

ПЛАНЕТА ВЕНЕРА

*А. Д. КУЗЬМИН,
кандидат технических наук*

Венера — самое яркое светило на небе после Солнца и Луны, веками привлекала внимание романтиков, фантастов и ученых. Первым она обязана именем богини любви и красоты. Вторые населили божественную планету страшными чудовищами. Однако фактических данных о Венере гораздо меньше, чем например о Марсе, хотя последний даже в великие противостояния находится от Земли в 1,5 раза дальше Венеры.

Венера, вторая по близости к Солнцу планета солнечной системы, в 1,4 раза ближе к нему, чем Земля, и обращается вокруг Солнца почти по круговой орбите с периодом 224,7 земных суток.

Фазы Венеры подобны фазам Луны (рис. 1). В нижнем соединении, когда планета находится между Землей и Солнцем, к Земле обращена ее темная, не освещенная Солнцем сторона. Эта фаза аналогична новолунию. В верхнем соединении Венера находится почти точно за Солнцем и к Земле обращена освещенная половина планеты. Эта фаза аналогична полнолунию. Интервал времени между двумя одинаковыми фазами равен в среднем 584 земным суткам. Около нижних соединений Венера приближается к Земле на наименьшее расстояние и поэтому наиболее доступна как для наземных, так и для ракетных исследований. Последнее нижнее соединение Венеры было 26 января 1966 г., следующее будет 29 августа 1967 г.

Вопрос об элементах вращения Венеры — предмет многочисленных исследований, ведущихся уже около 300 лет. При первых определениях элементов вращения пытались выявить постоянные детали на диске планеты и проследить их видимое движение. В 1666 г. Д. Кассини, используя этот метод, нашел что период вращения Венеры вокруг ее оси равен 23 часам 21 минуте. Однако последующие наблюдатели не заметили на Венере каких-либо



Радиотелескоп Физического института АН СССР, на котором проводились радиоастрономические исследования Венеры

деталей и не подтвердили наличие «пятен». 60 лет спустя Бианчини вновь наблюдал детали на диске планеты и даже составил карту Венеры с «океанами» и «континентами». Определенный по этим деталям период вращения Венеры составлял 24 суток 8 часов. Совершенно отличный результат был получен в 1887 г. Скиапарелли. Он нашел, что период вращения Венеры вокруг оси равен периоду ее обращения вокруг Солнца (около 225 суток), следовательно,

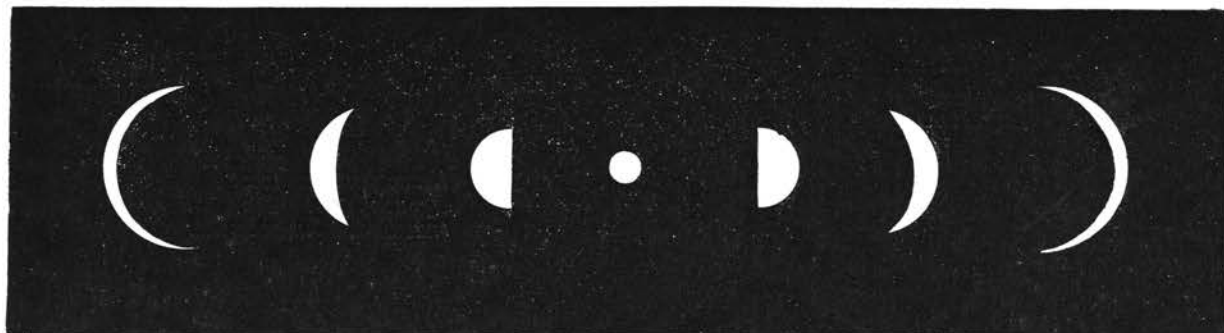


Рис. 1. Фазы Венеры для земного наблюдателя

Венера всегда обращена к Солнцу одной стороной.

Такое большое расхождение результатов определения периода вращения Венеры из оптических наблюдений вызвано тем, что поверхность планеты окутана плотной атмосферой с облачным слоем. Детали же самого облачного слоя настолько размыты и непостоянны, что даже факт их существования ставится под сомнение.

Атмосфера Венеры была открыта М. В. Ломоносовым в 1761 г., наблюдавшим прохождение планеты по диску Солнца. Однако о ее составе и давлении пока известно очень мало*. Единственно надежно выявленная компонента атмосферы планеты — углекислый газ, относительное содержание которого примерно 10%. В. К. Прокофьевым получено свидетельство наличия кислорода, а Стронг и Дольфюс обнаружили следы водяного пара. Однако Спинрад не подтвердил этих данных, поэтому присутствие на Венере кислорода и водяного пара до сих пор определенно не установлено. Не ясен также вопрос об основных компонентах атмосферы Венеры. Такими составляющими могут быть азот, благородные газы или какая-либо другая компонента, не имеющая спектральных линий в оптическом и инфракрасном диапазонах. В связи с этим интересны результаты измерений Н. А. Козырева, обнаружившего полосы ионизированного азота в спектре

верхних слоев атмосферы Венеры. Однако эти данные не подтверждены последующими наблюдениями Уэйнберга и Ньюкирка.

Таким образом состав атмосферы Венеры отличается от земной значительно большим содержанием углекислого газа и значительно меньшим содержанием кислорода и водяного пара. О других газах определенных сведений пока нет.

Из-за непрозрачности атмосферы для оптических исследований Венеры доступны лишь верхние слои ее аэрозольно-газовой оболочки. Поэтому первые определения температуры планеты, основанные на измерении интенсивности ее теплового излучения в инфракрасной области спектра, дают сведения лишь о температуре облачного слоя, составляющей около -40°C и одинаковой для освещенной и неосвещенной Солнцем сторон планеты.

Недоступные же для оптических исследований поверхность и подоблачная атмосфера планеты оставались до последнего времени предметом различных гипотез. Наибольшее распространение получили три гипотезы. Согласно первой, условия Венеры аналогичны условиям каменноугольного периода на Земле, т. е. повсюду теплый и влажный климат с обилием влаги, постоянно пасмурное небо и органический мир, находящийся примерно на той ступени развития, которая имела место на Земле в конце палеозойской эры. По другой гипотезе, Венера представляет собой сплошную, абсолютно безводную пустыню, по третьей — вся поверхность планеты покрыта водным океаном.

Крайняя противоречивость гипотез наглядно показывает скудность данных о Ве-

* См. Д. Я. Мартынов. «Обсерватории Австралии», «Земля и Вселенная», № 3, 1965 г., стр. 57. И. К. Коваль. «Изучение планет типа Земли», «Земля и Вселенная», № 6, 1965 г.

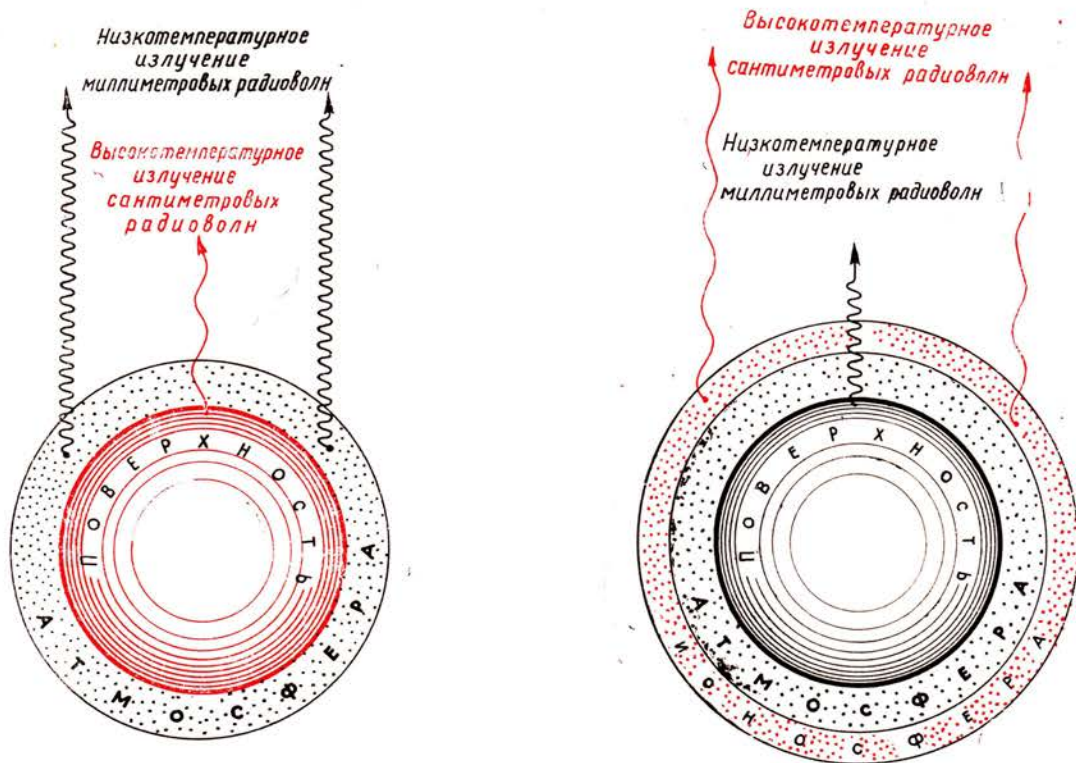


Рис. 2. Модели Венеры.

В модели с «холодной» атмосферой предполагается, что высокотемпературное излучение сантиметровых радиоволн исходит от горячей поверхности планеты. Уменьшение же яркостной температуры на миллиметровых волнах обусловлено поглощением и переизлучением более холодной атмосферой.

В модели с «горячей» атмосферой предполагается, что атмосфера содержит некоторую электроактивную среду, например, ионосферу, являющуюся источником высокотемпературного излучения сантиметровых радиоволн. На миллиметровых волнах эта среда прозрачна, а принимаемое радиоизлучение обусловлено поверхностью планеты, имеющей относительно более низкую температуру

нере, получаемых из оптических наблюдений.

Новые возможности для исследования Венеры открылись лишь в последние годы, когда на помощь оптической астрономии пришла радиоастрономия, а затем радиолокационная астрономия. Земная атмосфера и земной облачный покров имеют

«окна прозрачности» в радиодиапазоне. Аналогичные окна прозрачности в диапазоне радиоволн могут быть и в атмосфере, и облачном слое Венеры. Поверхность планеты, как и всякое нагретое тело, излучает электромагнитные волны, в том числе и радиоволны. Такое излучение называется тепловым, а его интенсивность в радиодиапазоне пропорциональна температуре тела.

Радиоастрономические исследования Венеры, ведущиеся в течение ряда лет в Физическом институте АН СССР и на ряде других радиоастрономических станций СССР и США, показали, что интенсивность радиоизлучения Венеры в диапазоне сантиметровых волн такова, что если радиоволны излучаются поверхностью планеты, то ее температура равна примерно 300°C . Однако, в диапазоне миллиметровых волн интенсивность принимаемого радиоизлучения соответствует гораздо более низкой температуре — около 100°C .

Для интерпретации этого факта А. Е. Саломоновичем и автором статьи была пред-

ложена модель Венеры, согласно которой радиоизлучение сантиметрового диапазона представляет собой тепловое излучение поверхности планеты, являющейся в этом случае действительно раскаленной; излучение же миллиметрового диапазона поглощается и переизлучается более холодной атмосферой планеты (рис. 2).

Эта модель, развитая впоследствии американскими учеными А. Барретом, К. Саганом и другими, не является, однако единственно возможной. Источником принимаемого радиоизлучения Венеры могут быть какие-либо электрические явления в ее атмосфере, например электрические разряды* или другие нетепловые процессы. В этом случае истинная температура планеты может существенно отличаться от яркостной температуры, определяемой по интенсивности ее радиоизлучения. Так например, в связи с большим количеством работающих радиостанций, яркостная температура нашей планеты Земли, измеренная по интенсивности ее радиоизлучения, может составить миллионы градусов, в то время как истинная температура поверхности Земли, как известно, равна в среднем лишь нескольким градусам Цельсия.

В модели Венеры, предложенной американским ученым Джонсом, поверхность планеты более холодная, чем в модели с «холодной» атмосферой, а высокая яркостная температура обусловлена излучением ионосферы планеты. Несоответствие этой модели данным радиолокационных измерений Венеры может быть преодолено, если допустить, что ионосфера Венеры полупрозрачна или имеет дырчатое строение.

Последующие расчеты показали, что измеренные значения яркостной температуры Венеры в широком диапазоне миллиметровых и сантиметровых волн согласуются с обеими рассмотренными группами моделей. Это видно из рисунка 3, на котором показаны экспериментальные данные и расчетные зависимости яркостной температуры от длины волны принимаемого радиоизлучения для моделей с «холодной» и с «горячей» атмосферами.

Как видим, для выбора модели Венеры

* См. В. М. Вахнин, А. И. Лебединский, «Радиопумы и температура Венеры», «Земля и Вселенная», № 1, 1966 г.

и определения ее физических параметров необходимо привлечь дополнительные экспериментальные данные. В качестве одного из таких экспериментов было предложено провести измерение распределения радиояркостности по диску Венеры.

Из простых геометрических соображений очевидно, что для земного наблюдателя глубина атмосферы шарообразной планеты, а следовательно и ее вклад в принимаемое на Земле радиоизлучение, будут увеличиваться от центра к краю видимого диска планеты. Поэтому в модели планеты с «горячей» атмосферой распределение радиояркостности будет иметь уярчение на краю диска. В модели же с «холодной» атмосферой следует ожидать потемнения диска к краю планеты. Первые измерения, проведенные в Главной астрономической обсерватории АН СССР Д. В. Корольковым, Ю. Н. Парийским, Ю. Н. Тимофеевой и С. Э. Хайкиным, и последующие наблюдения на «Маринере-2», показали потемнение диска к краю.

Однако на более короткой волне, где потемнение должно было бы быть еще более сильным, такие же измерения на «Маринере-2» не дали никакого потемнения. Более того, Кларк и Спенсер в Калифорнийском технологическом институте обнаружили даже увеличение яркости к краю.

Наряду с противоречивостью полученных результатов, указанный эксперимент не дает также однозначного ответа на поставленный вопрос о выборе модели. Действительно, потемнение края еще не доказывает, что принимаемое радиоизлучение планеты исходит от ее поверхности. Такое потемнение края может наблюдаться и в том случае, когда все излучение обусловлено атмосферой планеты, температура которой уменьшается с увеличением высоты.

Следовательно необходим другой эксперимент, чтобы решить, принадлежит ли радиоизлучение Венеры ее поверхности, или же оно обусловлено некоторой электроактивной средой, находящейся в атмосфере планеты. Такой эксперимент был поставлен в 1964 г. автором настоящей статьи совместно с американским радиоастрономом Барри Кларком в обсерватории Оуэнс Вэллей Калифорнийского технологического института.

Идея эксперимента заключалась в том, что излучение планеты должно быть поля-

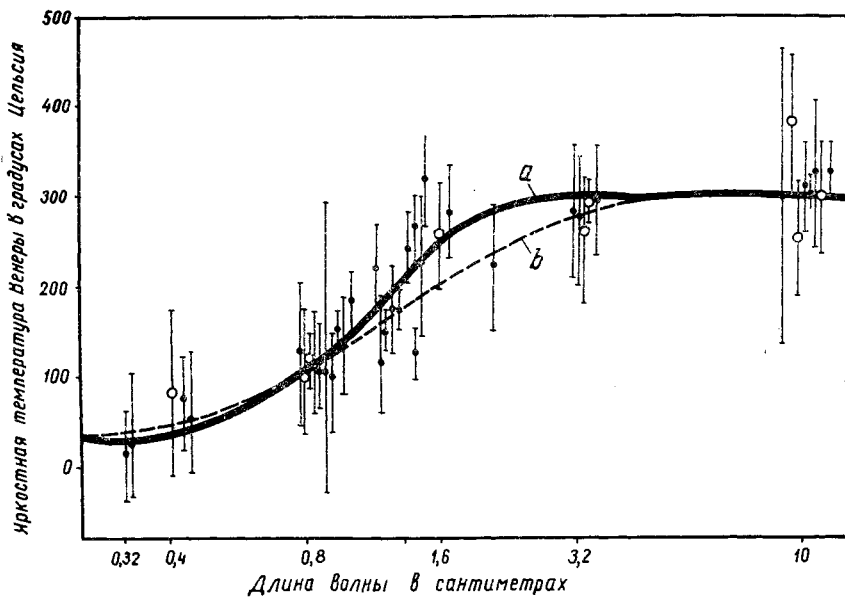


Рис. 3. Расчетная зависимость яркостной температуры радиоизлучения Венеры от длины волны:

а — для модели с «горячей» атмосферой,
б — для модели с «холодной» атмосферой.

Около каждой точки, соответствующей измеренной температуре, нанесены вертикальные отрезки, показывающие возможную ошибку измерения

ризовано на краях видимого диска, если оно обусловлено поверхностью планеты, имеющей резкую границу раздела с окружающей средой, или неполяризовано, если его источником является ионосфера, облачный слой или какое-либо другое диффузное образование без определенной границы раздела.

Задача осложнялась необходимостью различать в эксперименте детали с очень малыми угловыми размерами: даже при наименьшем расстоянии Венеры от Земли размер областей планеты, от которых следовало ожидать поляризованного излучения, соответствует примерно Австралии на ученическом глобусе, находящемся на расстоянии 1 км от наблюдателя. Поэтому измерения было необходимо проводить на радиотелескопе, имеющем высокую разрешающую способность. Такое разрешение, не достигнутое еще ни с одним из существующих наземных радиотелескопов, было получено использованием двух разнесенных антенн, работающих как интерферометр.

Результаты измерений показали, что в 10-сантиметровом диапазоне длин волн излучение краев видимого диска Венеры поляризовано, и следовательно принимаемое на Земле радиоизлучение генерируется действительно поверхностью планеты. Тем-

пература поверхности центральной части ночной стороны Венеры оказалась около 400°C , т. е. выше точек плавления серы, олова и свинца.

По степени поляризации определены электрические свойства материала поверхности Венеры: диэлектрическая проницаемость равна 2,5, что исключает большие водоемы и тем более сплошной океан и соответствует сухим рыхлым породам типа песков или асфальтов с плотностью около $1,2\text{ г/см}^3$.

Этот результат хорошо согласуется с данными радиолокационных исследований Венеры, проведенными в СССР группой ученых Института радиотехники и электроники АН СССР под руководством академика В. А. Котельникова, а также в США и Англии. Диэлектрическая проводимость материала поверхности Венеры, определенная по интенсивности радиолокационного отраженного сигнала, заключена в пределах от 3 до 4. Радиолокация планеты также показала, что поверхность ее более гладкая, чем Луны.

С помощью радиолокационных измерений был решен вопрос об элементах вращения Венеры. Оказалось, что Венера в отличие от большинства других планет солнечной системы, вращается в направлении противоположном ее обращению вокруг

Солнца. Вращение планеты очень медленное: один оборот вокруг своей оси она совершает примерно за 247 земных суток. С учетом движения планеты по орбите вокруг Солнца, это означает, что солнечные сутки на Венере длятся 118 земных суток, т. е. примерно половину венерианского года. Ось вращения Венеры почти перпендикулярна плоскости ее орбиты, т. е. сезонные изменения подобные земным временам года не должны быть сильно выражены.

Интерференционные радиоастрономические измерения Венеры, проведенные нами, обнаружили также, что температура околополярных областей планеты примерно на 150°C ниже, чем в экваториальной части.

Высокая разрешающая способность радиотелескопа позволила также произвести измерения радиуса планеты, невидимой из-за облачного слоя. Он равен 6060 ± 55 км. Меньшая величина этого радиуса по сравнению с радиусом облачного слоя Венеры согласуется с тем, что в 10-сантиметровом диапазоне длин волн принимаемое радиоизлучение Венеры исходит от ее поверхности.

Все приведенные результаты относятся к неосвещенной Солнцем стороне Венеры. Для определения параметров ее освещенной части был проведен ряд измерений зависимости интенсивности радиоизлучения планеты от степени освещенности ее Солнцем. Однако данные таких измерений пока скудны и противоречивы. Можно лишь отметить, что различие температур поверхностей освещенной и неосвещенной Солнцем сторон планеты невелико.

К сожалению, радиоастрономические и радиолокационные методы исследования не дают прямых данных о свойствах атмосферы планеты. Так, давление атмосферы у поверхности Венеры может быть оценено лишь весьма ориентировочно. Если атмосфера планеты действительно состоит из азота и углекислоты и находится в адиабатическом равновесии, то давление у поверхности должно составлять от 3 до 10 атм. Однако, как уже говорилось, основная компонента атмосферы Венеры неизвестна.

До сих пор не решен вопрос о химическом составе венерианской атмосферы. Попытки определения состава атмосферы и облачного слоя из радиоастрономических исследований не дают однозначного решения. Экспериментальные данные могут быть объяснены разными способами, например, различными типами облаков, в том числе состоящими из капель переохлажденной воды, или же углекислым газом, находящимся в атмосфере Венеры, если давление у поверхности составляет $100 \div 200$ атм, и другими компонентами. Весьма запутан важный для космической биологии вопрос о наличии в атмосфере Венеры воды или водяного пара. Радиоастрономические измерения позволили пока лишь определить, что если водяной пар и есть, то его концентрация не превышает десятой доли его концентрации в земной атмосфере.

Окончательное решение этих и ряда других вопросов физики Венеры будет возможно лишь после прямых измерений с космических аппаратов в непосредственной близости к Венере.

1 марта 1966 года в 9 часов 56 минут московского времени автоматическая станция «Венера-3» после трех половиной месяцев полета в космическом пространстве достигла планеты Венера и доставила на ее поверхность вымпел с Гербом Союза Советских Социалистических Республик.

Другая советская автоматическая межпланетная станция «Венера-2», запущенная 12 ноября 1965 года, продолжая свой полет по гелиоцентрической орбите, 27 февраля 1966 года в 5 часов 52 минуты московского времени прошла на расстоянии 24 тысячи километров от поверхности Венеры. Материалы полета обеих станций обрабатываются и изучаются. Новые научные данные о Венере помогут раскрыть тайны загадочной планеты.