

УДК 523.164

НАБЛЮДЕНИЯ ЮПИТЕРА, ВЕНЕРЫ И ИСТОЧНИКА ЗС 273 НА ВОЛНАХ 2 И 8 ММ

В. А. Ефанов, А. Г. Кисляков, И. Г. Моисеев, А. И. Наумов

Приводятся результаты наблюдений, выполненных в мае 1968 г. на 22-метровом радиотелескопе КАО АН СССР. Яркостная температура Венеры, найденная путем сравнения с Юпитером, оказалась равной $290 \pm 25^\circ\text{K}$ на $\lambda = 2,16 \text{ мм}$ и $495 \pm 20^\circ\text{K}$ на $\lambda = 8 \text{ мм}$. Плотности потоков радиоизлучения источника ЗС 273 на тех же волнах равны соответственно $(114 \pm 14) \cdot 10^{-26} \text{ вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$ и $(62 \pm 4) \cdot 10^{-26} \text{ вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$. Данные приведены без учета ошибок в определении яркостных температур Юпитера, принимавшихся равными $150 \pm 20^\circ\text{K}$ на $\lambda = 2,16 \text{ мм}$ и $144 \pm 20^\circ\text{K}$ на $\lambda = 8 \text{ мм}$.

В мае 1968 г. на 22-метровом радиотелескопе КАО АН СССР проводились измерения интенсивностей радиоизлучения Венеры и источника ЗС 273 путем сравнения с радиоизлучением Юпитера, яркостная температура которого считалась известной. Во время этих наблюдений Венера была близка к верхнему соединению. Как известно [1], измерений яркостной температуры ночной стороны Венеры на миллиметровых волнах сделано довольно много. Наблюдения Венеры в верхнем соединении—более сложное дело, и поэтому данные о яркостной температуре ее дневной стороны немногочисленны*. К тому же эти данные противоречивы и на их основании трудно сказать, существует ли зависимость яркостной температуры диска Венеры от его освещенности Солнцем и каков знак этого эффекта. Имеются указания как на рост [2, 3], так и на убывание [4] яркостной температуры планеты с увеличением освещенности видимой с Земли стороны Венеры. Вопрос о фазовом ходе радиоизлучения Венеры на миллиметровых волнах существенен для выяснения строения ее атмосферы, природы облачного слоя и теплового режима на различных уровнях над поверхностью планеты.

Наблюдения квазара ЗС 273 на миллиметровых волнах представляют большой интерес, так как этот источник обладает необычным спектром (интенсивность его радиоизлучения на миллиметровых волнах больше, чем на сантиметровых) и к тому же обнаруживает переменность как интенсивности излучения на отдельных волнах, так и, по видимому, спектра излучения. Необходимо отметить сложность измерений интенсивности радиоизлучения источников в миллиметровом диапазоне волн, обусловленную сильным влиянием земной атмосферы на результаты измерений. Это влияние трудно учесть, поэтому предпочтительны измерения методом сравнения с объектом, излучение которого можно считать известным. Слабые источники обычно наблюдаются с помощью достаточно крупных антенн, параметры которых трудно определить, и это обстоятельство также заставляет прибегнуть к методу сравнения.

* На волне 2 мм наблюдений Венеры в верхнем соединении до сих пор не проводилось.

При измерениях интенсивностей радиоизлучения Венеры и ЗС 273 в 1968 г. использовалась та же аппаратура, что и при наблюдениях Венеры и Юпитера в 1967 г. [5]. Система облучения зеркала на волне 8 мм также осталась прежней. На волне 2,16 мм использовалась центральная часть зеркала. В качестве облучателя на этой волне применялся рупор с диаграммой направленности шириной 60° по уровню 10 дБ, в то время как в 1967 г. ширина диаграммы направленности использовавшегося рупора составляла 40°. Изменение системы облучения на волне 2,16 мм позволило несколько увеличить эффективную площадь антенны.

Методика наблюдений отличалась от использовавшейся в 1967 г. Измерения на волнах 8 и 2,16 мм проводились в разное время, а не одновременно. Электрическая ось радиотелескопа на $\lambda = 2,16$ мм была совмещена с координатной с точностью $\pm 20''$. Положение электрической оси проверялось при наблюдениях Венеры по Солнцу, а при наблюдениях ЗС 273 — по Юпитеру. Чувствительность аппаратуры на $\lambda = 2,16$ мм была достаточной для уверенной регистрации радиоизлучения Юпитера в одном прохождении (температура антенны при наблюдениях Юпитера составляла обычно около 5°К). Наблюдения радиоизлучения ЗС 273 производились непосредственно вслед за наблюдениями Юпитера при одинаковых азимутах (начиная с момента кульминации и позже) и близких зенитных расстояниях этих объектов.

При измерениях на $\lambda = 8$ мм основным критерием правильной ориентации антенны радиотелескопа были величина наблюдаемого сигнала и его повторяемость, так как чувствительность аппаратуры была достаточной для регистрации радиоизлучения любого из наблюдавшихся объектов в одном прохождении. При измерениях на $\lambda = 2,16$ мм приходилось прибегать к усреднению записей радиоизлучения Венеры и ЗС 273 и затем сравнивать результаты отдельных серий наблюдений. Основная масса измерений выполнена при постоянных времени 32 и 64 сек и дифференциальной скорости прохождения источников 0°, 05 в секунду времени.

В течение всего периода наблюдений на $\lambda = 2,16$ мм были получены четыре серии по 9—12 прохождений Венеры и четыре серии по 18—20 записей радиоизлучения источника ЗС 273. Наблюдения Венеры на $\lambda = 8$ мм проводились 22 мая, а ЗС 273 — 22 и 23 мая. Отношения сигналов к шуму при наблюдениях на этой волне были достаточно большими, и накопления большого количества записей не требовалось. В табл. 1 приводятся результаты измерений антенных температур

Таблица 1

Дата	Венера		ЗС 273		
	T_{aB} °К	T_B °К	$\lambda = 2,16$ мм	$S \cdot 10^{26}$ вт · м ⁻² · цу ⁻¹	$\lambda = 8$ мм
			T_{a273} , °К		$S \cdot 10^{26}$ вт · м ⁻² · цу ⁻¹
22.05	—	495 ± 20	0,38 ± 0,14	100 ± 35	62 ± 3
23.05	—	—	0,43 ± 0,16	120 ± 45	61 ± 4
25.05	—	—	-0,30 ± 0,25	-65 ± 70	—
26.05	0,95 ± 0,19 0,82 ± 0,13	302 ± 60 243 ± 40	0,45 ± 0,21	160 ± 75	—
27.05	1,8 ± 0,6 0,94 ± 0,2	550 ± 160 325 ± 60	—	—	—

* $\lambda = 8$ мм. Все остальные значения T_B относятся к $\lambda = 2,16$ мм.

Венеры T_{aB} и ЗС 273 — T_{a273} , найденные в результате усреднения записей отдельных прохождений. Антенные температуры определялись методом наименьших средних квадратов подобно тому, как это делалось в работе [6].

Дальнейшая обработка заключалась в определении (после исправления антенных температур с учетом инерционности радиометров) яркостной температуры Венеры T_B по формуле $T_B = T_{Ю} T_{aB} T_{aЮ}^{-1} (r_{Ю}/r_B)^2 \times (1 - r_{Ю}^2/\theta^2)^{-1} \exp(\gamma_B - \gamma_{Ю})$ и плотности потока радиоизлучения S источника ЗС 273 из соотношения $S = S_{Ю} T_{a273} T_{aЮ}^{-1} e^{\gamma_{273} - \gamma_{Ю}} (1 - r_{Ю}^2/\theta^2)^{-1}$, где $T_{Ю} = 150 \pm 20^\circ\text{K}$ — яркостная температура Юпитера на $\lambda = 2,16$ мм, на $\lambda = 8$ мм эта величина принималась равной $144 \pm 20^\circ\text{K}$, r_B и $r_{Ю}$ — видимые радиусы планет, γ_B , $\gamma_{Ю}$ и γ_{273} — коэффициенты атмосферного поглощения при наблюдениях соответствующих объектов, $S_{Ю} = 2kT_{Ю} \pi r_{Ю}^2 \lambda^{-2}$ — плотность потока радиоизлучения Юпитера, 2θ — ширина диаграммы направленности антенны радиотелескопа. Величина θ определялась из записей радиоизлучения Юпитера. На волне 2,16 мм $2\theta = 75'' \pm 7''$, а при $\lambda = 8$ мм $2\theta = 1',7$ (в направлении прямого восхождения α) и $2',14$ (в направлении склонения δ).

Результаты расчетов величин T_B и S также представлены в табл. 1. На основании данных таблицы можно получить, что среднее взвешенное за период наблюдений значение яркостной температуры Венеры в верхнем соединении на волне 2,16 мм составляет $T_B = 318 \pm 55^\circ\text{K}$, если использовать все данные наблюдений. Если же исключить одно, менее надежное, чем остальные, значение $T_B = 550 \pm 160^\circ\text{K}$, то получим $\bar{T}_B = 290 \pm 25^\circ\text{K}$ (неточность, с которой известна $T_{Ю}$, не учитывалась).

Сопоставление результатов наблюдений Венеры в верхнем и нижнем [5] соединениях на волнах около 2 мм позволяет сделать вывод о заметном превышении яркостной температуры освещенной Солнцем стороны планеты по сравнению с яркостной температурой ее ночной стороны. Аналогичное заключение можно сделать, сравнив яркостные температуры ночной и дневной сторон планеты на $\lambda = 8$ мм, приводимые в таблице и работе [5]. Измерения T_B во время верхнего соединения Венеры 1968 г., проводившиеся с помощью РТ-22 и параметрического усилителя на $\lambda = 8$ мм в апреле этого года [7], также свидетельствуют о существовании упомянутого эффекта: по измерениям, выполненным в апреле, $T_B = 486 \pm 15^\circ\text{K}$ *. Таким образом, подтверждают результаты работ [2, 3], указывающих на существование роста яркостной температуры Венеры с увеличением освещенной площади видимого с Земли диска.

Механизм фазовой зависимости радиоизлучения Венеры на волнах 2,16 и 8 мм может быть различным. Как показано в [8], распределение яркости по диску Венеры, измеренное на волне 8 мм с помощью Большого Пулковского радиотелескопа, свидетельствует о том, что излучение на этой волне исходит из нижних слоев атмосферы планеты и облачный слой, по-видимому, слабо поглощает это излучение. Низкая яркостная температура ночной стороны Венеры на $\lambda = 2,25$ мм [5], близкая к инфракрасной температуре ее облаков, может быть объяснена в предположении, что радиоизлучение планеты на $\lambda = 2$ мм обусловлено тепловым излучением ее облаков и слоя атмосферы, находящегося над ними. Фазовая зависимость радиоизлучения Венеры на волне 2,16 мм отражает изменения температуры облаков и верхней атмосферы

* Эта величина также определена сравнением с Юпитером.

ры планеты, в то время как данные наблюдений на $\lambda = 8$ мм указывают на изменения теплового режима в нижних слоях ее атмосферы.

Перейдем теперь к обсуждению результатов наблюдений ЗС 273. Из таблицы можно найти среднее взвешенное значение плотности потока радиоизлучения источника на волне 2,16 мм: $\bar{S} = (95 \pm 35) \times 10^{-26}$ вт · м⁻² · гц⁻¹. Если исключить результаты наблюдений 25 мая (в этот день аппаратура работала менее надежно, чем обычно), то получим более вероятное его значение $\bar{S} = (114 \pm 14) \cdot 10^{-26}$ вт · м⁻² · гц⁻¹. На волне 8 мм $S = (62 \pm 4) \cdot 10^{-26}$ вт · м⁻² · гц⁻¹. Погрешность, с которой известна величина $T_{Ю}$, не учитывалась.

Таким образом, интенсивность радиоизлучения ЗС 273 на волне 2,16 мм почти вдвое больше наблюдавшейся на $\lambda = 8$ мм. Сравнение этих данных с результатами наблюдений других авторов затрудняется тем, что интенсивность радиоизлучения ЗС 273, как уже упоминалось выше, значительно изменяется со временем. Тем не менее можно сделать вывод о том, что в период наблюдений источник ЗС 273 обладал аномально высокой интенсивностью радиоизлучения на $\lambda = 2,16$ мм. Результаты наблюдений ЗС 273, выполненных в 1965—68 гг. на $\lambda = 3,4$ мм [9], позволили выявить сильные (в пределах $(10 \div 55) \cdot 10^{-26}$ вт · м⁻² · гц⁻¹) вариации плотности потока радиоизлучения этого источника, однако она все время оставалась меньше наблюдавшейся нами на волне 2,16 мм. Исходя из этого можно заключить, что интенсивность радиоизлучения ЗС 273 растет с уменьшением длины волны от 3,4 до 2,16 мм. На рис. 1 построен спектр радиоизлучения ЗС 273, где пред-

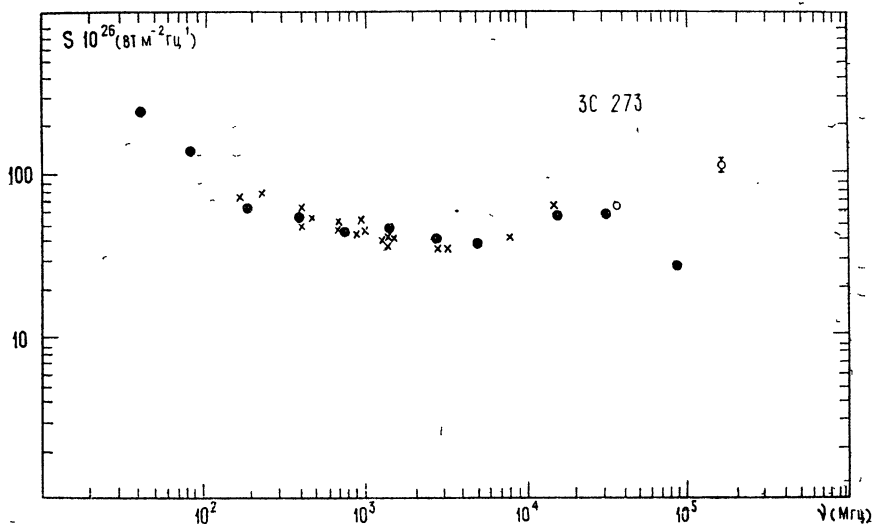


Рис. 1. Спектр радиоизлучения источника ЗС 273. Точками обозначены результаты работы [12], крестиками — [11], кружками отмечены данные настоящей статьи

ставлены данные работ [10—12] (использовались максимальные значения наблюдавшихся плотностей потоков радиоизлучения)

Наблюдения ЗС 273 на $\lambda = 8$ мм сравнением с Юпитером велись на РТ-22 с октября 1967 г. по ноябрь 1968 г. В октябре 1967 г. было найдено [13], что плотность потока радиоизлучения ЗС 273 $S = (58 \pm 2) \times 10^{-26}$ вт · м⁻² · гц⁻¹. Наблюдения этого источника с параметрическим усилителем на $\lambda = 8$ мм в апреле 1968 г. дали значение $S = (61 \pm 3) \times$

$\times 10^{-26}$ *вт.м*⁻².*гц*⁻¹ [7], а измерения с мазером в октябре 1968 г. [14] позволили определить $S = (50 \pm 1,5) \cdot 10^{-26}$ *вт.м*⁻².*гц*⁻¹. Последнее значение плотности потока радиоизлучения ЗС 273 на $\lambda = 8$ мм хорошо согласуется с данными наблюдений этого источника, проводившихся почти одновременно на РТ-22 Окской радиоастрономической станции ФИАН СССР также на $\lambda = 8$ мм [16]. Однако данные наблюдений ЗС 273 на $\lambda = 8$ мм, выполненных на РТ-22 КАО АН СССР в период с октября 1967 г. по май 1968 г., значительно (\sim в 1,3 раза) расходятся с соответствующими результатами работы [16]. Результаты наблюдений ЗС 273 обсуждались авторами настоящей заметки с Л. И. Матвеевко, однако причину столь сильного расхождения выяснить не удалось. Возможно, что причину расхождения следует искать в переменности радиоизлучения Юпитера или в кратковременных вариациях (за время порядка одного месяца) радиоизлучения ЗС 273

В заключение остановимся на некоторых возможностях ошибок в измерениях, которые, к сожалению, нельзя полностью устранить. Как известно, параметры больших антенн подвержены колебаниям из-за деформаций, возникающих при их вращении по углу места, а также при изменении температуры среды, окружающей антенну, и нагрева ее Солнцем. Особенно сильно эти явления должны быть выражены при работе на волне 2,16 мм. При наблюдениях были приняты все меры, чтобы ослабить влияние перечисленных факторов на результаты измерений (объекты наблюдались при близких зенитных расстояниях и в одном и том же секторе азимутальных углов, сравнение их радиоизлучения производилось в максимально близкие моменты времени), однако полностью оно не исключено.

Наконец, существует еще один источник ошибок, свойственный принятому методу измерений. Как сообщалось недавно [15], интенсивность радиоизлучения Юпитера, по-видимому, испытывает значительные колебания на $\lambda \approx 1,3$ см. В принципе возможно, что такие колебания проявляются и на миллиметровых волнах (оптическая картина Юпитера также весьма непостоянна). Более удобным источником сравнения является, без сомнения, Марс, у которого нет такой мощной и бурной атмосферы, как у Юпитера. В период предстоящих противостояний 1969 и 1971 гг. будут благоприятные условия для наблюдений различных объектов путем сравнения с Марсом.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Кузьмин, Радиофизические исследования Венеры, ВИНТИ, М., 1967
2. А. Г. Кисляков, А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, Астрон. ж., **39**, № 3, 410 (1962).
3. А. Е. Башаринов, Ю. Н. Ветухновская, А. Д. Кузьмин, Б. Г. Кутуза, А. Е. Саломонович, Астрон. ж., **41**, 707 (1964).
4. E. E. Epstein, S. L. Soter, J. P. Oliver, R. A. Schorn, W. J. Wilson, Astron. J., **73**, № 4, 271 (1968)
5. В. А. Ефанов, А. Г. Кисляков, И. Г. Моисеев, А. И. Наумов, Астрон. ж., **46**, № 1, 147 (1969).
6. А. Г. Кисляков, Ю. В. Лебский, Астрон. ж., **44**, № 4, 697 (1967)
7. В. А. Ефанов, И. Г. Моисеев, А. М. Клич, Е. М. Кейс, А. П. Чесноков, Радиотехника и электроника (в печати).
8. В. Я. Гольнев, Ю. Н. Парийский, О. Н. Шиврис, Н. А. Фридман, Доклад на симпозиуме по физике планет, Киев, октябрь 1968 г.
9. E. E. Epstein, W. A. Fogarty, Proc. of the conf. on Seyfert Galaxies and related objects, Steward Observatory University of Arizona, 1968, p. 14.
10. R. A. Schorn, E. E. Epstein, J. P. Oliver, S. L. Soter, W. J. Wilson, Astrophys. J., **151**, № 1, 445 (1968).
11. R. J. Allen, A. H. Barrett, P. P. Growth, Astrophys. J., **151**, № 1, 43 (1968)
12. К. И. Келлерман, Доклад на XIII съезде МАС, Прага, август 1967 г.

13. В. А. Ефанов, И. Г. Моисеев, Изв КАО, 40, 1968
14. В. А. Ефанов, И. Г. Моисеев, Изв КАО (в печати)
15. Ю. Н. Ветухновская, А. Д. Кузьмин, Б. Г. Кутуза, А. Н. Макаров, Л. М. Митник, Доклад на VI конференции по радиоастрономии, Рига, сентябрь 1968 г.

Научно-исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
8 апреля 1969 г.

OBSERVATIONS OF JUPITER, VENUS AND 3C 273 AT THE WAVELENGTHS OF 2 AND 8 mm

V. A. Efanov, A. G. Kislyakov, I. G. Moiseev, A. I. Naumov

The results of observations, carried out in May 1968 using 22 m radiotelescope KAO AS USSR are given. The brightness temperature of Venus found by comparing with that of Jupiter appeared to be equal to $290 \pm 25^\circ \text{K}$ at $\lambda = 2.16 \text{ mm}$ and $495 \pm 20^\circ \text{K}$ at $\lambda = 8 \text{ mm}$. The densities of the radiation fluxes of the source 3C 273 at the same waves are equal to $(114 \pm 14) \cdot 10^{-26} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} (\text{c/s})^{-1}$ and $(62 \pm 4) \cdot 10^{-26} \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} (\text{c/s})^{-1}$. The data are presented without taking into account the errors in determining the brightness temperatures of Jupiter, the latter accepted to be equal to $150 \pm 20^\circ \text{K}$ at $\lambda = 2.16 \text{ mm}$ and $144 \pm 20^\circ \text{K}$ at $\lambda = 8 \text{ mm}$.
