

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВЕНЕРЫ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ В 1964 г.

*В. А. Котельников, Ю. Н. Александров, Л. В. Апраксин, В. М. Дубровин,
М. Д. Кислик, Б. И. Кузнецов, Г. М. Петров, О. Н. Ржига, А. В. Францессон,
А. М. Шаховской*

Доклады Академии наук СССР. 1965. Том 163, № 1

Институтом радиотехники и электроники АН СССР совместно с рядом организаций в период с 11 по 30 VI 1964 г. были продолжены радиолокационные наблюдения Венеры. Измерения проводились на волне около 40 см на той же установке, что и в 1961 г. [1] и 1962 г. [2]. На входе приемника использовались парамагнитный и параметрический усилители. Анализ сигнала производился с магнитной ленты 20-канальной анализатором; ширина полосы фильтров каждого канала, пересчитанная к принимаемому сигналу, составляла 1,2 Гц.

Для исследования применялись в основном два вида модуляции излучаемого сигнала: частотная манипуляция и периодическая линейная частотная модуляция, аналогично тому, как это делалось в 1962 г. [2, 3].

При частотной манипуляции излучаемый сигнал имел вид чередующихся телеграфных посылок на двух частотах, которые отличались либо на 62,5 Гц, либо на 2000 Гц. Длительность посылки и пауз на каждой частоте составляла 4,096 сек. Этот вид модуляции использовался для изучения спектра отраженных сигналов и для измерения радиальной скорости движения Венеры, которая определялась по доплеровскому смещению центральной частоты спектра сигнала относительно частоты излучения.

Линейная частотная модуляция применялась для изучения закона отражения радиоволн от поверхности и для измерения расстояния до Венеры. Частота излучаемых колебаний периодически изменялась по пилообразному закону [3], при этом использовались три режима: девиация 4 кГц с периодом 1,024 сек (как и в 1962 г.), девиация 32 кГц с периодом 8,192 сек и девиация 32 кГц с периодом 1,024 сек. Увеличение девиации в 8 раз позволило во столько же раз повысить точность измерения расстояния и разрешающую способность для изучения закона отражения сигнала от поверхности. При приеме частота гетеродина изменялась также по пилообразному закону, но с задержкой на расчетное время распространения сигнала до планеты и обратно. Ес-

ли расчетная задержка точно соответствовала фактическому времени распространения сигнала до планеты и обратно, то частота сигнала на выходе приемника была номинальной. По отклонению частоты сигнала от номинального значения находилась поправка к расчетному времени запаздывания.

Результаты измерения расстояния до Венеры и радиальной скорости ее движения представлены на рис. 1. На рис. 1, а отложена разность Δr (км) между измеренным и вычисленным значением расстояния от измерительного пункта до ближайшей точки поверхности Венеры, на рис. 1, б — разность Δv_r (см/сек) между измеренным и вычисленным значением радиальной скорости центра отражения на Венере относительно измерительного пункта. Вертикальными отрезками показаны среднеквадратичные погрешности измеренных значений.

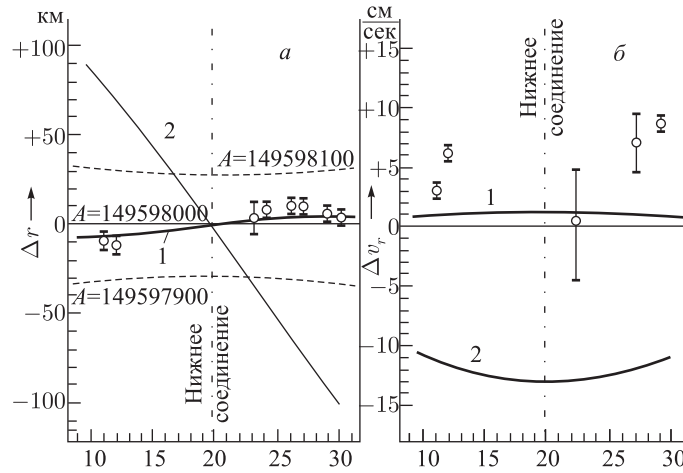


Рис. 1. Изменение расстояния до Венеры (а) и радиальной скорости ее движения (б) относительного расчетного значения, июнь 1964 г.

При измерении расстояния среднеквадратичное значение аппаратной ошибки за один 5-минутный сеанс не превышало 15 км до 23 VI (при девиации 4 кГц) и 2 км после 23 VI (при девиации 32 кГц), ошибка измерения скорости не превышала 2,5 см/сек.

В расчетах времени распространения сигналов и доплеровского смещения частоты было принято: астрономическая единица 149 598 000 км, скорость света 299 792,5 км/сек, радиус Венеры 6100 км. Время распространения сигнала рассчитывалось с точностью ± 5 мксек, частота Доплера $\pm 0,05$ Гц. Вычисление координат планет производилось на основании аналитической теории Ньюкома с учетом поправок к элементам орбиты Венеры по данным Данкома и поправок к элементам орбиты системы Земля – Луна по данным Моргана. Кроме того, в расчетах было учтено дополнительное смещение центра Венеры по ее орбите в направ-

лении движения на 250 км. Смещение было определено в 1962 г. [2] и оценивалось величиной 270 км, что эквивалентно увеличению гелиоцентрической долготы Венеры на $+0'',52$. Этому смещению на рис. 1, *а* и 1, *б* соответствуют плавные кривые 1. Если бы введенная поправка на смещение в действительности отсутствовала, то экспериментальные точки должны были бы лечь на плавные кривые 2. Пунктирными линиями на рис. 1, *а* показано как должна изменяться величина Δr , если бы фактическое значение астрономической единицы было равно 149 598 100 и 149 597 900 км. Величина астрономической единицы по этим измерениям равна 149 598 000 км; причем если учесть возможные систематические ошибки, максимальная ошибка может быть ± 400 км.

Среднеквадратичные значения систематических ошибок исходных данных в пересчете на астрономическую единицу оцениваются следующими величинами: скорость света 70 км; радиус Венеры 40 км; гелиоцентрические координаты Венеры и Земли 100 км; влияние среды, в которой распространяется сигнал 10 км; остальные константы (радиус Земли, отношение масс Луны и Земли, и др.) 10 км; определение запаздывания в аппаратуре 5 км. Полная среднеквадратичная ошибка равна 130 км.

Распределение энергии отраженных от Венеры сигналов в зависимости от расстояния ΔR относительно ближайшего к Земле участка ее поверхности представлено на рис. 2. Распределение на рис. 2, *а* полу-

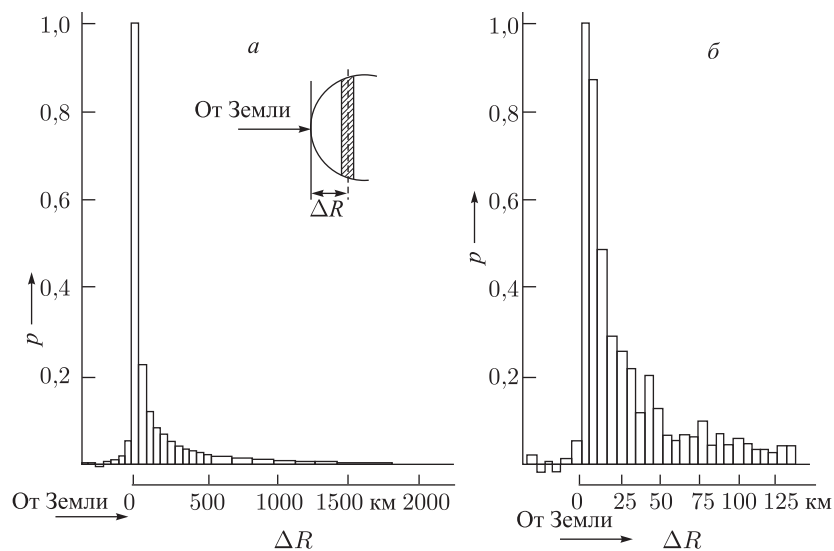


Рис. 2. Распределение по дальности энергии отраженных от Венеры сигналов, *а* — получено при линейной частотной модуляции с девиацией 4 кГц ($\sigma = 0,0025$ для узких фильтров и $\sigma = 0,0014$ для широких фильтров); *б* — получено при девиации 32 кГц

но по 27 сеансам с линейной частотной модуляцией при девиации 4 кГц и периоде 1,024 сек. Первые 11 столбиков представляют собой энергию сигналов, отраженных кольцевыми зонами поверхности глубиной по 45 км, остальные — по 150 км. Распределение на рис. 2, б получено по 20 сеансам при девиации 32 кГц с периодом 1,024 сек, применение которой позволило более детально исследовать закон отражения для переднего участка поверхности и получить энергию от кольцевых зон глубиной по 5,5 км. По этим данным была найдена зависимость энергии отраженных сигналов P от угла падения φ (рис. 3, кривая 1). Для сравнения на этом же рисунке, кривая 2, показана аналогичная зависимость, полученная при измерениях 1962 г.

Сравнение результатов показывает, что в 1964 г. энергия отраженных сигналов с ростом угла φ убывает быстрее, чем это наблюдалось в 1962 г. Это, видимо, можно объяснить тем, что Венера в период радиолокации 1964 г. была повернута к Земле более гладкой стороной.

Ширина доплеровского спектра отраженного сигнала, обусловленная вращением Венеры, не превышает 15 Гц. Коэффициент отражения [3] Венеры, измеренный по полной энергии принятого сигнала, равен в среднем 19%. Энергия в центральной полосе 1 Гц приблизительно в 2 раза меньше энергии всего спектра.

Спектры отдельных дней наблюдения использовались для определения периода вращения Венеры. Для этого они сравнивались с рас-

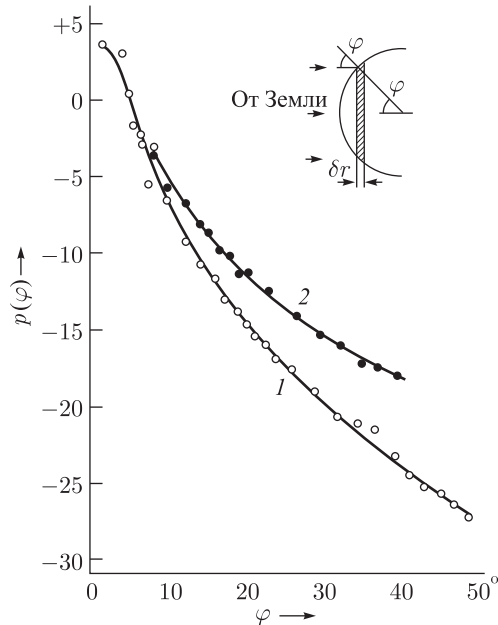


Рис. 3. Зависимость энергии отраженных сигналов P от угла падения φ

четным спектром, вычисленным для разных периодов вращения из закона распределения энергии, представленного на рис. 2. Полученные в 1964 г. результаты не противоречат выводу об обратном вращении Венеры с периодом 200–300 суток, сделанному по радиолокационным наблюдениям Венеры в 1962 г. [2]. На рис. 4 показаны экспериментальные результаты 1962 г. [3] (а) и 1964 г. (б). Все эти результаты хорошо согласуются между собой и лучше всего соответствуют обратному вращению Венеры с периодом 230 суток ± 25 суток.

Совместное рассмотрение результатов определения периода вращения в 1962 и 1964 гг. показывает, что ориентация оси вращения Венеры близка к перпендикулярной по отношению к плоскости ее орбиты.

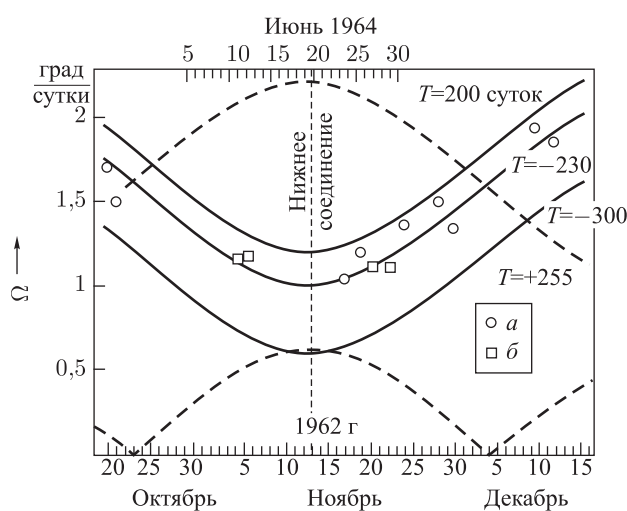


Рис. 4. Определение периода вращения Венеры по результатам радиолокации 1962 г. (а) и 1964 г. (б). Ω — угловая скорость вращения Венеры относительно локатора. Пунктирными линиями указаны расчетные значения Ω для прямого вращения Венеры, сплошными линиями — для обратного вращения

Авторы выражают благодарность Г. А. Журкиной, Б. А. Степанову и Г. А. Сыцко, участвовавшим в подготовке и в проведении измерений.

Институт радиотехники
и электроники Академии наук СССР

Поступило 12 IV 1965

Цитированная литература

1. В. А. Котельников, Л. В. Апраксин и др. Радиотехника и электроника, 7, № 11 (1962).
2. В. А. Котельников, В. М. Дубровин и др., ДАН, 151, № 3 (1963).
3. В. А. Котельников, В. М. Дубровин и др., Природа, № 9 (1964).