

Е. Ю. Алешкина, Г. А. Красинский, Е. В. Питьева, М. Л. Свешников, Экспериментальная проверка релятивистских эффектов и оценка величины изменения гравитационной постоянной по наблюдениям внутренних планет и Луны. Быстрое развитие техники позиционных наблюдений планет за последние десятилетия сделало актуальной задачу проведения новой проверки релятивистских эффектов в движении внутренних планет и Луны. Существенно новым элементом при этом является введение в астрономическую практику с 1959 г. атомной шкалы времени, в связи с чем возникла необходимость одновременного определения величины векового расхождения между шкалой атомного времени, в которой проводятся наблюдения, и шкалой динамического времени, в которой справедливы уравнения движения ОТО. Согласно Кануто <sup>1</sup>, вековое расхождение между этими шкалами можно интерпретировать в терминах вариации величины гравитационной постоянной  $G$ , выраженной в атомных единицах времени. Непосредственно наблюдаемый эффект в планетных долготах зависит от временного интервала квадратически, в связи с чем уже в настоящее время величина  $G/G$  определяется с погрешностью порядка  $10^{-11}$ /год. Это как раз тот уровень, на котором ожидается переменность  $G$ , согласно некоторым физическим аргументам (например, в соответствии с гипотезой больших чисел Дирака) <sup>2</sup>. Наблюдаемый эффект пропорционален орбитальной угловой скорости и является наибольшим для Луны. Однако нахождение вариаций  $G$  из лунных наблюдений затруднительно в силу того, что аналогичный по форме, но гораздо больший по величине вклад в долготу Луны вносит вековое уменьшение  $\dot{n}_M$  средней угловой скорости орбитального движения Луны.

Данный эффект обусловлен земными приливами и не может быть с достаточной степенью точности предвычислен теоретически. Согласно идее Ван Флан-дерна<sup>3</sup>, эта неопределенность может быть раскрыта привлечением классических лунных наблюдений XVIII — XX вв., выполненных в шкале всемирного времени; получаемая таким путем оценка  $\dot{n}_M$  не будет искажена возможными вариациями  $G$ . Однако определение  $\dot{n}_M$  из наблюдений XVIII — XX вв. возможно только при одновременном уточнении шкалы всемирного времени, что, в свою очередь, требует привлечения планетных наблюдений. Таким образом, возникает сложный комплекс взаимосвязанных задач, для решения которых требуется обработать огромное количество планетных и лунных наблюдений, проведенных за последние два с половиной столетия. Выполнение такой программы во всем объеме все еще представляется делом будущего, однако уже в настоящее время получены некоторые предварительные результаты. В рамках работы по этой программе в ИТА АН СССР построена численная теория движения больших планет и Луны на интервале 1715—2000 гг. и проведена обработка как современных планетных и лунных наблюдений (радиолокационных и лазерных), так и обширных рядов классических наблюдений (меридианных, прохождений Меркурия и Венеры по диску Солнца, лунных покрытий) и получены некоторые результаты<sup>4</sup> по экспериментальному обнаружению эффектов ОТО и определению величины  $\dot{G}/G$ . В частности, из обработки более 5000 радиолокационных наблюдений 1961—1982 гг. (выполненных, в основном, в ИРЭ АН СССР) определены параметры ППН формализма<sup>5</sup>, которые оказались согласующимися с ОТО в пределах своих вероятностных ошибок. Для наглядности приведем результаты, ниже выраженные в терминах наблюденного отклонения векового движения перигелия Меркурия от теоретического значения ОТО:

$$d\dot{\pi} = -0'',15 \pm 0'',12.$$

Хорошее согласие с предсказаниями ОТО требует объяснения, поскольку имеются современные данные, свидетельствующие об отличии от нуля квадрупольного момента  $J_2$  Солнца. А именно, из анализа гелиосейсмических наблюдений Хилл<sup>6</sup> получил значение

$$J_2 = (5,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-6},$$

которому соответствует дополнительное движение перигелия Меркурия  $0'',7$  в столетие, что противоречит приведенной выше оценке  $d\dot{\pi}$ . Если данные Хилла подтвердятся, то это может означать, что наилучшим образом наблюдениям удовлетворяет не ОТО, а модель ППН формализма с параметром  $\beta$ , значение которого отлично от единицы:

$$\beta = 1,057 \pm 0,009.$$

К сожалению, крайне скудный наблюдательный материал по радиолокационным наблюдениям Меркурия (а именно, полное отсутствие наблюдений с 1965 по 1980 гг.) не позволяет считать наше определение вполне надежным, несмотря на малость формальной оценки для ошибки определения.

Величина  $d\dot{\pi}$  была нами<sup>7</sup> также выведена из анализа всех прохождений Меркурия по диску Солнца с 1723 г. Наилучшая из полученных оценок

$$d\dot{\pi} = 0'',19 \pm 0'',33$$

заметно уступает приведенной выше оценке, основанной на современных наблюдениях.

Для величины  $\dot{G}/G$  из совместной обработки радиолокационных наблюдений была получена статистически значащая ненулевая оценка<sup>4</sup>

$$\frac{\dot{G}}{G} = (3,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-11}/\text{год}.$$

Если результаты интерпретировать в соответствии с подходом Кануто, то у этой величины следует изменить знак. Все определения были нами проведены дважды — по планетной теории, созданной в ИТА, и по теории движения, развитой в Лаборатории реактивного движения (JPL), причем результаты оказались слабо зависящими от теории (см. таблицу, в которой приведены также определения других авторов).

Определение вариации гравитационной постоянной  $\dot{G}/G$   
из наблюдений (в ед.  $10^{-11}/\text{год}$ )

Меркурий	Венера	Марс	Средне- взвешенное	Общее решение	Источник
6,0 ± 4 — —	6,0 ± 6 — —	25,0 ± 33 — —	6,2 ± 3,3 — —	15,0 ± 9 14,2 ± 1,2 0,2 ± 0,4	11 12 8
—0,9 ± 5,2	3,7 ± 0,8	16,1 ± 2,4	4,8 ± 2,0	4,1 ± 0,8 <sup>а</sup>	4
—0,9 ± 5,2	3,8 ± 0,8	3,6 ± 2,4	3,7 ± 0,6	3,7 ± 0,8 <sup>б</sup>	4
—2,6 ± 5,2	2,8 ± 0,6	13,4 ± 2,4	3,3 ± 1,8	3,1 ± 0,6 <sup>а</sup>	Настоящая работа
—1,2 ± 5,2	3,2 ± 0,6	3,1 ± 2,4	3,2 ± 0,5	3,1 ± 0,6 <sup>б</sup>	

а —Теория ИТА. б —Теория JPL.

Данные в последних двух строчках получены пересмотром результатов<sup>4</sup> с привлечением новых наблюдений Венеры 1985 г.

Отметим качественное согласие наших результатов с данными американских авторов, полученными также по радиолокационным наблюдениям (самые первые определения давали для  $\dot{G}$  нереально большие значения, по-видимому, вследствие малости временного интервала). Заметим, однако, что предварительные результаты обработки высокоточных наблюдений КА «Mariner-9» и спускаемых аппаратов «Viking» свидетельствуют о статистически незначимом отклонении  $\dot{G}$  от нуля (третья строка таблицы). Для того чтобы можно было более наглядно судить о степени надежности нашей оценки  $\dot{G}$ , на рисунке приведены остаточные невязки в планетных долготах, возникающие без учета вековых вариаций  $G$ . Парабола на рисунке соответствует значению  $\dot{G}/G = 3,7 \cdot 10^{-11}/\text{год}$ . Параболический тренд в невязках усматривается довольно уверенно, хотя не исключено, что он обусловлен систематическими ошибками старых наблюдений (выполненных до 1966 г.).

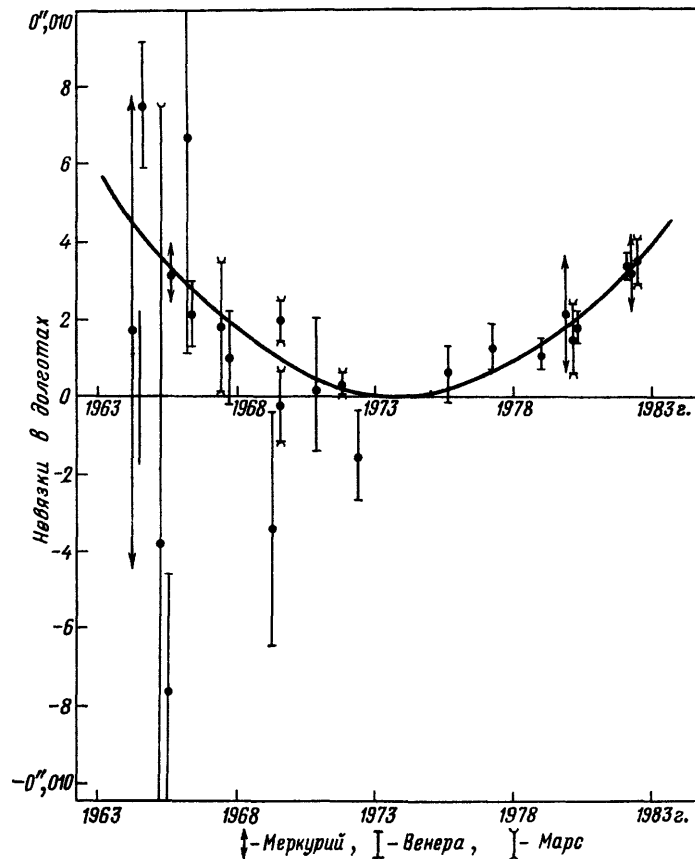
Нами была также выполнена попытка оценить величину  $\dot{G}$  из обработки наблюдений лунных покрытий внутренних планет и Альдебарана, а также солнечных затмений с 1730 г., причем временная шкала была предварительно скорректирована по прохождением Меркурия и Венеры по диску Солнца. Результаты оказались в очень хорошем согласии с классическим определением Спенсер Джонса<sup>9</sup>, но противоречащими целому ряду определений последних лет. Мы полагаем, однако, что наша оценка для  $\dot{n}_M$  (в шкале UT)

$$\dot{n}_M = -22'',9 \pm 0'',9$$

является наиболее точной из всех оценок подобного типа. Сопоставляя ее со значением  $\dot{n}_M$ , выведенным из анализа лунных лазерных наблюдений<sup>10</sup> (в атомной шкале) получим оценку

$$\frac{\dot{G}}{G} = (-0,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-11}/\text{год},$$

которая, как это видно, не согласуется с приведенной выше оценкой  $\dot{G}/G$ . Следует при этом иметь в виду, что методика нахождения  $\dot{G}$  по лунным



Наблюдаемые невязки в долготах планет вследствие вековых вариаций гравитационной постоянной  $G$

наблюдениям является очень косвенной и потому представляется малоперспективной. Напротив, с большой степенью уверенности можно ожидать, что в ближайшие несколько лет точность определения  $\dot{G}/G$  по радиотехническим наблюдениям внутренних планет будет улучшена примерно на порядок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Canuto V. M., Hsieh S.-H., Owen J. R. // Mon. Not. RAS 1979. V. 188. P. 829.
2. Dirac P. A. M. // Proc. Roy. Soc. Ser. A. 1974. V. 338. P. 439.
3. Van Flandern T. C. // High Precision Earth Rotation and Earth-Moon Dynamics: Lunar Distance and Related Observation. Proceedings of 63rd Colloquium of IAU. Grasse, May 22—27, 1981.— Dordrecht, Holland: D. Reidel 1982.— P. 207.
4. Krasinsky G. A., Aleshkina E. Yu., Pit'eva E. V. et al. // Symposium of IAU No. 114.— Leningrad, 1985.— P. 315.

5. Б р у м б е р г В. А. Релятивистская небесная механика.— М.: Наука, 1972.
6. H i l l H. A., B o s R. J., G o o d e P. R.//Phys. Rev. Lett. 1982. V. 49. P. 1794.
7. K r a s i n s k y G. A., S a r a m o n o v a E. Yu., S v e s h n i k o v M. L. et al.//Astron. and Astrophys. 1985. V. 145. P. 90.
8. H e l l i n g s R. W., A d a m s P. J., A n d e r s o n J. D. et al.//Phys. Rev. Letts. 1983. V. 51. P. 1609.
9. S p e n s e r J o n e s H.//Mon. Not. RAS 1939. V. 99. P. 541.
10. D i c k e y J. O., W i l l i a m s J. G., Y o l d e r C. F.//<sup>3</sup>.— P. 209.
11. R e a s e n b e r g R. D., S h a p i r o I. I.//Experimental Gravitation.— Roma: Accad. Naz. dei Lincei, 1978.— P. 71.
12. A n d e r s e n J. D., K e e s y M. S. W., L a u E. L. et al.//Acta Astronaut. 1978. V. 5. P. 43.