

## РАДИОЛОКАЦИЯ ПЛАНЕТ

*В. А. Котельников*

Вестник Академии наук СССР, 1964, № 1

Радиоволны, посылаемые с Земли в сторону планеты, отражаются нее и возвращаются обратно, неся некоторую информацию. По запаздыванию сигналов можно определить расстояние до планеты, по смещению частоты отраженных сигналов — скорость ее движения. Эти сведения дают возможность уточнить орбиты планет.

Сигналы, отраженные от отдельных элементов поверхности планеты, имеют разное запаздывание и разный дополнительный сдвиг частоты, вызванный эффектом Доплера из-за вращения планеты. Поэтому по энергии отраженных сигналов представляется возможным определить как средний коэффициент отражения всей ее поверхности, так и коэффициенты отражения отдельных элементов. По смещению частоты этих сигналов можно судить и о вращении планеты.

Радиолокационные наблюдения Луны были начаты в первые годы после войны с помощью созданных тогда мощных радиолокационных установок. Они показали, что средний коэффициент отражения Луны порядка 7%. Затем были получены отражательные карты (довольно грубые) посредством разделения отражений от разных частей Луны.

В перспективе применение очень мощного телескопа с ножевым лучом, о котором говорил С. Э. Хайкин, позволит составить очень подробные радиолокационные карты Луны. В этом случае при ширине луча в 2'' можно облучать на Луне полосу шириной в несколько километров. Отраженные сигналы от отдельных элементов этой полоски нетрудно будет разделить или за счет разного запаздывания или разного доплеровского смещения частоты.

Следующим объектом, который подвергся радиолокации, была Венера. Результаты первых опытов, проделанных в 1958 г. в США и повторенных в 1959 г. в Англии, как теперь выяснилось, были ошибочными. В них за отраженный сигнал приняли шумы.

Впервые радиолокация Венеры была действительно проведена в 1961 г. в США, Англии и Советском Союзе во время нижнего соединения (наименьшее расстояние около  $40 \cdot 10^6$  км) с помощью созданных к этому времени более мощных и совершенных радиолокаторов. Измерения расстояния до Венеры и скорости изменения

этого расстояния существенно уточнили значение астрономической единицы.

Дело в том, что элементы орбит планет довольно точно выражены через так называемую астрономическую единицу длины (условную единицу, примерно равную большой полуоси земной орбиты). Таким образом, вычисляя расстояние до планеты или скорость изменения этого расстояния в астрономических единицах, а затем измеряя их с помощью локатора в метрах, можно определить величину астрономической единицы.

Астрономическая единица устанавливалась до этого различными методами неоднократно, но все же была известна со сравнительно малой точностью.

Значения астрономической единицы, полученные в различных опытах, представлены на рис. 1. На нем показана также оценка точности результатов самими авторами опытов. Как видно из рисунка, радиолокационные наблюдения 1961 г. дали совпадающие и намного более точные, чем раньше, сведения. Надежность их не вызывает никакого сомнения, поскольку измерения повторялись много раз и отношение сигнал-шум было достаточно велико.

В 1962 г. в США, Англии и СССР снова была проведена радиолокация Венеры вблизи нижнего соединения. Я остановлюсь только на наших результатах. Благодаря усовершенствованиям, внесенным в радиолокатор (применение мазера, повышение мощности передатчика и др.), они были более полными.

На рис. 2 по оси абсцисс отложены даты наблюдения, по оси ординат — разность между измеренным радиолокационным способом и вычисленным расстоянием до Венеры  $\Delta r$ . Вычисления велись на основе аналитической теории Ньюкома с поправкой Данкома. За астрономическую единицу при этом было принято определенное нами в 1961 г. после полной обработки наблюдений значение, равное 149 599 300 км, радиус Венеры взят равным 6100 км. На рисунке показана также результирующая погрешность измерений за данный день. Штрих-пунктирные линии означают, как должно было бы меняться  $\Delta r$  при различных значениях астрономической единицы. Как видно, экспериментальные точки не ложатся ни на одну из этих кривых. Сплошная линия соответствует случаю который будет иметь место, если принять за астрономическую единицу расстояние 149 597 900 км (это расстояние не выходит за пределы точности измерения 1961 г.), за радиус Венеры — 6020 км и предположить, что фактическое положение центра Венеры на ее орбите смещено относительно расчетного на 270 км по движению.

Последующие радиолокационные наблюдения, особенно проведенные при других положениях Венеры на ее орбите, и обработка результатов, очевидно, позволят уточнить не только параметры орбиты Венеры и ее радиус, но и параметры орбиты Земли.

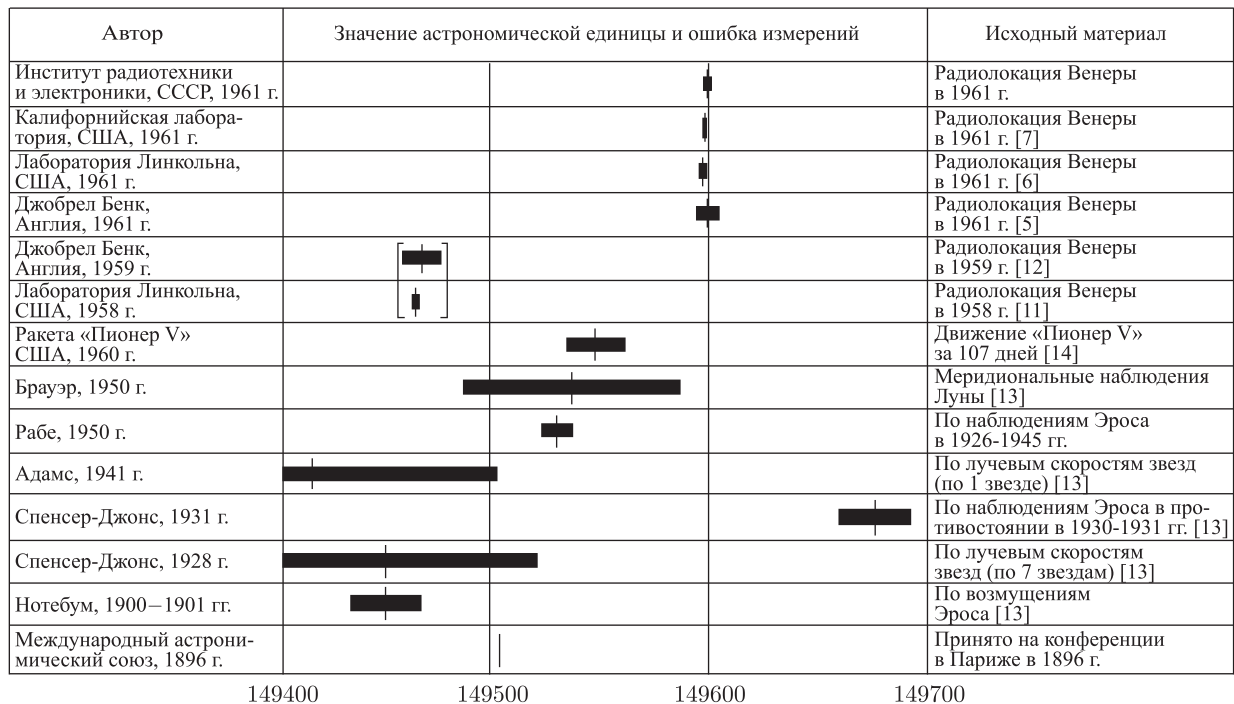


Рис. 1. Результаты определения астрономической единицы радиолокационными и астрономическими методами

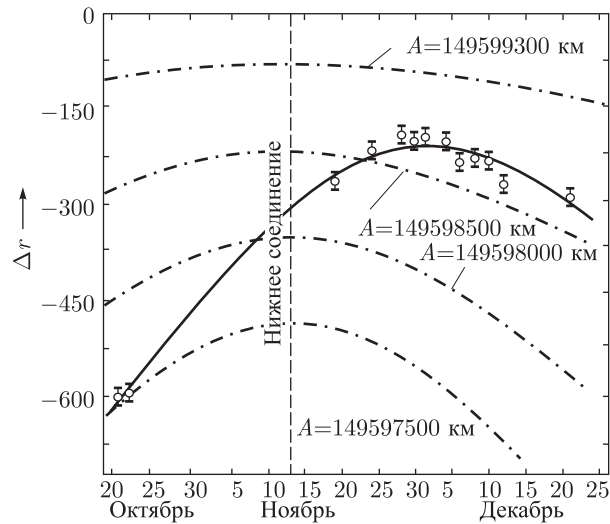


Рис. 2. Изменение расстояния между Землей и Венерой относительно расчетного значения

На рис. 3 по оси ординат отложена средняя за 48 сеансов энергия отраженных сигналов (в относительных единицах), по оси абсцисс — расстояния  $\Delta R$ , на которых произошло отражение этих сигналов. За нулевое взято расстояние до ближайшей точки Венеры. Таким образом, самый большой столбик показывает энергию сигналов, отраженных от ближайшей к нам зоны глубиной 37,5 км. Энергию, соответствующую отрицательным значениям  $\Delta R$ , можно отнести за счет несовершенства метода. Как видно из рисунка, удавалось зарегистрировать энергию, отраженную от элементов поверхности Венеры, удаленных от нас на 1500 км дальше, чем ее ближайшая точка. На основании этого рисунка можно определить зависимость среднего коэффициента отражения поверхности Венеры от угла падения волны.

На рис. 4 дан спектр отраженных сигналов (средний за 20 сеансов) при монохроматическом облучении Венеры. Размытие спектра происходит, очевидно, за счет смещения частоты, вызванного эффектом Доплера, из-за вращения Венеры по отношению к линии Земля — Венера. Спектр в различные дни был разным. Это показывает, что относительное вращение было неодинаковым.

Если принять, что поверхность Венеры однородна и ось ее вращения перпендикулярна плоскости орбиты, то на основании данных рис. 3 можно, задаваясь различными скоростями вращения, определить спектр отраженных сигналов. Сравнивая этот спектр с экспериментально полученным за различные дни наблюдений, можно найти относительную скорость вращения Венеры в эти дни. Полученное значение скорости соответствует кружочкам на рис. 5. На нем же приведены

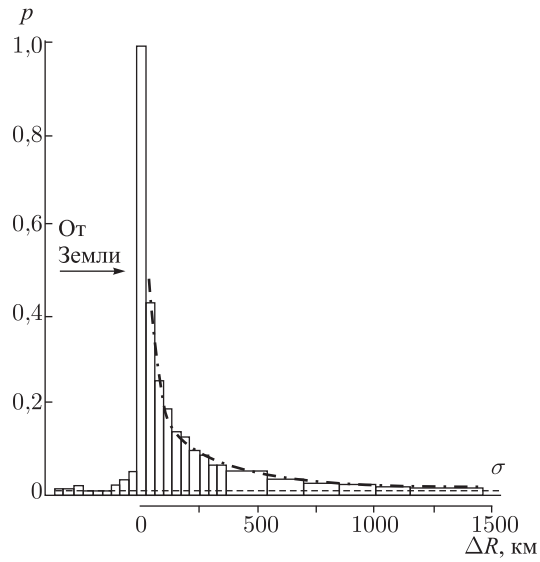


Рис. 3. Распределение энергии отраженных сигналов по дальности относительно ближайшего к Земле участка поверхности Венеры

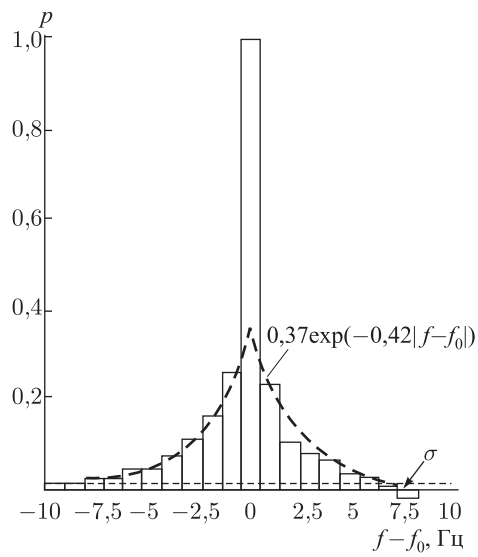


Рис. 4. Средний спектр отраженных от Венеры сигналов при монохроматическом облучении

значения относительной скорости вращения Венеры, вычисленной при различных периодах ее вращения в инерциальной системе координат,  $T = \infty$  соответствует случаю, когда Венера не вращается совсем,  $T = 225$ , когда она повернута к Солнцу всегда одной и той же стороной (как Луна к Земле).

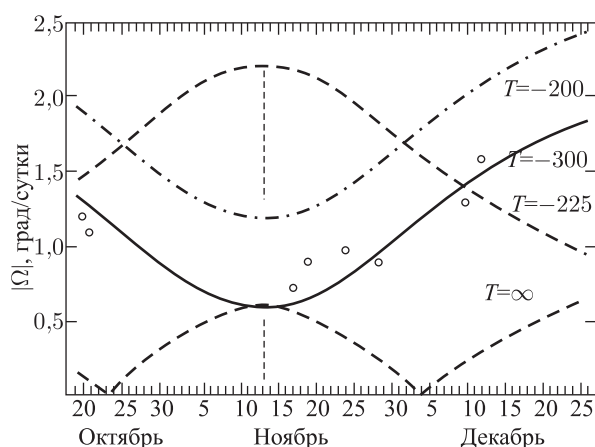


Рис. 5. Определение периода вращения Венеры

Как видно из этого рисунка, лучше всего полученные данные соответствуют  $T = -200 \div -300$ , т. е. обратному (относительно вращения вокруг Солнца самой планеты) вращению с периодом  $200 \div 300$  суток.

В июне 1962 г. в СССР проводилась радиолокация Меркурия (расстояние около  $80 \cdot 10^6$  км). Поскольку расстояние до этой планеты существенно больше, а ее размер меньше, чем Венеры, отношение сигнала к шуму после накопления равнялось только 2,3. Полученные данные не противоречат определенному по Венере значению астрономической единицы. Коэффициент отражения и неровности поверхности, вызывающий рассеяние волн и расширение спектра отраженных сигналов, оказался примерно таким же, как у Луны. Локация Меркурия в США, судя по газетным сообщениям, была проведена только в мае 1963 г.

В феврале 1963 г. на расстоянии около  $10^8$  км была проведена в СССР и США радиолокация Марса. Наши результаты показали, что коэффициент отражения от Марса иногда достигал 15% (у Венеры 12–15%). В некоторые дни отражение совсем не было зафиксировано. Спектр отраженных сигналов был очень узкий (при частоте облучения около 700 мгГц спектр уже 4 Гц), что при сравнительно быстром вращении Марса свидетельствует о наличии на нем очень гладких горизонтальных поверхностей. Значения астрономической единицы, определенные по опытам с Марсом и Венерой, не противоречат друг другу.

Дальнейшие работы по радиолокации планет несомненно дадут возможность существенно уточнить параметры планетных орбит, условия на их поверхности и характер вращения Венеры.

При наличии же больших антенн с ножевым лучом шириной порядка  $2''$  можно будет облучать на поверхности Венеры полосы шириной 400 км (на Марсе в благоприятные годы — 600 км), что позволит получить радиолокационные карты этих планет с разрешением в несколько сот километров.