

Проверка теории относительности и ограничения на вековое изменение гравитационной постоянной по современным наблюдениям планет и космических аппаратов

Е. В. Питьева

Институт Прикладной Астрономии РАН

Точность классических меридианных наблюдений планет составляла $0''5$, что вполне соответствовало аналитическим теориям движения планет, использовавшимся до 60-х годов прошлого века. Прогресс в развитие техники, введение в астрономическую практику Международной шкалы атомного времени и новых радиотехнических наблюдательных методов (локация планет и Луны, траекторные измерения, интерферометрия спутников и квазаров) привели к революции в астрометрии и эфемеридной астрономии. Точность радарных наблюдений космических аппаратов (КА), на которых основываются эфемериды внутренних планет, достигает 1 м (10^{-12} в расстояниях). Точность радиоинтерферометрических наблюдений КА около планет на фоне квазаров, которые определяют ориентацию планетных эфемерид, составляет меньше миллисекунды дуги. В настоящее время оптические наблюдения планет и их спутников – это ПЗС наблюдения, точность их уже достигла $0''05$.

Современные высокоточные позиционные наблюдения планет и КА позволяют улучшать не только орбитальные элементы планет, и константы, связанные с эфемеридами, такие как величина астрономической единицы, массы и вращение планет, но и определять некоторые физические параметры, характеризующие фундаментальные свойства нашего физического пространства.

Более 400000 позиционных наблюдений планет и КА разных типов, в основном, радиотехнических (1961–2008 гг.), были использованы для тестирования релятивистских параметров и оценки изменения гравитационной постоянной. Анализ наблюдений проводился на основе эфемерид ЕРМ ИПА РАН, построенных совместным численным интегрированием уравнений движения девяти больших планет, Солнца, Луны, астероидов и транс-нептуновых объектов, выполненным в постньютоновском приближении.

Главный и лучше всего определяемый релятивистский эффект в солнечной системе — это вековое движение перигелия Меркурия, который определяется линейной комбинацией ППН параметров (β, γ) и сжатием Солнца (J_2). Однако, β, γ и J_2 вызывают различные вековые и периодические эффекты в орбитальных элементах всех планет, и поэтому их удалось получить из совместного решения: квадрупольный момент Солнца $J_2 = (2.0 \pm 0.5) \cdot 10^{-7}$, $|\beta - 1| < 0.0002$, $|\gamma - 1| < 0.0002$, верхний предел на возможное изменение гравитационной постоянной $|\dot{G}/G| < 5 \cdot 10^{-13}$ в год.

Из наблюдаемых поправок к теоретическим значениям движения перигелия внутренних планет можно получить оценку на верхний предел плотности темной материи в Солнечной системе, а значения поправок для внешних планет существенно ограничивают альтернативные теории гравитации, привлекаемые для объяснения аномального ускорения КА Pioneers.