

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРБИТ МАРСА И ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МАРСА В 1964–1971 гг.

*М. Д. Кислик, Ю. Ф. Колюка, академик В. А. Котельников, Г. М. Петров,
В. Ф. Тихонов*

Доклады Академии наук СССР. 1979. Том 249, № 1

В настоящей статье излагаются результаты очередного этапа исследований, проводимых Институтом радиотехники и электроники АН СССР совместно с рядом организаций, по использованию радиолокационных наблюдений внутренних планет для построения высокоточных теорий их движения. Приводятся элементы орбит Марса и Земли, полученные совместной обработкой радиолокационных и оптических наблюдений и существенно улучшающие описание геоцентрического движения Марса по сравнению с классическими теориями. Эти орбиты могут быть использованы для обеспечения полетов к Марсу в ближайшие годы.

Определение орбит Марса и Земли проводилось по методике, примененной при обработке радиолокационных наблюдений Венеры [1]; значения масс планет и Луны были приняты теми же, что и в [1]. Исходная измерительная информация включала значения времени запаздывания отраженного сигнала, полученные в 1964–1971 гг. при радиолокации Марса Аресибской ионосферной обсерваторией (Пуэрто-Рико), Линкольновской лабораторией Массачусетского технологического института США и Институтом радиотехники и электроники АН СССР [2–4], а также оптические измерения угловых координат Марса и Солнца, выполненные в 1960–1975 гг. Николаевской обсерваторией АН СССР и Морской обсерваторией США [5, 6].

В основном варианте обработки определяемыми параметрами являлись 12 элементов гелиоцентрических орбит Марса и барицентра (центра масс) системы Земля–Луна. Астрономическая единица принималась по [1] равной $A = 499,0047746$ световых секунд ($A = 149\,597\,888,9$ км при скорости света $c = 299\,792,5$ км/с). Среднее значение радиуса Марса R_M для области, ответственной за отражение радиолокационного сигнала в рассматриваемой серии экспериментов (полоса ареографических широт от -23° до $+22^\circ$), было взято равным $R_M = 3394,0$ км. Результаты обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Эпоха $t_0 = \text{JD } 2\,440\,000,5 = 24 \text{ V } 1968, 0^{\text{h}}\text{ET}$		
Элементы орбит	Марс	Земля–Луна
Большая полуось a , астр, ед.	1,523 604 585	0,999 982 740
Эксцентриситет e	0,093 457 820	0,016 752 679
Аргумент перигелия ω , рад	5,798 586 418	1,783 278 315
Наклонение i , рад	0,430 917 343	0,409 163 665
Долгота восходящего узла Ω , рад	0,058 532 156	0,000 002 439
Время прохождения через узел t_{Ω}	JD2 439 872,983 814 1	JD2 440 122,595 354 2

Примечание. Система координат — гелиоцентрическая геоэкуаториальная эпохи 1960.0.

На рис. 1 показаны разности фактического $\tau_{\text{ф}}$ и определенного по данным табл. 1 расчетного $\tau_{\text{р}}$ времени запаздывания отраженного от поверхности Марса сигнала, переведенные в разности дальностей $\Delta\mathcal{D} = \frac{c}{2}(\tau_{\text{ф}} - \tau_{\text{р}})$. Только в начале мерного интервала, когда точность радиолокационных измерений была менее высокой, чем в последующие годы, величины $\Delta\mathcal{D}$ достигают 25–30 км, на всем же остальном участке они не превышают 10 км. Принимая во внимание особенности рельефа Марса, имеющего перепады высот до 15 км [7], можно считать достигнутое согласование измеренных и расчетных дальностей вполне удовлетворительным.

На рис. 1 показаны также разности $\Delta\mathcal{D}' = \frac{c}{2}(\tau_{\text{ф}} - \tau_{\text{р}}')$, где $\tau_{\text{р}}'$ — время запаздывания отраженного сигнала, вычисленное по данным [8], полученным на основе классических теорий. Величины $\Delta\mathcal{D}'$ значительно превышают как ошибки измерений, так и отклонения, обусловленные влиянием рельефа Марса, и характеризуют главным образом ошибки классических теорий движения Марса и Земли. На рассматриваемом интервале эти величины доходят до 80 км.

На рис. 2 приведены для 1972–1982 гг. отклонения $\Delta\mathcal{D}''$ геоцентрических дальностей Марса, вычисленных по данным [8], от прогнозируемых дальностей, рассчитанных на основе полученного решения. Значения $\Delta\mathcal{D}''$ доходят до 190 км.

Кроме основного, был просчитан дополнительный вариант обработки исходной измерительной информации. В этом варианте в состав определяемых параметров вместе с 12 элементами орбит Марса и барицентра системы Земля–Луна были включены астрономическая единица \mathcal{A} и средний радиус Марса $R_{\text{М}}$. Как и следовало ожидать по характеру отклонений $\Delta\mathcal{D}$ (см. рис. 1), полученные значения параметров \mathcal{A} и $R_{\text{М}}$ практически не изменились по сравнению с принятыми в основном варианте.

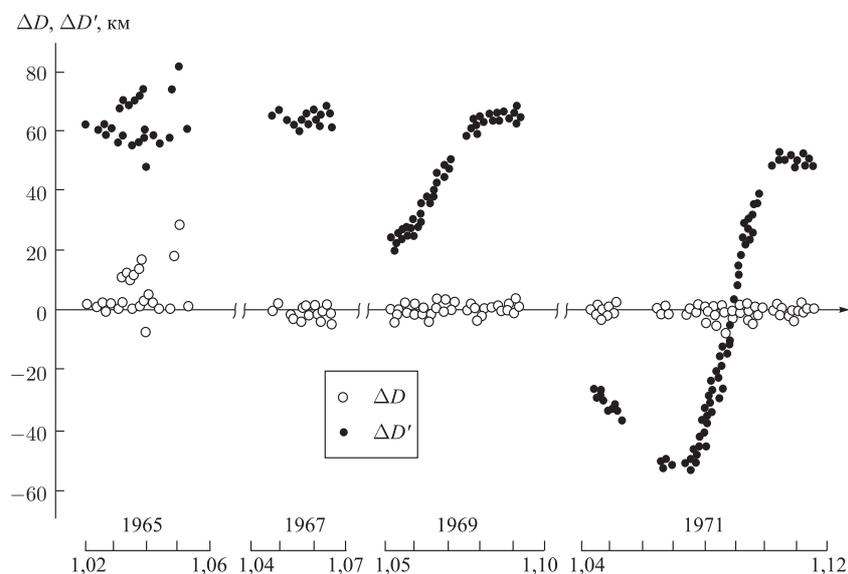


Рис. 1. Отклонения измеренных дальностей до Марса от расчетных значений, вычисленных для двух вариантов: ΔD — по орбитам Марса и Земли, полученным авторами статьи, $\Delta D'$ — по данным [8], основанным на классических теориях движения этих планет

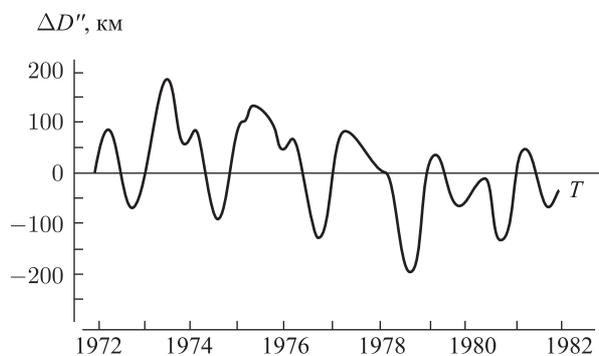


Рис. 2. Отклонения геоцентрических дальностей Марса, вычисленных по данным [8], от значений, рассчитанных по данным настоящей работы

Элементы орбиты барицентра системы Земля–Луна, приведенные в табл. 1, хорошо совпадают с элементами, полученными на основе радиолокационных наблюдений Венеры [1]: различия не выходят за пределы, допускаемые формальными оценками ошибок их определения. Исключение составляет только большая полуось a , для которой это различие равно $6 \cdot 10^{-8}$ астр. ед. Последнее, как показал предваритель-

ный анализ, может быть в некоторой мере объяснено релятивистскими эффектами в движении планет и распространении света, которые не полностью компенсируются соответствующими изменениями параметров ньютоновой модели [9] и проявляются при обработке радиолокационных наблюдений Венеры сильнее, чем при обработке наблюдений Марса.

Авторы выражают благодарность всем участникам работ по радиолокации Марса.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР, Москва

Поступило 24 VII 1991

Литература

1. М. Д. Кислик, Ю. Ф. Колюка и др., ДАН, т. 241, 1046 (1978).
2. R. B. Dyce, G. H. Pettengill, A. D. Sancher, *Astron. J.*, v. 72, 771 (1967).
3. G. H. Pettengill, C. C. Counselman et al., *ibid.*, v. 74, 461 (1969).
4. A. E. E. Rogers, G. H. Pettengill et al., *Radar Studies of Mars*, Lincoln Laboratory Report, 1970.
5. О. Т. Маркина, В. П. Ситилев, Склонения Солнца, Меркурия, Венеры, Марса и Юпитера, полученные на вертикальном круге Николаевской обсерватории, Гл. астрон. обсерв. АН СССР, Николаев, 1975.
6. *U.S.N.O. Circ.* №№ 103, 105, 115, 118, 127, 143.
7. G. H. Pettengill, A. E. Rogers, I. I. Shapiro, *Science*, v. 174, № 4016 (1971).
8. *Астрономический ежегодник СССР с приложением, 1960–1975.*
9. В. А. Брумберг, *Релятивистская небесная механика*, М., «Наука», 1972.