

И. К. КОВАЛЬ
доктор физико-математических наук
председатель Комиссии по физике
планет
Астросовета АН СССР

Планета Марс

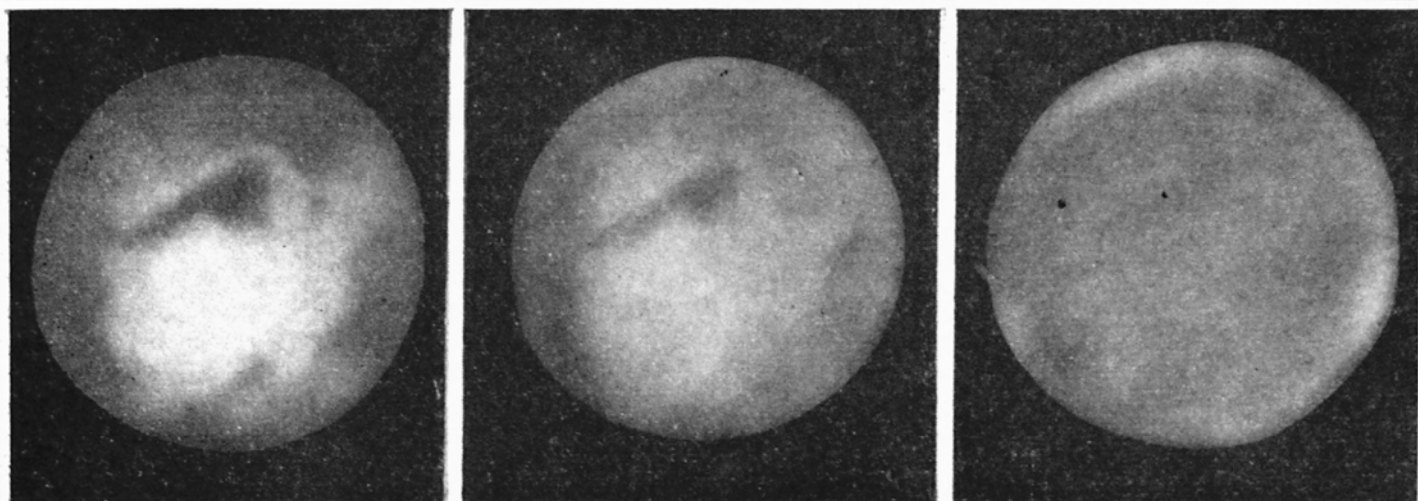
Выдающиеся успехи космической техники значительно углубили наши знания в области физики Луны и планет солнечной системы. ЦК КПСС и Советское правительство постоянно уделяют внимание исследованиям в космосе. Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. предусмотрено продолжение фундаментальных исследований Луны и планет солнечной системы.

Из всех планет солнечной системы наиболее изучены физические характеристики и химический состав атмосфер Марса и Венеры. Это вовсе не означает, что интерес астрономов к таким планетам, как Юпитер или Сатурн, в какой-то степени ослабел и наши знания об их атмосферах в последние годы не пополнились сколько-нибудь существенными сведениями. Напротив, теперь, когда еще не начаты исследования атмосфер планет-гигантов с помощью космических аппаратов, мы стали свидетелями значительного расширения наземных наблюдений этих планет. Марс и Венера — ближайшие соседи Земли — уже исследуются автоматическими станциями. Успешные наблюдения Марса, выполненные космическими аппаратами «Маринер», и прямые измерения параметров венерианской атмосферы автоматическими станциями «Венера» не оставляют никаких сомнений в высокой эффективности новых методов изучения планет.

Многолетние наблюдения Марса дали ученым немало ценных сведений о физических условиях, господствующих на этой планете. Определен в основных чертах химический состав атмосферы, получены более

или менее уверенные данные о величине атмосферного давления и вместе с тем о содержании аэрозолей в атмосфере, выведены основные закономерности поведения наиболее приметных образований поверхности и атмосферы планеты и т. д. Несомненно, что дальнейшему прогрессу аэрофизики будут способствовать, прежде всего, разносторонние исследования планеты космическими аппаратами, продолжительное время работающими на ареоцентрической орбите, а затем и с помощью спускаемых аппаратов, предназначенных для измерения параметров атмосферы и характеристик поверхности Марса.

В то же время продолжают сохранять актуальность разносторонние наземные наблюдения Марса, и астрономы всегда тщательно готовятся к новым «встречам» с оранжевым соседом Земли в периоды противостояния планеты. 10 августа 1971 г. произошло очередное великое противостояние Марса, во время которого он приблизился к Земле на минимально возможное расстояние — около 56 млн. км. К сожалению, советские обсерватории, в которых активно ведутся планетные исследования, расположены на довольно высоких широтах северного полушария, так что при большом отрицательном склонении Марса в период его великого противостояния (-20°) условия для оптических наблюдений были весьма неблагоприятными. Поэтому советские астрономы проводили наблюдения на юге страны, где высота Марса над горизонтом достигала в момент кульминации $25-30^\circ$ (Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР, Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзССР, Астро-



Фотографии Марса в красных (слева), зеленых (в центре) и синих лучах

физический институт АН ТаджССР и другие).

Какими же сведениями о физических условиях на Марсе располагают сейчас ученые и какие задачи предполагается решить в ближайшее время?

Химический состав атмосферы. Основной составляющей атмосферы Марса является углекислый газ. Его относительное содержание в атмосфере планеты, по-видимому, значительно превышает 50%. Одним из претендентов на второе место по обилию в марсианской атмосфере до последнего времени оставался азот. Однако с помощью ультрафиолетовых спектрометров, установленных на космических аппаратах «Маринер-6 и -7», было найдено, что относительное содержание азота в атмосфере Марса не превосходит 1%. Другой претендент — аргон, но данными о его содержании в атмосфере планеты мы пока не располагаем. В атмосфере Марса обнаружены также значительные примеси других газов, в частности двуокиси азота.

Вопрос о содержании двуокиси азота имеет большое значение, учитывая высокую способность этого газа поглощать радиацию сине-фиолетовой области спектра. Американский ученый К. Саган показал, что уже 1—2 мм атмосферной двуокиси азота при нормальном давлении до-

статочно, чтобы обеспечить наблюдаемый оранжевый цвет Марса. По ранним оценкам, верхний предел содержания двуокиси азота в атмосфере Марса составляет 20—50 мм, но последние, более строгие данные заставляют уменьшить эту величину по крайней мере на два порядка. Таким образом, оранжевый цвет планеты объясняется не поглощением в атмосфере, а окраской самой поверхности Марса.

Чрезвычайно важно установить, есть ли в атмосфере Марса кислород и озон. Многократные попытки спектроскопического обнаружения кислорода свидетельствовали, что его содержание на три-четыре порядка меньше, чем в земной атмосфере. Первые внеатмосферные измерения отражательной способности Марса в ближнем, но недоступном для наземных наблюдений ультрафиолете не показали каких-либо следов полосы поглощения озона. Оказалось, что альbedo Марса в области спектра 2000—3500 Å изменяется плавно. Правда, самые последние спектральные измерения указывают на депрессию в области 2700 Å в полярных районах Марса, но в целом вопрос об озоне в марсианской атмосфере еще не ясен. По-видимому, содержание озона, как и кислорода, в атмосфере планеты пренебрежимо мало. Но тогда поверхность Марса ничем не защищена от

солнечного излучения в области 1700—3000 Å, а это весьма серьезное препятствие для существования на Марсе каких-либо органических молекул.

Большим достижением является спектроскопическое обнаружение в атмосфере Марса водяного пара. В апреле 1963 г. американские астрономы Х. Спинрад и Л. Каплан, используя 250-сантиметровый рефлектор обсерватории Маунт Вилсон, получили высокодисперсную спектрограмму Марса в области 8200 Å, по которой было оценено содержание водяного пара в атмосфере Марса, эквивалентное примерно 10 мк осажденной воды. В дальнейшем полное влагосодержание марсианской атмосферы было значительно уточнено, и в настоящее время имеются сведения как о суточных, так и о сезонных его вариациях.

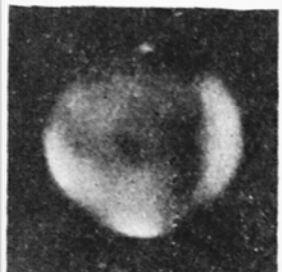
Наши знания о химическом составе атмосферы Марса существенно пополнились в результате чрезвычайно ценных наземных измерений инфракрасного спектра планеты, использования самых современных технических средств для изучения спектров планет в ближней инфракрасной области (до 1 мк) и спектрофотометрических исследований Марса с помощью космических аппаратов. Последним, несомненно, принадлежит будущее, однако и наземные измерения с полным осно-



13 X 1926 г.



4 VII 1937 г.



17 X 1941 г.



7 XI 1958 г.

*Синие облака на Марсе. Они видны
вблизи лимба диска планеты. Некото-
рые из них столь же ярки, как по-
лярная шапка. Снимки получены в
синих лучах*

ванием сохраняют за собой актуальность как единственный до сих пор способ продолжительного контроля за вариациями содержания отдельных газовых компонентов марсианской атмосферы.

Атмосферное давление и аэрозоли.

Только в середине 70-х годов стало очевидно, что атмосферное давление на Марсе очень низкое. Если ранние оценки давали 50—80 мм рт. ст., то теперь уверенно показано, что давление у поверхности Марса не превышает 6 мм рт. ст., т. е. на два с лишним порядка меньше, чем на Земле. При таком значении атмосферного давления чисто газовая атмосфера не могла бы дать эффекта дымки — явления, которое могло бы быть зарегистрировано при визуальных или фотометрических наблюдениях даже в фиолетовом участке спектра. Тем не менее такая атмосферная вуаль все же наблюдается, достоверно зарегистрированы светлые образования атмосферного происхождения. Это означает, что в разреженной газовой оболочке Марса плавают мелкие аэрозольные частицы, которые увеличивают оптическую толщину атмосферы и делают атмосферу планеты в целом ощутимой визуально и фотометрически. Природа аэрозольных частиц окончательно не установлена, однако многие данные говорят о том, что здесь мы имеем дело как с пылевыми частицами, поднятыми с марсианской поверхности в атмосферу восходящими потоками, так и с кристаллами двуокиси углерода и льда.

На Марсе различают фиолетовые облака, хорошо видимые в фиоле-

товых лучах и постепенно теряющиеся с увеличением длины волны, и желтые, которые, хотя и сравнительно редко, наблюдаются в длинноволновой области спектра, их интенсивность уменьшается с уменьшением длины волны.

Уже из того, как видны марсианские облака в различных лучах спектра, можно сделать вывод, что фиолетовые облака состоят из мелких, а желтые — из более крупных частиц. По различным оценкам, средний размер частиц в фиолетовом облаке равен 0,1 мк, а их число около 10^{11} см⁻², для желтого облака, — соответственно, 1,5 мк и около 10^7 см⁻².

По данным космических аппаратов «Маринер-6 и -7», в атмосфере Марса фиолетовая дымка почти не ощущается, но аэрозольный слой все же заметен при съемке горизонта. На высоте около 15 км над поверхностью Марса отмечается локальное увеличение яркости атмосферы, что говорит о повышенной плотности аэрозольных частиц на этой высоте.

Фиолетовые облака наблюдаются главным образом на утреннем и вечернем краях диска планеты, а их интенсивность и занимаемая площадь на освещенном диске сильно меняются в зависимости от гелиоцентрической долготы Марса. Например, в периоды великих противостояний (лето в южном полушарии Марса) «активность» фиолетовых облаков, как правило, минимальна. В то же время наблюдается повышенная активность «пылевой» составляющей. Поэтому контроль прозрачности атмосферы Марса, а также определение скорости и направ-



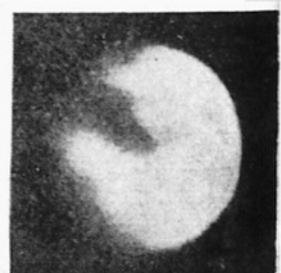
13 X 1958 г.



14 X 1958 г.

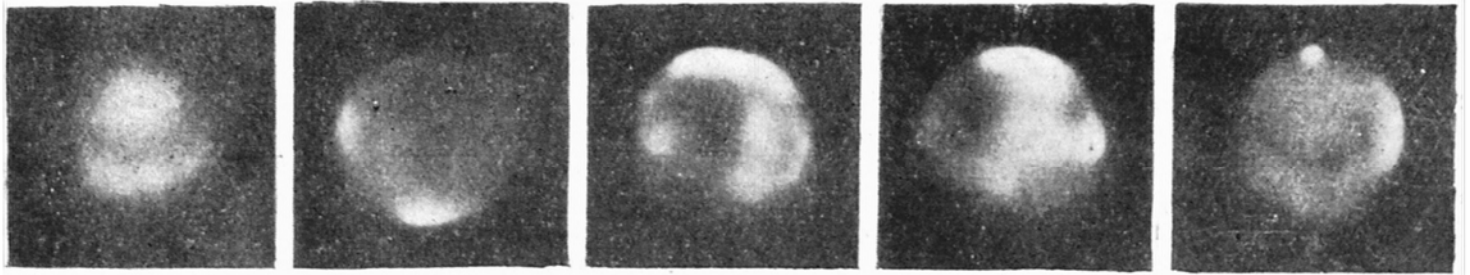


15 X 1958 г.



16 X 1958 г.

*Развитие желтого облака
на Марсе. Фотографии
сделаны в желтых лучах*



5 XI 1926г

29 XII 1928г

21 V 1937г

22 V 1937г

9 X 1941г

ления перемещения локальных желтых облаков нашли свое отражение в программе исследований Марса в период его великого противостояния в 1971 г.

Реальна ли фиолетовая дымка на Марсе? До изучения Марса с помощью космических аппаратов «Маринер-6 и -7» существование фиолетовой дымки не ставилось под сомнение: наземные фотометрические данные уверенно показывали уменьшение наблюдаемых контрастов «материки — моря» к фиолетовому концу спектра. Если согласиться с тем, что здесь действительно проявляются спектральные особенности самих материков и морей, то тогда нужно поставить под сомнение и реальность так называемых прояснений — неоднократно отмечавшегося наблюдателями резкого увеличения контрастов в фиолетовых лучах. Любопытно, что, по данным «Маринеров», контраст деталей поверхности Марса в синих и красных лучах оказался одинаковым, а наземные наблюдения в этот же период показали обычную картину: в синих лучах контрасты поверхности были на пределе обнаружения и отчетливо видны в красных лучах. Если учесть, что оптическая толщина атмосферы Марса в фиолетовых лучах, по данным наземных наблюдений, не превышает 0,1, то очень трудно объяснить фиолетовые прояснения процессами в марсианской атмосфере, не привлекая дополнительных гипотез. По-видимому, ключ к «расшифровке» наблюдаемых фотометрических особенностей Марса — ход контрастов по спектру и их временные вариации — нужно искать на поверхности, а не в атмосфере планеты. Тем не менее эта проблема требует сбора

Фотографии Марса, полученные через синий фильтр в моменты синего прояснения. Обычно в синей области спектра темные детали на диске планеты почти неразличимы. Лишь во время прояснений контраст в синих лучах становится заметным

новых наблюдательных фактов. В частности, астрономам предстоит со всей тщательностью заново проанализировать полученные в текущем году фотометрические данные о контрастах на Марсе.

Поверхность. После того как космический корабль «Маринер-4» в 1965 г. передал на Землю снимки поверхности Марса, полученные с близких расстояний, стало очевидным, что поверхность этой планеты, как и поверхность Луны, покрыта многочисленными кратерами.

Радиолокационные исследования, наземные измерения интенсивности инфракрасных полос углекислого газа, а также измерения с помощью инфракрасного спектрометра, установленного на космических аппаратах «Маринер-6 и -7», показали, что перепад высот на Марсе, относящийся к участкам поверхности поперечником в десятки и сотни километров, составляет 10 км и более. Особенно интересна в этом смысле круглая область Hellas (Эллада), которая имеет диаметр около 1600 км. Оказалось, что дно этой гигантской чаши примерно на 3 км ниже окружающей местности.

Область Hellas расположена примерно на 40-й параллели южного полушария и относится к числу наиболее светлых образований марсианской поверхности. Эта пустынная впадина, лишенная кратеров, особен-

но привлекает к себе внимание астрономов. Не исключено, что дальнейшие фотометрические и поляризационные исследования выявят отличие микрорельефа Hellas от окружающих областей.

Теперь, по-видимому, не остается сомнений, что перепад высот на Марсе достигает, как и на Земле, 10 км и более. Точные топографические карты Марса с высоким разрешением — дело будущих космических экспериментов, но соответствующие наземные наблюдения также очень важны. Особого внимания заслуживают спектрофотометрические наблюдения в инфракрасной области спектра с целью определения по полосам углекислого газа перепада высот в южном полушарии Марса, где расположена цепь марсианских морей. Эти наблюдения возможны лишь на самых крупных инструментах.

Остановимся на вопросах, связанных с изучением природы марсианской поверхности и определением некоторых свойств вещества поверхностного слоя. Фотоэлектрические наблюдения, выполненные в 1967 г. сотрудниками Главной астрономической обсерватории АН УССР, показали, что блеск Марса, особенно в коротковолновой области спектра, испытывает резкий подъем к нулевой фазе. Оказывается, поверхность Марса по микрорельефу ненамного

отличается от поверхности Луны, но все же менее шероховата.

Спектрофотометрические и поляризационные измерения свидетельствуют в пользу лимонитовой природы поверхностного слоя Марса. Главная астрономическая обсерватория АН УССР провела фотометрические измерения искусственной планеты с лимонитовым покрытием и размером деталей микрорельефа около 150 мк. Эти измерения показали, что поверхность искусственной планеты по различным фотометрическим характеристикам неплохо имитирует поверхность Марса.

Однако следует учитывать, что оптические данные относятся лишь к самому верхнему слою планеты, поэтому на основе фотометрических и поляризационных исследований можно говорить только о том, что вещество поверхностного слоя Марса, по-видимому, пигментировано лимонитом. Сведений же о природе всего поверхностного слоя Марса такие наблюдения дать не могут. На помощь приходят радиоастрономические наблюдения, которые позволя-

ют вывести заключение о физических свойствах вещества в некоторой толще поверхностного слоя планеты. Согласно радиоастрономическим исследованиям, выполненным членом-корреспондентом АН СССР В. С. Троицким с сотрудниками, лимонит может лишь окрашивать фрагменты силикатных пород, входящих в состав поверхностного слоя Марса. Плотность верхнего покрова планеты, в соответствии с этими измерениями, составляет 0,8—1,5 г/см³, что дает значение пористости марсианского грунта 50—60%. Эти данные хорошо согласуются с результатами фотометрических исследований микрорельефа марсианской поверхности.

Большую ценность представляют результаты радиометрических наблюдений Марса, проведенных космическими аппаратами «Маринер-6 и -7». Эти наблюдения показали, что температура поверхности планеты, снижаясь от экватора к полюсам, испытывает резкий скачок на границе полярных шапок и достигает в полярных областях значений 140—150° К.

При низком атмосферном давлении (около 4 мм рт. ст.) и измеренных значениях температуры (менее 150° К) углекислый газ должен замерзнуть. Таким образом, получены веские аргументы в пользу того, что полярные шапки Марса состоят из замерзшей углекислоты, а не из обычного снега. Есть также указания, что толщина замерзшей углекислоты в полярных областях достигает нескольких метров. Но вблизи марсианских полюсов должно вымораживаться и значительное количество водяного пара, что может привести к образованию мощных ледников.

Таким образом, выполненные до настоящего времени разносторонние исследования дали ответ на многие вопросы, касающиеся физических условий на Марсе. В то же время с еще большей остротой перед учеными стали новые задачи, решение которых требует новых сложных экспериментов. Многие из этих задач будут успешно решены в ближайшее время, причем первостепенная роль будет принадлежать космическим аппаратам.



КАКОЙ БЫЛА ПЛОТНОСТЬ АТМОСФЕРЫ МАРСА

Группа французских ученых во главе с известным астрономом О. Дольфюсом изучала марсианские кратеры по фотографиям, переданным космическими зондами «Маринер-6 и -7». Результаты этих исследований опубликованы в «Докладах Академии наук Франции».

На каждой фотографии подсчитывалось, сколько кратеров определенного диаметра находится на площади 1000 км². Была построена кривая распределения кратеров по диаметрам, которая хорошо согласуется с данными, полученными космическим зондом «Маринер-4».

По внешнему виду марсианские кратеры можно разделить на три группы: кратеры диаметром больше 30 км, диаметром от 30 до 5 км и диаметром менее 5 км. Крупные кратеры в основном лишены выступов и имеют плоское дно. По-видимому, они подвергались интенсив-

ной эрозии. Маленькие кратеры, напротив, обладают четко выраженными краями и дном в виде полусферы. Они, вероятно, относятся к более молодым образованиям.

Чтобы объяснить разнообразие внешнего вида и распределение кратеров по диаметрам, были предложены три гипотезы.

Одна из них пыталась интерпретировать полученные данные исходя из распределения масс и скоростей астероидов, при столкновении с которыми образовались марсианские кратеры, а также из хронологической последовательности их падения на планету. Однако наблюдаемые факты не согласуются с этой гипотезой.

Другую гипотезу, основанную на том, что скорость процессов эрозии марсианского рельефа всегда была постоянной, также пришлось отбросить. Трудно объяснить, каким об-

разом слабая марсианская атмосфера (только 6 мбар у поверхности) могла вызвать эрозионные процессы, необходимые для полного исчезновения старых кратеров небольшого диаметра (ведь на фотографиях кратеры диаметром до 5 км не разрушены, а следовательно, сравнительно молоды) и очень сильного разрушения кратеров диаметром свыше 30 км. Нельзя связывать исчезновение кратеров с действием марсианских ветров, засыпающих детали рельефа пылью.

Третья гипотеза предполагает существование векового изменения процессов эрозии. В далеком прошлом атмосфера Марса была намного плотнее, эрозия активно разрушала тогда крупные образования и совершенно уничтожила мелкие. В дальнейшем потеря первоначальной атмосферы должна была привести к значительному снижению интенсивности процессов эрозии. В результате новых столкновений планеты с небесными телами возникали кратеры, которые практически не испытывали изменений.

«Comptes Rendus. Académie des Sciences, Paris», 270 (9 février), Série B, 1970.