1966 г. Октябрь *Том 90, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОНАБЛЮДЕНИЙ МЕРКУРИЯ, ВЕНЕРЫ И МАРСА

А. Д. Кузьмин

Развившиеся в последние годы радиоастрономия и радиолокационная астрономия открыли новые возможности исследования планет и позволили получить ряд принципиально новых данных о них. В настоящей статье дается краткий обзор результатов радионаблюдений планет и излагается современное состояние вопроса об определенных по радиоданным физических условиях на них. В связи с обширностью темы рассмотрение ограничено планетами земной группы, т. е. Меркурием, Венерой и Марсом.

1. МЕРКУРИЙ

Меркурий — ближайшая к Солнцу планета солнечной системы.

По данным оптических наблюдений до последнего времени принималось, что вращение планеты является синхронным, т. е. период вращения Меркурия вокруг собственной оси равен периоду его обращения вокруг Солнца или, иначе говоря, что планета всегда обращена к Солнцу одной и той же стороной. В связи с малой массой Меркурия его атмосфера сильно разрежена (в несколько сот раз менее плотная, чем земная). Измерения собственного излучения Меркурия в инфракрасном диапазоне, проведенные в 1923—1925 гг. Петтитом и Николсоном [88] в интервале фазовых углов Меркурия 30 ÷ 125°, показали, что интенсивность этого излучения аналогично Луне зависит от фазы освещенности планеты Солнцем. При предположении о том, что распределение яркости от центра к краю планеты описывается законом $\cos^{2/3}\theta$, где θ — угловое расстояние от подсолнечной точки, температура подсолнечной точки определена ими равной 613° К. Эта величина хорошо согласуется с расчетной равновесной температурой подсолнечной точки синхронно-вращающейся планеты.

Первые радиоастрономические измерения Меркурия были проведены в 1961 г. Ховардом, Барреттом и Хэддоком [64] на волнах 3,45 и 3,75 *см* в интервале фазовых углов 106—58°. Средневзвешенное значение усредненной по видимому диску планеты яркостной температуры измерено равным 430° К. В связи с малым интервалом фазовых углов, при которых производились наблюдения, и недостаточной точностью измерений полученные результаты не позволяют судить о наличии фазовой зависимости яркостной температуры Меркурия.

Первые измерения зависимости яркостной температуры Меркурия от фазы освещенности его Солнцем были проведены в 1964 г. Кутузой, Лосовским и Саломоновичем [22] на волне 8 *мм* и Келлерманом [68] на волне 11 *см*. Результаты измерений Кутузы и др. указывают на наличие зависимости усредненной по диску яркостной температуры Меркурия $\overline{T}_{яр}$ на волне 8 *мм* от фазового угла Ф. Вычисления яркостной температуры

подсолнечной точки T_0, выполненные в предположении распределения яркостной температуры по поверхности в виде $T_я = T_0 \cos^n \theta$ для освещенной полусферы и $T_я = 0$ для неосвещенной полусферы, приводят к $T_0 = 660 \pm 120°$ К при $n = 1/4$ и $T_0 = 540 \pm 85°$ К при $n = 0$. В пределах ошибок это совпадает с результатами измерений Петтита и Николсона в инфракрасной части спектра.

Полученные данные не согласуются, однако, с результатами измерений Эпстейна [47], проведенных в последующем 1965 г. также в миллиметровом диапазоне длин волн (3,2 *мм*) в течение полного цикла изменения фазовых углов и не обнаруживших зависимости усредненной по диску яркостной температуры от фазы освещенности планеты Солнцем. Вторым отличием результата Эпстейна является неожиданно низкое значение средней величины $\overline{T}_{я♀}$, измеренное им равным всего лишь около 200° К, т. е. существенно ниже как приведенной к орбите Меркурия постоянной составляющей яркостной температуры Луны, так и расчетной равновесной температуры Меркурия.

В качестве возможного объяснения аномально низкой яркостной температуры Меркурия Эпстейн указывает на низкую излучательную способность поверхности в 3-*мм* диапазоне длин волн. Однако такая интерпретация не снимает вопроса о несоответствии данных о фазовом ходе $\overline{T}_{я♀}$ (Ф) в миллиметровом диапазоне длин волн, полученных Эпстейном, с одной стороны, и Кутузой и др., с другой стороны. Модель с «холодной» поглощающей атмосферой, аналогичной принятой для Венеры, по-видимому, могла бы при соответствующем подборе ее параметров устранить оба отмеченных противоречия.

Однако последние наблюдения Эпстейна [50] в апреле 1966 г. показали, что яркостная температура Меркурия на волне 3,4 *мм* увеличивается примерно от 150° К при фазовом угле Ф = 130° до примерно 500° К при Ф = 50°, т. е. что фазовая зависимость $\overline{T}_{я♀}$ в миллиметровом диапазоне действительно существует.

Результаты фазовых измерений Келлермана достаточно хорошо согласуются с распределением температуры вида $T_я = 250 + 260 \cos^{1/4}\theta$ для освещенной полусферы и $T_я = 250°$ К для неосвещенной полусферы. Равнояркая поверхность с $T_я = 300°$ К также удовлетворяет экспериментальным данным. Рид [92], проводивший в 1965 г. измерения радиоизлучения Меркурия на близкой волне 10,6 *см*, фазового хода яркостной температуры Меркурия не обнаружил. Величина $\overline{T}_{я♀}$ определена им равной 301 ± 25° К, что хорошо согласуется с данными Келлермана для равнояркой поверхности.

Наконец, имеется единичное измерение яркостной температуры Меркурия на волне 1,53 *см*, проведенное Уэлчем и Торнтоном [103]. При фазовом угле Ф = 160° яркостная температура Меркурия определена ими равной 465 ± 115° К.

Следующее из вышеприведенных измерений уменьшение зависимости яркостной температуры Меркурия от фазы с увеличением длины волны, на которой производятся измерения, может быть объяснено тем, что аналогично Луне более длинноволновое излучение исходит из глубоких подповерхностных слоев планеты, температура которых не успевает следовать за нагревом поверхности Солнцем. С учетом того, что при перемещении Луны на орбиту Меркурия следует ожидать увеличения ее температуры в 1,6 раза, величина средней яркостной температуры Меркурия $\overline{T}_{я♀} \cong 300°$ К удовлетворительно согласуется с постоянной составляющей яркостной температуры Луны $\overline{T}_{я.\,л.} \cong 220°$ К.

Вышеизложенной интерпретации данных радиоастрономических измерений соответствует модель Меркурия с резким изменением температуры примерно от 600° К в подсолнечной точке до примерно 150° К на неосвещенной стороне планеты и примерно одинаковой не зависящей от освещенности Солнцем температурой около 300° К на глубине проникновения электрической волны 10 *см*. Новыми в этой модели по сравнению с ранее принятыми представлениями являются отказ от основанного на синхронном вращении планеты мнения о том, что температура неосвещенной Солнцем стороны Меркурия близка к абсолютному нулю, а также вывод об умеренной температуре относительно неглубоких подповерхностных слоев планеты. Однако имеющиеся на сегодня данные радиоастрономических измерений Меркурия весьма скудны для получения по ним более определенных выводов о физических характеристиках планеты. Необходимы дальнейшие измерения, в первую очередь фазовой зависимости яркостной температуры и в более широком диапазоне длин волн.

Первые радиолокационные наблюдения Меркурия были проведены в июне 1962 г. Котельниковым и др. [11] в Институте радиотехники и электроники АН СССР (ИРЭ). Эффективное сечение отражения планеты на волне 43 *см* определено равным 0,03 ± 0,06 геометрического сечения, т. е. примерно таким же, как и у Луны. Аналогичные результаты получены в последующих радиолокационных наблюдениях Меркурия, проведенных Карпентером и Голдстейном [31] на волне 12,5 *см* в Лаборатории реактивного движения (JPL) и Дайсом и Петтенгилом [46, 86] на волне 70 *см* на ионосферной обсерватории Аресибо (AIO).

Одинаковость отражательных свойств Меркурия и Луны является еще одним доводом в пользу близости свойств их поверхностей.

Наиболее интересным результатом радиолокационных измерений Меркурия является отказ от представления о синхронном вращении планеты. Измерения Дайса и Петтенгила [46], проведенные в апреле и августе 1965 г. на AIO, показали что вращение Меркурия прямое с периодом 59,3 ± 2 земных суток, а не 88 суток, как считалось ранее. В этой связи Рэсул, Грос и Мак-Говерн [91] пересмотрели результаты оптических наблюдений Меркурия, проводившихся Антониади, Лио, Дольфюсом и Баумом с 1924 по 1953 г. Они показали, что эти результаты могут быть удовлетворены рядом значений периода вращения. Определенный ранее период вращения 88 суток является лишь одним из возможных. Другое значение периода вращения Меркурия 58,4 ± 0,5 суток также удовлетворяет данным оптических наблюдений, но согласуется одновременно с результатами радиолокационных измерений.

Наконец, Коломбо [35] обратил внимание, что если фигура Меркурия является эллипсоидом, то с учетом эксцентриситета орбиты возможен устойчивый режим, при котором период вращения составляет точно 2/3 периода обращения, т. е. 58,65 суток.

2. ВЕНЕРА

Венера — ближайшая к Земле планета Солнечной системы и самое яркое светило на небе после Солнца и Луны. Однако оптические наблюдения планеты позволили определенно установить лишь, что Венера имеет атмосферу, отличающуюся от земной значительно большим содержанием углекислого газа и значительно меньшим содержанием кислорода и водяного пара. В связи с непрозрачностью атмосферы для оптических исследований доступны лишь верхние слои ее аэрозольно-облачной оболочки. Давление на уровне облачного слоя оценено равным от 0,1 до 0,3 *атм*. Температура атмосферы на уровне облачного слоя

слоя планеты составляет около 240° К и одинакова для освещенной и не освещенной Солнцем сторон. Недоступные же для оптических наблюдений поверхность и подоблачная атмосфера планеты оставались до последнего времени предметом различных гипотез.

Новые возможности для исследования Венеры открылись лишь в последние годы, когда на помощь оптической астрономии пришла радиоастрономия, а затем радиолокационная астрономия. В связи с тем, что земная атмосфера и облачный слой имеют «окна прозрачности» в радиодиапазоне, можно ожидать наличия аналогичных «окон прозрачности»

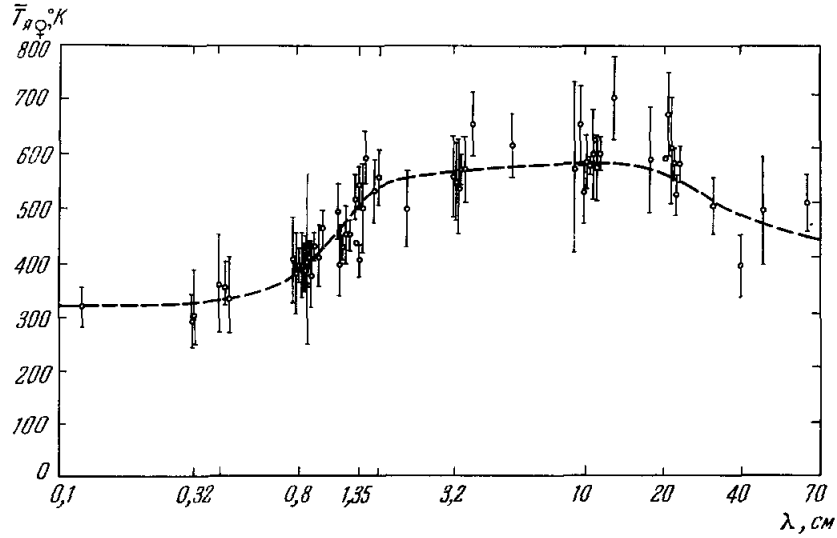

Рис. 1. Спектр усредненной по видимому диску планеты яркостной температуры неосвещенной Солнцем стороны Венеры.

и в атмосфере, и в облачном слое Венеры. Исследуя собственное и отраженное излучение планеты в этих «окнах прозрачности», можно получить данные о температуре и свойствах поверхности и подоблачной части атмосферы Венеры.

Первые измерения собственного радиоизлучения Венеры, проведенные в 1956 г. Майером, Мак-Каллуфом и Слонейкером [75], обнаружили, что усредненная по видимому диску планеты яркостная температура Венеры равна примерно 600° К, т. е. более чем в два раза превышает радиометрическую температуру, измеренную ранее в инфракрасном диапазоне. Однако для интерпретации этого результата было необходимо выяснить, каков механизм принимаемого радиоизлучения и является ли атмосфера планеты прозрачной.

Как известно, одной из важнейших характеристик механизма радиоизлучения является его спектр. Измерения спектра радиоизлучения Венеры проведены в СССР, США, Англии и Франции в широком диапазоне длин волн от 1 *мм* до 70 *см* [3, 5, 8, 15, 16, 20, 30, 36, 37, 39, 41, 42, 48, 52–55, 61, 62, 68, 69, 72–74, 78, 80, 96, 97, 99, 101, 103]. Результаты этих измерений представлены на рис. 1 в виде зависимости усредненной по видимому диску планеты яркостной температуры Венеры $\bar{T}_{я♀}$ от длины волны λ. Наиболее характерными особенностями спектра радиоизлучения Венеры являются приблизительное постоянство яркостной температуры планеты в диапазоне длин волн примерно от 2 до 20 *см* и значительное ее умень-

шение на более коротких волнах. Другой интересной, но пока еще недостаточно надежной деталью спектра является уменьшение яркостной температуры радиоизлучения Венеры в дециметровом диапазоне длин волн.

Для интерпретации измеренного спектра радиоизлучения Венеры было предложено две группы моделей: модель с «холодной» атмосферой и модель с «горячей» атмосферой.

В модели Венеры с «холодной» атмосферой, предложенной Кузьминым и Саломоновичем [15] и развитой Барреттом [27], Саганом [93], Саломоновичем [24], Кузьминым [18], Барретом и Стелайном [28] и Башариновым и Кутузой [2], предполагается, что высокотемпературное излучение планеты в сантиметровом диапазоне является тепловым излучением горячей поверхности, наблюдаемой сквозь прозрачную в этом диапазоне атмосферу планеты (рис. 2). Уменьшение же яркостных температур на более коротких волнах в этой модели объясняется поглощением и переизлучением более холодной атмосферой, непрозрачной для миллиметрового излучения.

В модели Венеры с «горячей» атмосферой, предложенной Джонсом [66] и развитой Толбертом и Стрэттоном [100], Скарфом [94], Кузьминым [17], Даниловым и Яценко[6] и Вахниным и Лебединским [4], предполагается, что атмосфера Венеры содержит некоторую электроактивную среду, являющуюся источником высокотемпературного излучения в сантиметровом диапазоне волн. В миллиметровом диапазоне эта среда предполагается прозрачной, а принимаемое на Земле радиоизлучение — обусловленным поверхностью планеты, имеющей относительно более низкую температуру. Возникающее в этой модели противоречие с данными радиолокационных измерений Венеры может быть преодолено принятием дырчатой или полупрозрачной структуры излучающей среды.

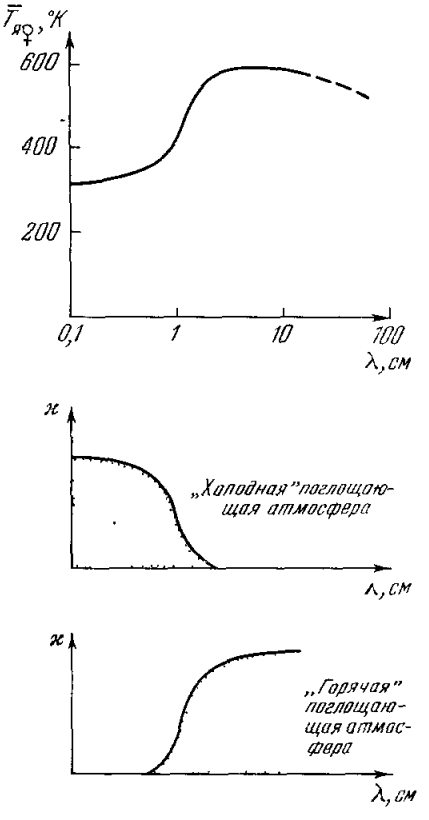

Рис 2 Схематическое представление зависимости поглощения от длины волны в моделях Венеры с «холодной» и «горячей» поглощающими атмосферами

Анализ показал, что экспериментальному спектру удовлетворяют обе указанные группы моделей. Сказанное иллюстрируется рис. 3, на котором приведены рассчитанные нами спектры $T_{я♀}$ (λ) для феноменологических моделей с «холодной» и с «горячей» атмосферами совместно с экспериментальными точками измерения $\bar{T}_{я♀}$.

Таким образом, на основании данных одних лишь спектральных измерений произвести выбор между моделями Венеры и, следовательно, определить ее физические параметры не представляется возможным. Необходимо привлечение дополнительных данных

Для прояснения этого вопроса Келлогом и Саганом [7] было предложено измерить распределение радиояркости по видимому диску Венеры.

При этом ожидалось, что в модели с «горячей» атмосферой распределение радиояркости в переходной части спектра будет иметь уярчение на краю диска, обусловленное увеличением оптической толщи электроактивной среды, являющейся источником высокотемпературного излучения. В модели же с «холодной» атмосферой ожидалось потемнение края диска, обусловленное увеличением оптической толщи поглощающей (более холодной, чем поверхность) атмосферы планеты.

Результаты измерений оказались, однако, противоречивыми. Так, первые измерения, проведенные Корольковым, Парийским, Тимофеевой и Хайкиным [9] на волне 3 *см*, и последующие измерения Барефа и др. [26] на

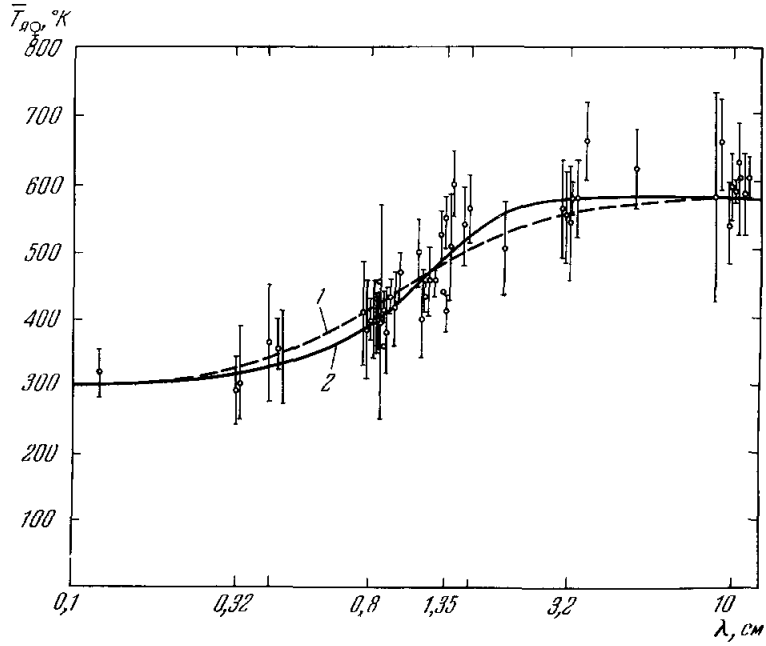

Рис. 3. Расчетный спектр яркостной температуры Венеры: *1* — для модели с «холодной» атмосферой *2* — для модели с «горячей» атмосферой.

Маринере-2 на волне 1,9 *см* показали потемнения диска к краю. Однако измерения на волне 1,35 *см*, также проведенные на Маринере-2, потемнения не обнаружили, хотя на этой более короткой волне ожидаемый эффект должен был бы быть более сильным. С другой стороны, измерения на более длинной волне 10 *см*, проведенные Кларком и Спенсером [34], обнаружили даже уярчение края. Наряду с противоречивостью полученных результатов указанный эксперимент не дает также однозначного ответа на поставленный вопрос о выборе модели. Так, потемнение края не является еще доказательством того, что наблюдаемое излучение исходит от поверхности планеты. Такое потемнение может иметь место, например, в случае, если излучение обусловлено плотной атмосферой планеты, температура которой уменьшается с увеличением высоты. Радиолокационные измерения на волне 3,6 *см* [67, 95], показавшие, что коэффициент отражения на этой волне более чем на порядок меньше, нежели в дециметровом диапазоне длин волн, свидетельствуют в пользу того, что на волнах 1,9 ÷ 3 *см*, на которых измерено потемнение лимба, атмосфера Венеры, возможно, действительно является сильно поглощающей.

Был необходим эксперимент, однозначно показывающий, является ли принимаемое на Земле радиоизлучение Венеры излучением ее поверхности. Такой эксперимент был поставлен Кузьминым и Кларком [20] в 1964 г. на радиоастрономической станции Оуэнс Вэллей Калифорнийского технологического института. Идея эксперимента заключалась в том, что в связи с различием коэффициентов отражения Френеля для вертикальной и горизонтальной поляризаций излучение планеты должно быть поляризовано на краях видимого диска, если оно обусловлено поверхностью планеты, имеющей резкую границу раздела с окружающей средой,

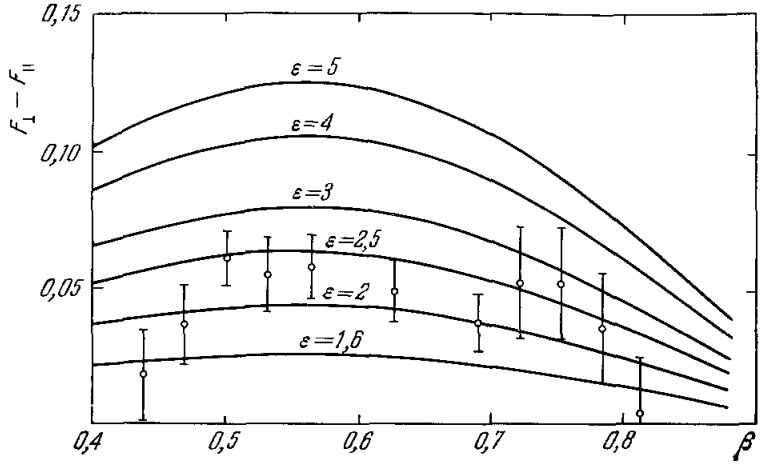

Рис. 4. Разность функций видимости радиоинтерферометрических измерений Венеры в поляризациях перпендикулярной и параллельной эффективной базе интерферометра.

или неполяризовано, если его источником является ионосфера, облачный слой или какое-либо другое диффузное образование без определенной границы раздела. Необходимое для эксперимента высокое угловое разрешение было достигнуто применением радиоинтерферометра.

Результаты измерений, приведенные на рис. 4 в виде разности функций видимости интерферометра в поляризациях перпендикулярной $F_\perp$ и параллельной $F_\parallel$ эффективной базе интерферометра, показывают превышение $F_\perp$ над $F_\parallel$, существенно большее ошибок измерений. Это указывает на поляризацию излучения краев видимого диска. Следовательно, основная часть радиоизлучения Венеры в 10-*см* диапазоне длин волн, в котором производились указанные измерения, является тепловым излучением среды, имеющей резкую границу раздела, т. е. поверхности планеты. Исходя из этого, модель Венеры с «горячей» атмосферой должна быть отклонена.

Определение природы наблюдаемого радиоизлучения позволяет решить и вопрос о температуре поверхности планеты. По данным радиоастрономических измерений [20] температура поверхности Венеры составляет 650 ± 70° К в противосолнечной точке, т. е. в местную полночь, и 500 ± 100° К в околополярных областях. Различие температур поверхности на освещенной и не освещенной Солнцем сторонах планеты не превышает 10% [21, 40, 69].

Вопрос об источнике нагрева недостаточно ясен. Наиболее вероятно, что это парниковый эффект. Однако этот вопрос требует доработки.

Радиус поверхности планеты, определенный из радиоастрономических измерений [20], составляет 6060 ± 55 *км*, что несколько меньше эфемеридного радиуса планеты 6100 *км*.

Успешные радиолокационные наблюдения Венеры ведутся в СССР, США и Англии с 1961 г. [10, 12, 14, 31–33, 45, 51, 58, 61, 65, 67, 70, 71, 81, 85, 89, 90, 98].

Диэлектрическая постоянная материала поверхности планеты, определенная из радиоастрономических [20] и радиолокационных измерений, равна $\varepsilon = 3 \div 4$. Это исключает большие водоемы и тем более сплошной водный океан и соответствует сухим породам с плотностью $\rho = 1{,}5—2$ $г \cdot см^{-3}$ типа песка, гранита, диофита, дунита, лимонита и других сухих пород, составляющих кору Земли. Радиолокационные измерения показали также, что поверхность Венеры более гладкая, чем Луны: среднеквадратичные отклонения углов наклона от нормали к радиусам составляют около 6°.

С помощью радиолокации решен вопрос об элементах вращения Венеры. Оказалось, что, в отличие от большинства других планет солнечной системы, Венера вращается в направлении, противоположном ее обращению вокруг Солнца. Вращение очень медленное: один оборот вокруг своей оси планета совершает за 247 ± 5 земных суток.

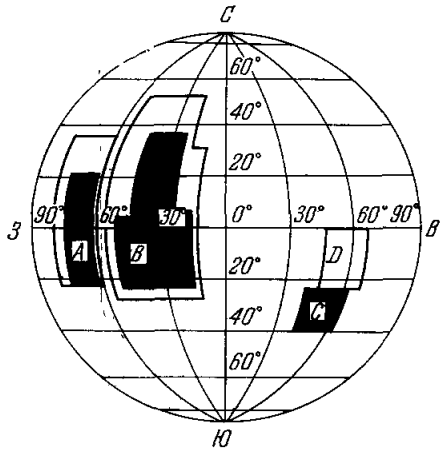

Рис. 5. Местоположение областей повышенного радиоотражения на диске Венеры.

Голдрейх и Пил [57] обратили внимание, что если момент инерции Венеры зависит от направления, возможен такой устойчивый режим вращения планеты, при котором в каждое нижнее соединение Венера ориентирована таким образом, что ее момент инерции минимален относительно направления на Землю. Для получения такого синхронизированного Землей вращения Венеры, при обратном направлении вращения, ее период вращения должен быть равен 243,16 суток, что с точностью ошибок измерения совпадает с экспериментом. Для прояснения этого весьма интересного вопроса необходимо дальнейшее экспериментальное уточнение периода вращения Венеры. С учетом движения планеты по орбите период вращения в 247 суток соответствует продолжительности солнечных суток на Венере, равной 118 земным суткам, т. е. примерно половине венерианского года. Ось вращения Венеры близка к перпендикуляру к плоскости орбиты, т. е. сезонные изменения, подобные земным временам года, не должны быть сильно выражены.

Измерения в JPL [32, 33, 61] и AIO [45] выявили на диске Венеры пекулярные области с повышенным отражением в радиодиапазоне (рис. 5). Одна из этих областей, пересекавшая 23 июля 1964 г. центральный меридиан, вытянута вдоль меридиана, возможно, до 3800 *км* (0,62 радиуса Венеры); ширина области меньше 900 *км*. Вторая область более сложная и протяженная. О природе и структуре этих областей пока ничего не известно. В связи с повышенным отражением также и в деполяризованном отражении, можно предположить, что это — образования, имеющие более шероховатую структуру.

К сожалению, радиоастрономические и радиолокационные данные не дают прямых сведений о свойствах атмосферы планеты. Однако косвенно по температурам поверхности и облачного слоя можно оценить давление у поверхности. Для углекисло-азотной адиабатической атмосферы расчет-

ное давление у поверхности должно быть примерно в 30 раз больше, чем на уровне облачного слоя, и составлять, следовательно, $3 \div 10$ *атм*. Для атмосферы, отличной от адиабатической, давление должно быть еще больше. Попытки определения по радиоастрономическим данным состава атмосферы и облачного слоя Венеры не дают однозначного решения, так как измеренный спектр $\overline{T}_{я♀}(\lambda)$ может быть удовлетворен различными типами жидкого полярного аэрозоля, в том числе и переохлажденной водой, углекислым газом при давлении $100 \div 200$ *атм* и возможно другими компонентами. Попытки определения содержания в атмосфере Венеры водяного пара методом наблюдения линии поглощения $\lambda = 1{,}35$ *см*, предпринятые четырьмя группами в США [42, 55, 97, 103], так же как и оптические данные, дали противоречивые результаты. Единственная численная оценка, произведенная Дрейком [42], дает верхний предел содержания водяного пара в атмосфере Венеры равным нескольким десятым грамма осажденной воды на квадратный сантиметр.

3. МАРС

Первое радиоастрономическое наблюдение Марса было проведено в 1956 г. Майером, Мак-Калуфом и Слонейкером [76]. Усредненная по видимому диску яркостная температура планеты на волне 3,15 *см* была измерена равной $218 \pm 76°$ К.

В течение последующих 10 лет наблюдения радиоизлучения Марса были распространены на диапазон длин волн от 1 *мм* до 1,54 *м* [23, 37, 38, 49, 56, 63, 68, 69, 73, 83, 102]. Результаты измерений усредненной по видимому диску планеты яркостной температуры Марса $\overline{T}_{я♂}$ представлены на рис. 6

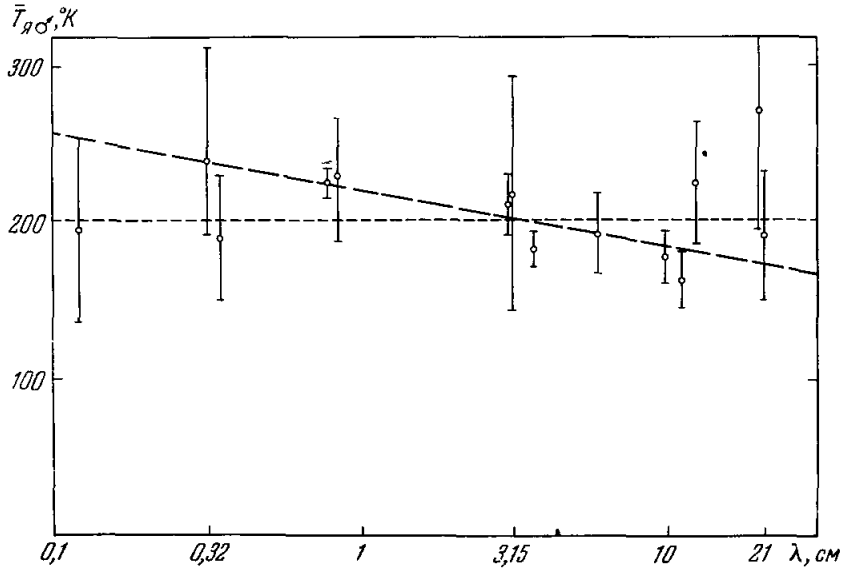

Рис. 6. Спектр усредненной по видимому диску планеты яркостной температуры освещенной Солнцем стороны Марса.

в виде зависимости $\overline{T}_{я♂}$ от длины волны λ. Рассмотрение этого рисунка выявляет тенденцию к уменьшению $\overline{T}_{я♂}$ с увеличением λ, хотя с точностью ошибок измерения согласие экспериментальных данных с постоянной температурой $\overline{T}_{я♂} \cong 200°$ К также достаточно удовлетворительное.

В обоих случаях наблюдаемое радиоизлучение может быть интерпретировано в рамках механизма теплового излучения.

Для объяснения уменьшения $\overline{T}_{я♂}$ с удлинением волны, если этот эффект реален, могут быть предложены следующие возможности:

а) наличие фазового хода, амплитуда которого уменьшается с увеличением длины волны. Так как наблюдения Марса с Земли возможны лишь при небольших фазовых углах, т. е. в условиях, когда большая часть видимого диска освещена Солнцем, следует ожидать увеличения яркостной температуры на более коротких волнах, где фазовый эффект должен проявляться более сильно. В этом случае можно предположить, что температура не освещенной Солнцем стороны Марса значительно ниже температуры освещенной стороны планеты.

б) уменьшение излучательной способности материала излучающего слоя с удлинением волны.

Первые радиолокационные наблюдения Марса были проведены в 1963 г. Котельниковым и др. [13] на волне 43 *см* и Голдстейном и Джилмором [59] на волне 12,5 *см*. Средний коэффициент отражения был измерен близким к лунному. Спектр отраженного излучения свидетельствует о наличии на Марсе достаточно ровных участков поверхности размером нескольких километров и более. Обнаружены также области с повышенной отражательной способностью.

В 1965 г. радиолокация Марса была продолжена Голдстейном [60] на волне 12,5 *см* и Дайсом [44] на волне 70 *см*. Построены карты распределения отражательных свойств по плането-центрической долготе. Выявлена корреляция повышенного радиолокационного отражения с темными областями на Марсе.

Радиоастрономические и радиолокационные наблюдения планет продолжаются и несомненно в ближайшие годы дадут новые важные данные о физике планет.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Башаринов, Ю. Н. Ветухновская, А. Д. Кузьмин, Б. Г. Кутуза, А. Е. Саломонович, Астр. ж. **41** (7), 707 (1964).
2. А. Е. Башаринов, Б. Г. Кутуза, Астр. ж. **43** (1), 149 (1966).
3. В. П. Бибинова, А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, И. В. Шавловский, Астр. ж. **39** (6), 1083 (1962).
4. В. М. Вахнин, А. И. Лебединский, Космические исследования **3** (6), 917 (1965).
5. Ю. Н. Ветухновская, А. Д. Кузьмин, Б. Г. Кутуза, Б. Я. Лосовский, А. Е. Саломонович, Изв. вузов (Радиофизика) **6**, 1054 (1963).
6. А. Д. Данилов, С. П. Яценко, Геомагн. и аэрономия **3** (4), 585, 594 (1963).
7. У. Келлог, К. Саган, ИЛ, 1962.
8. А. Г. Кисляков, А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, Изв. вузов (Радиофизика) **4**, 573 (1961); Астр. ж. **39** (3), 410 (1962).
9. Д. В. Корольков, Ю. Н. Парийский, Ю. Н. Тимофеева, С. Э. Хайкин, ДАН СССР **149** (1), 65 (1963).
10. В. А. Котельников, В. М. Дубровин, М. Д. Кислик, Е. Б. Коренберг, В. П. Минашин, В. А. Морозов, Н. И. Никитский, Г. М. Петров, О. Н. Ржига, А. М. Шаховский, ДАН СССР **145** (5), 1035 (1962).
11. В. А. Котельников, Г. Я. Гуськов, В. М. Дубровин, Б. А. Дубинский, М. Д. Кислик, Е. Б. Коренберг, В. П. Минашин, В. А. Морозов, Н. И. Никитский, Г. М. Петров, Г. А. Подопригора, О. Н. Ржига, А. В. Францессон, А. М. Шаховский, ДАН СССР **147** (6), 1320 (1962).
12. В. А. Котельников, В. М. Дубровин, Б. А. Дубинский, М. Д. Кислик, Б. И. Кузнецов, И. В. Лишин, В. А. Морозов, Г. М. Петров, О. Н. Ржига, Г. А. Сыцко, А. М. Шаховский, ДАН СССР **151** (3), 532 (1963).

13. В. А. Котельников, В. М. Дубровин, Б. А. Дубинский, М. Д. Кислик, Б. И. Кузнецов, Г. М. Петров, А. П. Работягов, О. Н. Ржига, А. М. Шаховский, ДАН СССР **151** (4), 811 (1963).
14. 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, ДАН СССР **163** (1), 50 (1965).
15. А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, Астр. ж. **37**, (2), 297 (1960).
16. А. Д. Кузьмин, А. Е. Саломонович, Астр. ж. **39**, (4), 660 (1962).
17. А. Д. Кузьмин, Изв. вузов (Радиофизика) **6** (6), 1090 (1963).
18. А. Д. Кузьмин, Изв. вузов (Радиофизика) **7** (6), 1021 (1964).
19. А. Д. Кузьмин, Изв. вузов (Радиофизика) 8 (1), 7 (1965).
20. А. Д. Кузьмин, Б. Дж. Кларк, Астр. ж., **42**, (3), 595 (1965).
21. А. Д. Кузьмин, Астр. ж. **42** (6), 1965.
22. Б. Г. Кутуза, Б. Я. Лосовский, А. Е. Саломонович, Астр. циркуляр, № 327, 5, 28 апреля 1965.
23. Б. Г. Кутуза, Б. Я. Лосовский, А. Е. Саломонович, Астр. ж. **43** (1), 236 (1966).
24. А. Е. Саломонович, Изв. вузов (Радиофизика) **7** (1), 51 (1964).
25. В. С. Троицкий, Астр. ж. **31**, 511 (1954).
26. F. T. Barath, A. H. Barrett, J. Copeland, D. E. Jones, A. E. Lilley, Astron. J., **69** (1), 49 (1964).
27. A. H. Barrett, J. Geophys. Res. **65** (6), 1835 (1960); Astrophys. J. **133** (1), 281 (1961).
28. A. H. Barrett, D. H. Staelin, Space Sci. Rev. **3**, 109 (1964).
29. A. H. Barrett, Radio Sci. **69-D** (12), 1565 (1965).
30. A. Boischot, M. Ginat, T. Kazes, Ann. Astrophys. **26** (4), 385 (1963).
31. R. L. Carpenter, R. M. Goldstein, Science **142** (3590), 381 (1963).
32. R. L. Carpenter, Astron. J. **69** (1), 2 (1964).
33. R. L. Carpenter, Astron. J. **70** (2), 134 (1965).
34. B. G. Clark, C. L. Spencer, Astron. J. **69** (1), 59 (1964).
35. G. Colombo, Nature **208** (5010), 575 (1965).
36. J. Copeland, W. C. Tyler, Astrophys. J. **139** (1), 409 (1964).
37. R. D. Davies, D. Williams, Planet. Space Sci. **14** (1), 15 (1966).
38. W. A. Dent, M. J. Klein, H. D. Aller, Astron. J. **70** (9), 673 (1965).
39. F. D. Drake, Publ. NRAO **1** (11), 165, 1962.
40. F. D. Drake, Nature **195** (4844), 894 (1962).
41. F. D. Drake, Astron. J. **69** (1), 62 (1964).
42. F. D. Drake, Radio Sci. **69-D** (12), 1577 (1965).
43. F. D. Drake, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Пасадена, сентябрь 1965.
44. R. B. Dyce, Radio Sci. **69-D** (12), 1628 (1965).
45. R. B. Dyce, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Пасадена, сентябрь 1965.
46. R. B. Dyce, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Пасадена, сентябрь 1965.
47. E. E. Epstein, Science **151** (3709), 445 (1966).
48. E. E. Epstein, Astron. J. **70** (9), 721 (1965).
49. E. E. Epstein, Astrophys. J. **143** (2), 597 (1966).
50. E. E. Epstein, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Вена, 1966.
51. J. V. Evans, R. A. Brockelman, J. C. Henry, G. M. Hyde, L. G. Kraft, W. A. Reid, W. W. Smith, Astron. J. **70** (1), 486 (1965).
52. J. E. Gibson, R. J. McEwan, Radio Astronomy, Paris Symposium, 1959.
53. J. E. Gibson, Astrophys. J. **137** (2), 611 (1963).
54. J. E. Gibson, H. H. Corbett, Astron. J. **68** (2), 74 (1963).
55. J. E. Gibson, H. H. Corbett, Radio Sci **69-D** (12), 1577 (1965).
56. J. A. Giordmaine, L. E. Alsop, C. H. Mayer, C. H. Townes, Astron. J. **64** (8), 332 (1959).
57. P. Goldreich, S. J. Peal, Nature **209** (5028), 1117 (1966).
58. R. M. Goldstein, Astron. J. **69** (1), 12 (1964).
59. R. M. Goldstein, W. F. Gillmore, Science **141** (3586), 1171 (1963).
60. R. M. Goldstein, Radio Sci. **69-D** (12), 1625 (1965).
61. R. M. Goldstein, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Пасадена, сентябрь 1965.
62. C. R. Grant, H. H. Corbett, J. E. Gibson, Astrophys. J. **137** (2), 620 (1963).
63. H. H. Hardebeck, Astrophys. J. **142** (4), 1696 (1965); Radio Sci. **69-D** (12), 1573 (1965).
64. W. E. Howard, A. H. Barrett, F. T. Haddock, Astrophys. J. **136** (3), 995 (1962).

65. J. C. James, R. P. Ingalls, Astron. J. **69** (I), 19 (1964).
66. D. E. Jones, Planet. Space Sci. **5** (2), 166 (1961).
67. D. Karp, W. E. Morrow, W. B. Smith, Icarus **3**, (5—6), 473 (1964).
68. K. I. Kellerman, Radio Sci. **69-D** (12), 1574 (1965).
69. K. I. Kellerman, Препринт, 1966.
70. W. K. Klemperer, G. R. Ochs, K. L. Bowles, Astron. J. **69** (1), 22 (1964).
71. G. S. Levy, D. Schuster, Astron. J. **69** (1), 29 (1964).
72. A. E. Lilley, Astron. J. **66** (7), 290 (1961).
73. F. Low, Lowell Observ. Bull. **6** (9), 184 (1965).
74. V. L. Lynn, M. L. Meeks, M. D. Sohigian, Astron. J. **69** (1), 65 (1964).
75. C. H. Mayer, T. P. McCullough, R. M. Sloanaker, Astrophys. J. **127** (1), 1 (1958).
76. C. H. Mayer, T. P. McCullough, R. M. Sloanaker, Astrophys. J. **127** (1), 11 (1958).
77. C. H. Mayer, T. P. McCullough, R. M. Sloanaker, Доклад на XIII Генеральной ассамблее УРСИ, Лондон, сентябрь 1960.
78. C. H. Mayer, T. P. McCullough, R. M. Sloanaker, Astron. J. **65** (6), 349 (1960).
79. C. H. Mayer, T. P. McCullough, R. M. Sloanaker, Physique des planetes, Univ. Liege, 1963.
80. T. P. McCullough, J. W. Bolland, Astron. J. **69** (1), 68 (1964).
81. D. O. Muhleman, Astron. J. **66** (7), 292 (1961).
82. D. O. Muhleman, R. Goldstein, R. Carpenter, IEEE Spectrum **2** (10), 44 (1965); **2** (11), 78 (1965).
83. D. O. Muhleman, T. Sato, Radio Sci., **69-D** (12), 1580 (1965).
84. D. O. Muhleman, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Пасадена, сентябрь 1965.
85. G. H. Pettengill, H. W. Briscoe, J. V. Evans, E. Gehrels, G. M. Hyde, L. G. Kraft, R. P.r.i.c.e, W. B. Smith, Astron. J. **67** (4), 181 (1962).
86. G. H. Pettengill, R. B. Dyce, Nature **206**, (4990), 1240 (1965).
87. G. H. Pettengill, Radio Sci. **69-D** (12), 1617 (1965).
88. E. Pettit, S. B. Nicholson, Astrophys. J. **83** (2), 84 (1936).
89. J. E. Ponsonby, J. H. Thomson, K. S. Imrie, Доклад на IV Симпозиуме КОСПАР, Варшава, 1963.
90. J. E. Ponsonby, J. H. Thomson, K. S. Imrie, Nature **204**, 64, 1964.
91. S. I. Rasool, S. H. Gross, W. E. McGovern, NASA Report, Jan. 1966.
92. R. Read, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Пасадена, сентябрь 1965.
93. C. Sagan, Science **133** (3456), 849 (1961).
94. F. L. Scarf, J. Geophys. Res. **68** (1), 141 (1963).
95. I. Shapiro, Доклад на симпозиуме по Луне и планетам, Вена, май 1966.
96. D. H. Staelin, A. H. Barrett, B. R. Kusse, Astron. J. **69**, № 1, 69 (1964).
97. D. H. Staelin, A. H. Barrett, Astron. J. **70**, № 5, 330 (1965).
98. J. H. Thomson, G. N. Taylor, J. E. Ponsonby, R. S. Roger, Nature **190** (4775), 519 (1961).
99. D. D. Thornton, W. J. Welch, Astron. J. **69**, № 1, 71 (1964).
100. C. W. Tolbert, A. W. Straiton, J. Geophys. Res. **67**, № 5, 1741 (1962).
101. C. W. Tolbert, A. W. Straiton, Nature **204**, № 4965, 1242, 1964.
102. C. W. Tolbert, Astron. J. **71**, № 1, 30 (1966).
103. W. J. Welch, D. D. Thornton, Astron. J. **70**, № 2, 149 (1965).