

## ПОЛЕТЫ К МЕРКУРИЮ

### § 1. Достижение Меркурия

Полет к Меркурию по гомановской траектории при его среднем расстоянии от Солнца (0,387 а. е.) требует начальной скорости 13,486 км/с и продолжается 105,5 сут. Значительный эксцентриситет орбиты Меркурия приводит к тому, что его расстояние от Солнца колеблется между 0,31 и 0,47 а. е. (46 и 70 млн км). Этот факт, а также наклон орбиты Меркурия ( $8^\circ$ ) должны учитываться при планировании полетов к Меркурию. Полет к афелию Меркурия, вообще говоря, легче полета к перигелию, если посылается пролетный или ударный зонд.

Средний синодический период Меркурия — менее 4 месяцев. Через такой промежуток времени повторяются условия, благоприятствующие полету к Меркурию. Продолжительность каждого такого сезона (появляющегося трижды в течение года) — не более недели. Наиболее благоприятны сезоны, совпадающие с началом ноября или началом мая, когда Земля находится вблизи линии узлов орбиты Меркурия и угловая дальность полета может быть близка к  $180^\circ$  (причем ноябрьские сезоны особенно выгодны, так как в этом случае точка прибытия к Меркурию находится вблизи его афелия). Один из трех благоприятных сезонов в течение года является именно таким [4.57].

Благоприятные сезоны еще сильнее отличаются друг от друга, чем при полетах к Марсу. Энергетические возможности фактически повторяются не через 4 месяца, а через 13 лет [4.58].

### § 2. Посадка и искусственный спутник Меркурия

При полете по гомановской траектории планетоцентрическая скорость входа космического аппарата в сферу действия Меркурия (ее радиус 112 000 км) равна 9,611 км/с. Скорость падения на по-

верхность планеты 10,509 км/с. Меркурий практически лишен атмосферы. Поэтому всю указанную скорость необходимо погасить с помощью тормозной двигательной установки, как это делалось при посадке на Луну. Суммарная характеристическая скорость для старта с поверхности Земли оказывается равной 26,2 км/с, а для старта с орбиты на высоте 200 км — 16,7 км/с (см. табл. 8). Характеристическая скорость торможения при посадке на Меркурий превышает характеристическую скорость выведения на низкую орбиту спутника Земли, так что тормозная двигательная установка должна быть двух- или трехступенчатой и на нее должна приходиться основная часть массы межпланетной станции. Иначе говоря, на траекторию полета к Меркурию должна быть выведена целая ракета, подобная (хотя и не по своей внешней форме) тем ракетам, которые сейчас выводят спутники на орбиты вокруг Земли. Ракета «Сатурн-5» тут не обеспечит старт с Земли.

Для выхода на низкую круговую орбиту при полете к Меркурию по гомановской траектории необходим тормозной импульс 7,5 км/с. Это дает суммарную характеристическую скорость для всего эксперимента при старте с поверхности Земли 22,6 км/с, при старте с околоземной орбиты 13,06 км/с (см. табл. 11). Фактические значения этих величин должны быть больше на несколько километров в секунду из-за наклона и существенного эксцентриситета орбиты Меркурия.

Причиной высоких энергетических затрат на мягкую посадку и запуск спутника служит не сильное притяжение Меркурия (напротив, оно очень слабо), а большая планетоцентрическая скорость входа в сферу действия, рекордная для Солнечной системы. Эта скорость вблизи перигелия Меркурия заметно меньше, чем вблизи афелия. Суммарные характеристические скорости будут минимальны, если в момент прибытия космического аппарата Меркурий находится вблизи своего восходящего узла, лежащего примерно в  $30^\circ$  от перигелия. Поэтому благоприятные для отлетов с Земли сезоны, приходящиеся на начало мая, особенно выгодны для активных операций вблизи Меркурия.

Стационарный спутник Меркурия не может быть запущен: слишком велик период вращения планеты вокруг оси. Он равен 58,6 сут, что составляет ровно  $\frac{2}{3}$  периода обращения вокруг Солнца (88 сут). Меркурий в перигелии обязательно повернут к Солнцу определенным своим полушарием или — через 88 сут — ему противоположным, а в афелии на Солнце смотрит линия разграничения полушарий [4.46] (солнечные сутки на Меркурии равны 176 сут). Один этот факт говорит о крайне неравномерном распределении масс Меркурия. Это должно явиться причиной сильных возмущений орбит спутников. Другая причина — возмущения со стороны Солнца, благодаря которым орбиты с эксцентриситетом больше 0,8 приведут к быстрой гибели спутника [4.58].

### § 3. Полет к Меркурию при попутном облете Венеры

Пертурбационный маневр в сфере действия Венеры может служить естественным способом достижения Меркурия при уменьшенной скорости отлета с Земли. Идея очень проста: пошлем станцию только до Венеры, а дальнейшее предоставим сделать гравитации Венеры. Если и придется сообщить дополнительный импульс вблизи Венеры, то не более 0,1 км/с [4.58]. Поле тяготения Венеры должно уменьшить скорость подлета станции к Меркурию, чтобы она смогла направиться дальше к центру Солнечной системы. Грубо говоря, участок траектории Венера — Меркурий делается равносильным траектории перелета космического аппарата, посланного к Меркурию жителями Венеры, если бы таковые могли существовать в пекле этой планеты.

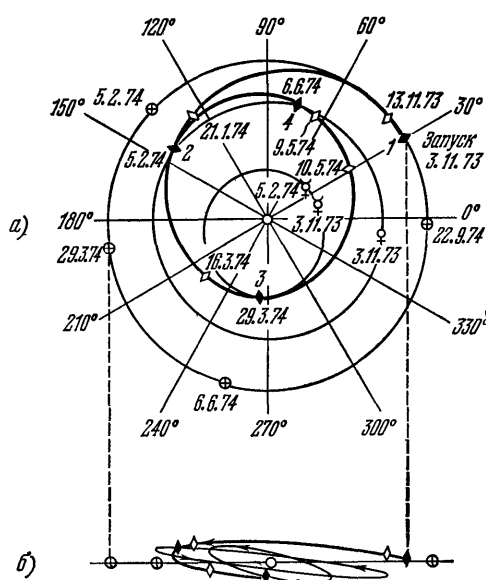


Рис. 150. Траектория космического аппарата «Маринер-10»: а) проекция на плоскость эклиптики, б) вид «сбоку». Ромбики — положения «Маринера-10»: светлые — во время коррекции, 1 — запуск, 2 — пролет Венеры, 3 — встреча с Меркурием вблизи афелия, 4 — заход за Солнце для Земли.

скорости (старт плюс активный маневр у Меркурия, если он нужен) по сравнению с прямым перелетом Земля — Меркурий чересчур мал [4.58]. Как пролет мимо Венеры, так и достижение Меркурия возможны на первых и на вторых полувитках траекторий <sup>1)</sup>, а также на вторых и более оборотах.

Попутный облет Венеры особенно важен, если ставится задача запуска искусственного спутника Меркурия [4.59] или спуска на его поверхность, так как он позволяет уменьшить планетоцентрическую скорость входа в сферу действия Меркурия благодаря умень-

<sup>1)</sup> Вторым полувитком называют вторую половину гелиоцентрической орбиты — после прохождения перигелия.

шению гелиоцентрической скорости, с которой аппарат нагоняет Меркурий.

Первый и единственный до 1979 г. полет к Меркурию был одновременно и первым пертурбационным маневром в гравитационном поле Венеры (рис. 150). Американский космический аппарат «Маринер-10» (масса 525 кг) был запущен 3 ноября 1973 г. с помощью ракеты «Атлас — Центавр» (начальная скорость 11,8 км/с на высоте 200 км). 4 февраля 1974 г. он пролетел с планетоцентрической скоростью 10 км/с на расстоянии 5740 км от Венеры и 29 марта со скоростью 11,1 км/с на расстоянии 720 км от Меркурия. Приращение скорости при облете Венеры составило 4,5 км/с. Отклонение на 1 км от расчетной точки вблизи Венеры грозило отклонением на 1000 км около Меркурия. Производились коррекции до и после облета Венеры. Выход из сферы действия Меркурия был рассчитан так, чтобы аппарат вышел на орбиту искусственной планеты с периодом обращения 176 сут. (двойной период Меркурия). (Практически это была почти та же орбита Венера — Меркурий: слишком слабо поле тяготения Меркурия!) Коррекции 9 и 10 мая 1974 г. обеспечили новую встречу с Меркурием 21 сентября 1974 г. — на расстоянии 48 000 км. 16 марта 1975 г. произошла третья встреча с Меркурием, успевшим после первой встречи 4 раза обойти Солнце. Последующие встречи уже проходили при отсутствии связи со станцией.

#### § 4. Полет с солнечно-электрическим двигателем

Поскольку полет к Меркурию сопровождается приближением к Солнцу, можно использовать преобразование солнечной энергии в электрическую для сообщения космическому аппарату малой тяги на межпланетном участке полета. Это позволяет вывести на орбиту спутника Меркурия большее количество научной аппаратуры, чем при импульсном полете, но приводит к увеличению продолжительности перелета.

В ряде работ [4.60—4.62] предлагается упрощенный метод выведения космического аппарата на орбиту спутника Меркурия, при котором исключаются восходящая спираль вблизи Земли и нисходящая около планеты назначения. При старте сообщается скорость, при которой выход из сферы действия Земли осуществляется с геоцентрической скоростью, меньшей, чем при импульсном полете к Меркурию (например, 5 км/с). Управление малой тягой осуществляется таким образом, чтобы к орбите Меркурия космический аппарат подошел с околонулевой скоростью относительно Меркурия. Тогда планетоцентрическое движение в сфере действия Меркурия осуществляется по траектории, близкой к параболе. Тормозной импульс в периферии этой траектории, переводящий аппарат на круговую орбиту, должен сообщаться термохимическим двигателем и будет равен приблизительно  $v_{кр}(\sqrt{2}-1)$ . На высоте 500 км это со-

ставит примерно 1 км/с (чуть больше, чем при запуске спутника Луны). Если же ставится задача выведения на сильно вытянутую орбиту спутника, то достаточен совсем слабый импульс (порядка 0,1 км/с) вдали от Меркурия<sup>1)</sup>. Аппарат совершит два-три витка вокруг Солнца за 300—400 сут, прежде чем сблизится с Меркурием.

Описанным путем с помощью ракеты-носителя «Титан-3Д — Центавр» на орбиту вокруг Меркурия высотой 500 км может быть доставлена полезная нагрузка 270 кг через 300 сут после старта, если удельный импульс одноступенчатой тормозной химической установки равен 300 с, удельный импульс ЭРД 2500 с (при мощности 15 кВт). В случае удельного импульса ЭРД 3500—4000 с той же цели можно достичь с помощью ракеты «Атлас — Центавр». Между тем доставка той же полезной нагрузки при двухступенчатой тормозной химической установке с прежним удельным импульсом потребовала бы ракеты «Инт-20» (первая и третья ступени ракеты «Сатурн-5»).

## § 5. Результаты исследований Меркурия

Меркурий обладает *собственным магнитным полем*, причем ось магнитного диполя составляет с осью вращения планеты угол около 12°. Полярность — такая же, как у Земли. Напряженность поля на полюсах составляет 0,7% напряженности земного магнитного поля. До полета «Маринера-10» господствовала уверенность, что Меркурий собственного магнитного поля не имеет.

Меркурий обладает ничтожной атмосферой, давление которой у поверхности  $(1 \div 2) \cdot 10^{-9}$  мбар. В ней зарегистрированы неон, аргон, ксенон, гелий, водород, но не обнаружены ни углекислый газ, ни пары воды. Источники существования такой атмосферы — потоки солнечной плазмы и радиоактивность пород планеты [4.63].

Температура поверхности достигает 345°C, в перигелии в подсолнечной точке даже 420°C, в афелии 290°C. Уже через два часа после захода Солнца температура снижается до —140°C и ночью может опуститься до —180°C [4.64].

Тысячи фотографий Меркурия, на многих из которых различимы детали в 50 м, дают четкое представление о поверхности Меркурия, напоминающей скорее лунную, чем марсианскую. Как и на Луне существуют «материки», покрытые многочисленными, но более мелкими кратерами, бассейнами и т. п. Бассейны на 6—9 км ниже окружающих их валов. На равнинах Меркурия не больше кратеров, чем в лунных «морях». Наблюдаются *эскарпы* — обрывы высотой 2—3 км, которые тянутся на сотни и тысячи километров. Напротив, щелей, подобных лунным, на Меркурии нет, как нет и каньонов

<sup>1)</sup> Рассуждения авторов цитированных работ здесь переведены на язык приближенной методики (метод сфер действия), принятой в настоящей книге.

марсианского типа. Высота гор до 4 км. Существуют признаки источников вулканизма. Подобно Луне Меркурий асимметричен: одно его полушарие в основном равнинное, другое — горное [4.63, 4.64]. Поиски спутников у Меркурия результатов не дали.

Дальнейшие планы США, сроки осуществления которых не конкретизированы, связаны с запусками двух спутников Меркурия, доставляемых одним космическим аппаратом, пролетающим мимо Венеры. Один из них выводится на круговую орбиту высотой 105 км, другой — на сильно вытянутую эллиптическую орбиту с перигелием на той же высоте. Первый предназначен для изучения физики и химии планеты, второй — ее магнитосферы, а также солнечного ветра и вообще Солнца.