 \times 10^{38} m^2 s^{-1} kg$) *в непосредственной близости от этих планет.*

3. *Поскольку настоящие рекомендации дают расширение рекомендаций МАС 1991 до полной справедливости в первом постньютоновском приближении, постольку постоянные* L_C *и* L_B, *введённые в рекомендациях МАС 1991, могли бы быть определены соотношениями* $< TCG/TCB >= 1 - L_C$ *и* $< TT/TCB >= 1 - L_B$, *где через* TT *обозначено Земное время и* $<>$ *означает осреднение на больших интервалах, выполненное в геоцентре. Последняя оценка величины* L_C *дана в (Irwin A. and Fukushima T., Astron. Astroph.,* **348**, *642–652, 1999)* $L_C = 1.48082686741 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}$.

   На основе резолюции B1.9 "Переопределение Земного времени TT" выводим $L_B = 1.55051976772 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}$ *с помощью связи* $1 - L_B = (1 - L_C)(1 - L_G)$. *Величина* L_G *определена в резолюции B1.9.*

   По причине невозможности дать однозначные и независимые определения параметрам L_B *и* L_C, *эти постоянные не должны использоваться в формулах преобразований в тех случаях, когда необходимо знание значений величин с погрешностями порядка* 1×10^{-16} *и лучше.*

4. *Если величина* $TCB - TCG$ *вычисляется с помощью современных численных эфемерид планет, аргументом которых является переменная, обозначаемая* T_{eph}, *близкая к барицентрическому динамическому времени* (TDB), *а не к аргументу* TCB, *первый интеграл в рекомендации 2, приведённой выше, может*

быть вычислен по формуле

$$\int\limits_{t_0}^{t} \left(\frac{v_E^2}{2} + w_{0ext}(\vec{x}_E) \right) dt = \frac{1}{1 - L_B} \left[\int\limits_{T_{eph_0}}^{T_{eph}} \left(\frac{v_E^2}{2} + w_{0ext}(\vec{x}_E) \right) dt \right].$$