

II

| Б. В. ШАРОНОВ. МАРС |

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

В. В. ШАРОНОВ

МАРС



ИЗДАТЕЛЬСТВО
АКАДЕМИИ НАУК СССР



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

Профессор

В. В. ШАРОНОВ

МАРС



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1947 ЛЕНИНГРАД

Под общей редакцией Комиссии АН СССР
по изданию научно-популярной литературы
Председатель Комиссии Президент АН СССР
академик *С. И. ВАВИЛОВ*
Зам. председателя член-корреспондент АН СССР
П. Ф. ЮДИН

Глава I

ПРОБЛЕМА ЖИЗНИ НА ДРУГИХ МИРАХ

Жизнь на Земле и вне Земли

Украшением Земли, несомненно, является живая природа — та фауна и флора, которая населяет всю нашу планету от холодных просторов полярных стран до жаркого экваториального пояса и от глубин океанов до вершин самых высоких гор. Организмы, составляющие эту „биосферу“, исключительно разнообразны по своему строению и образу жизни и в зависимости от тех условий, в которых им приходится существовать, у них развиваются то те, то другие органы тела.

Эта присущая живым существам способность приспособляться к самой разнообразной обстановке позволяет жизни вабираться решительно всюду. Мы знаем, что даже в таких, казалось бы мало пригодных для обитания, местах, как подземные пещеры и озера, вода горячих источников или вечные снега глетчеров, и то можно найти те или иные проявления животного или растительного царства. В былое время это соответствие между строением тела живого существа и теми условиями, в которых этому существу приходится проводить свою жизнь, вызывало изумление, казалось чудом или следствием сверхъестественных причин. Со времени Дарвина мы знаем, что ничего чудесного тут нет и что то совершенство организмов, населяющих Землю, которое кажется проявлением заботы какого-то высшего промысла, в действительности является результатом естественного отбора, безжалостно истребляющего все менее совершенное и недостаточно приспособленное и этим вырабатывающего в результате очень длительной эволюции все более и более совершенные виды животных и растений.

Изучая множество живых существ, населяющих Землю, и убеждаясь в крайнем разнообразии тех условий, в которых они живут, мы невольно задаем себе вопрос: а нет ли подобных же организмов и вне Земли, не населяют ли существа, подобные известным нам, другие планеты или иные тела безграничного мироздания? Иными словами, мы ставим перед собой большой и важный вопрос о множественности населенных миров.

Во времена классической древности и в более позднюю пору средневековья такая проблема возникнуть не могла, потому что тогда считали, что Земля является незыблемым центром мира, вокруг которого обращаются все небесные светила, имеющие своим назначением освещать и обслуживать эту Землю и живущее на ней человечество. При таком взгляде на вещи Земля считалась единственной во всем мироздании и потому только на ней и могли произрастать растения и жить животные.

Прошли века и взгляды начали меняться. Гений Коперника разрушил это старое, в самой основе своей ложное мировоззрение и развернул перед изумленными современниками совершенно новую картину вселенной. В ней основой мира было объявлено Солнце. Могучее и раскаленное оно покоилось в центре вселенной, окруженное семьей планет, каждая из которых неслась в пустоте мирового пространства, следуя по своему кругу, по своей орбите. В числе этих планет была и наша Земля. Из незыблемой основы мира она превратилась в этой системе в одну из планет, в одно из многих и притом второстепенных тел мироздания. Свой путь вокруг Солнца она совершает за один год, чем объясняется смена сезонов, в то время как вращение Земли вокруг оси объясняет смену дня и ночи, а также кажущееся вращение небесного свода вокруг Полярной звезды.

В ту эпоху, когда жил Коперник, такие идеи казались необыкновенным новшеством. Мысль о том, что мы живем на планете, которая быстро движется вперед, вращаясь в то же время вокруг своей оси, была настолько новой, самый факт этот казался настолько невероятным, что многие упорно не хотели с ним согласиться. К тому же новая система мира, предложенная Коперником, была делом не только астрономии. Она затрагивала глубокие вопросы естествознания вообще и грозила разрушить самые основы того схоластического понимания мира, которое было обязательным для всех в мрачную пору средневековья. Как пишет Энгельс, „чем в религи-

озной области было сожжение Лютером папской буллы, тем в естествознании было великое творение Коперника, в котором он, хотя и робко, после 36-летних колебаний и, так сказать, на смертном одре — бросил церковному суеверию вызов. С этого времени исследование природы освобождается по существу от религии...“ (Диалектика природы, изд. III, 1930, стр. 26).

Общеизвестно, какая острая борьба началась вокруг теории Коперника. Одним из самых ярких эпизодов этой борьбы является процесс Галилея, которого суд инквизиции заставил публично отречься от учения о движении Земли. И если задать себе вопрос, в чем же заключалась революционная сущность учения Коперника, учения, которое, по мнению его бессмертного творца, было лишь техническим средством удобно представлять и вычислять видимое движение планет по небесному своду, то ответ на такой вопрос должен быть следующий. Дело в том, что теория Коперника лишила Землю, а вместе с ней и живущее на ней человечество исключительного и центрального положения во вселенной. Низведя Землю на роль одной из многих планет, она этим открывала путь к дальнейшему развитию идей о громадном мироздании с его великим множеством всевозможных космических тел, обитаемых подобно нашей Земле. Вот именно это, а не формальное несоответствие идей Коперника тем или иным текстам „священного писания“ или трудам Аристотеля и других древних мыслителей, и было действительной причиной тех гонений и преследований, которым подвергались последователи гелиоцентрической системы мира в XVII в.

Идеи Джордано Бруно

Труд Коперника представлял собою гигантский переворот в мировоззрении человечества. Но все же он этот переворот до конца не довел. Потому что изображенный Коперником мир с неподвижным Солнцем в центре попрежнему был окружен небесной сферой, охватывавшей и замыкавшей этот мир со всех сторон. Эта сфера, как и в древних системах мира, несла на себе все „неподвижные“ звезды, которые, таким образом, все должны были находиться на одинаковом расстоянии если не от Земли, то по крайней мере от Солнца. Таким образом, мир Коперника, подобно миру древних мыслителей, был замкнутым, ограниченным, конечным и полностью обзрваемым для человека.

Продолжателем и завершителем революции в астрономии, начатой Коперником, был другой представитель тех, как выражается Энгельс, „гигантов учености, духа и характера“, которыми так славна была та эпоха. Это был Джордано Бруно.

Этот великий бунтарь, во всем старом сомневавшийся и все старое отзергавший, написал ряд выдающихся трудов и по астрономии. С интуицией, совершенно непостижимой по своей гениальности, он раскрыл в них такую картину, которую его современники не могли даже и оценить.

Бруно был первым, кто высказал изумительную по своей смелости мысль, что звезды — это не что иное как далекие солнца, что каждая из этих маленьких точек, скромно мерцающих на нашем ночном небе, в действительности представляет собою громадное и могучее небесное тело, раскаленную массу материи, по размерам и весу не уступающую нашему дневному светилу. И только огромное расстояние, отделяющее нас от этих звезд, делает их для нас, обитателей Земли, такими, какими они нам кажутся — тусклыми и маленькими точками.

Таким образом, гелиоцентризм как система мира (а не как схема одной только планетной системы) был опровергнут через полвека после его зарождения. Солнце оказывалось не одно, каждая звезда была тоже солнцем и великое множество этих звезд-солнц повсюду украшало собою безбрежные дали мирового пространства. А оно, это пространство, ничем не ограниченное, простиралось во все стороны без конца и края, нигде не достигая никакого предела. Таким образом, мир, описанный Бруно, был бесконечен, в чем и заключалось его основное и принципиальное отличие от древних космологических систем.

Вокруг нашего Солнца, как доказал уже Коперник, движутся планеты. И вот Бруно смело высказывает еще одну передовую мысль: вокруг далеких звезд-солнц, как и вокруг нашего дневного светила, тоже кружатся небольшие темные тела, которые согреваются и освещаются каждая своей звездой совершенно так же, как наша Земля — Солнцем.

И, наконец, как последний, завершающий этап в этой цепи великих открытий, Бруно дает еще одну поразительную идею. Он утверждает, что как на Земле повсюду царствует жизнь, так и там, на далеких, невидимых нам планетах чужих систем, связанных с иными звездами-солнцами, тоже живут, движутся и размножаются какие-то живые существа, а может быть даже и люди.

Само собой разумеется, что в ту пору, когда жил и действовал Джордано Бруно, проповедывать такие смелые и передовые идеи безнаказанно было нельзя. Спасаясь от преследования инквизиции, Бруно бежит из Италии сначала во Францию, потом — в Англию. Много лет он скитается по странам и городам Европы, повсюду возбуждая против себя вражду и гонение властей. Ненависть к нему со стороны главарей инквизиции настолько велика, идеи его кажутся настолько опасными, что и на чужбине его не хотят оставить в покое. Бруно получает льстивое письмо от провокатора — венецианца Мочениго, который обманом заманивает его в Италию и там предает в руки инквизиции. Восемь лет провел Бруно в тюрьме, восемь лет длился процесс великого мыслителя, на протяжении которых ему пришлось испытать и знаменитые „свинцовые“ камеры венецианских тюрем, и страшное искусство римских палачей. Но никакие пытки, никакие истязания не смогли побороть могучего энтузиазма этого человека. Несмотря ни на что, он остается верен своим идеям, которые так страстно проповедывал во многих странах. И вот 17 февраля 1600 года наступила жуткая развязка: в этот день в Риме, на площади Цветов Джордано Бруно был всенародно сожжен на костре.

Все последующее развитие астрономии было сплошным триумфом идей этого великого мыслителя. Уже 87 лет после его мученической кончины великий Ньютон смог привести ряд физически обоснованных соображений, подтверждающих, что звезды и Солнце действительно светила одного и того же ранга. А когда в 1838 г. астроном Бессель в Германии, а за ним Гендерсон в Англии и Струве в России получили достоверные расстояния до некоторых звезд, это предположение превратилось в строго установленный, совершенно бесспорный факт.

Теперь оно проверено колоссальным количеством наблюдений, измерений и расчетов.

Труднее было найти доказательства для второго положения Бруно, а именно установить наличие планет около звезд. С точки зрения чистого умозаключения наша солнечная система, конечно, не может быть единственной. Напротив, в бесконечных просторах мироздания систем такого типа должно быть бесчисленное множество. Но подтвердить это наблюдением долго не удавалось, поскольку небесные тела не только масштаба Земли, но и такие, как Юпитер, в современные телескопы не могут быть замечены даже на расстоянии самых

близких звезд.¹ Поэтому до недавнего времени можно было слышать мнения, будто Солнечная система могла возникнуть в результате совершенно исключительного и неповторимого сочетания случайных обстоятельств и потому, по крайней мере в нашей галактике, является единственной. И лишь последние работы шведского астронома Хольмберга, который сумел из анализа движения некоторых звезд установить подле них наличие спутников, приближающихся по массе к Юпитеру, явились первым бесспорным экспериментальным доказательством того, что тела планетного типа весьма распространены в мире.

Значительно труднее получить экспериментальные доказательства для заключительного вывода Бруно о наличии на планетах жизни. Ведь тела живых организмов настолько малы по размерам, что рассмотреть их при помощи телескопа даже на ближайших к нам планетах нет никакой надежды.

С теоретической точки зрения вопрос этот представляется совершенно бесспорным. Жизнь — это определенный процесс в природе и он, конечно, должен возникать повсюду, где только условия для этого складываются достаточно благоприятно. И поскольку планет во вселенной бесконечно много, то бесчисленно большим должно быть и количество обитаемых миров.

Однако такое абстрактное решение вопроса не может удовлетворить нас до конца. Нам мало умозаключать, что где-то на других планетах жизнь вообще должна существовать. Нам хотелось бы конкретно установить, на каких именно небесных телах процветает она и в каких условиях ей приходится протекать. Но если ставить вопрос так, то придется покинуть далекие звездные миры, отстоящие от нас на столь головокружительных расстояниях, что и самые-то планеты нам не видны, и обратиться к нашему миру, называемому солнечной системой. На каких телах, из числа входящих сюда планет и их спутников, жизнь есть и на каких ее нет?

Условия, при которых возможна жизнь

Если представлять себе жизнь сколько-нибудь похожей на ту, которую мы видим вокруг себя на Земле, то для

¹ Расчет показывает, что на расстоянии ближайшей звезды — α Центавра, удаленной от Солнца на 4.3 световых года, Юпитер казался бы звездой 22 величины, что лежит за пределом проникающей силы современных телескопов. К тому же он находился бы на небе рядом с яркой звездой — Солнцем, которая своим светом подавляла бы столь ничтожного спутника и этим намного затрудняла бы наблюдение.

возможности ее развития необходимо наличие, по меньшей мере, следующих трех условий.

Во-первых, нужна атмосфера, т. е. достаточно плотная газовая оболочка и притом непременно содержащая кислород, потому что основной процесс жизненных явлений — это газовый обмен, который проявляется, например, в виде дыхания.

Во-вторых, необходима вода. Тела всех животных и растений содержат жидкие соки, в основном состоящие из водных растворов или эмульсий. У себя на Земле мы видим, что степень населенности различных территорий зависит прежде всего от наличия влаги. В пустынях, где влаги мало, фауна и флора оказываются крайне бедными.

В-третьих, необходима подходящая температура. Те органические соединения, из которых состоит тело животных и растений, разлагаются и обугливаются при высокой температуре. Повседневный опыт показывает нам, что уже температура в 100° , которую имеет кипящая вода, достаточна, для того чтобы убить почти все живое. Достаточно прокипятить воду, чтобы уничтожить в ней все микроорганизмы, и лишь немногие зародыши бактерий могут выдерживать температуру до 140° . С другой стороны, сильный мороз также приостанавливает жизнедеятельность всех растений и большей части животных. Едва ли можно представить себе жизнь в таком месте, где температура никогда не поднимается выше 0° . Таким образом, жизнь может протекать лишь в весьма ограниченных температурных условиях.

Необходимо заметить, что далеко не все авторы, разбиравшие вопрос об обитаемости других миров, соглашались ограничить область распространения жизни такими пределами. Обычно указывают, что на других мирах могла развиваться жизнь совсем другого рода, совершенно отличная от той, которую мы привыкли видеть вокруг себя на Земле. Почему бы, например, не допустить, что жизненные процессы могут развиваться на совершенно другой химической основе? Так, известный французский популяризатор, астроном Фламарион допускает существование организмов, в которых роль непрочных углеродных соединений играют какие-нибудь огнестойкие вещества, например сложные соединения кремния, называемые силикатами. В жилах подобного существа вместо крови циркулировала бы огненная жидкость, которую мы, обитатели Земли, со своей точки зрения назвали бы расплавленным камнем, и потому оно, это существо, будто-бы могло с успехом

жить и размножаться в такой раскаленной среде, где всякий земной организм немедленно сгорел бы.

С другой стороны, на наших глазах происходит совершенно изумительное развитие культуры, необычайный рост техники, который с каждым годом увеличивает власть человека над природой. Трудно сказать, до каких пределов может идти этот процесс и существует ли для него вообще какой-бы то ни было предел. Во всяком случае, можно себе вообразить такую степень прогресса техники, при которой жизнь станет возможной на небесном теле, лишенном и воздуха, и воды, и солнечного тепла. Протекая в искусственно созданной среде, она могла бы идти за счет использования совершенно неосвоенных еще источников энергии, например внутриатомной. По прошествии огромных промежутков времени, измеряемых миллиардами и миллиардами лет условия на поверхности Земли станут не такими, как сейчас. Есть веские основания предполагать, что в эту отдаленную от нас эпоху земной шар уже не будет иметь ни океанов, ни атмосферы, а медленно угасающее Солнце будет крайне скупо освещать и греть нашу высохшую планету. Но можем ли мы с уверенностью утверждать, что жизнь на Земле тогда прекратится? Нельзя ли, напротив, предположить, что наши весьма отдаленные потомки благодаря своей изумительной сверхкультуре смогут вполне удобно устроиться в обстановке, которая нам сейчас кажется совершенно непригодной для обитания?

По поводу предположений такого рода мы должны сказать, однако, следующее. Несомненно, что в глубинах мироздания, да и на нашей собственной планете таится несчетное количество вещей и явлений, о которых мы сейчас не имеем никакого представления. Победоносное развитие науки непрерывно раскрывает перед нами все новые и новые области, и так будет всегда, пока существует человечество и его культура. Поэтому у нас нет никаких оснований отвергать самые удивительные предположения, какие только способно выдвинуть воображение современных мыслителей. Однако все же предположения об организмах, совершенно отличных от тех, которые мы сейчас знаем, являются лишь научной спекуляцией, областью фантазии, пусть остроумной и обоснованной, но все же очень далекой от точного конкретного знания. А мы ведь условились говорить здесь о достоверных и проверенных фактах. Оставаясь на почве таких фактов, мы сейчас можем заниматься исследованием возможности или невозможности существования только такой жизни, о которой мы можем

судить на основании наблюдений и опытов. Очевидно, что это будет жизнь лишь в тех формах, которые живут на Земле в настоящее время или которые мы можем изучать хотя бы по их ископаемым остаткам. Вот если говорить только о жизни такого типа, то поставленные нами условия — воздух, вода и подходящая температура — представляются безусловно необходимыми.

Поиски жизни на других планетах

Теперь мы сразу можем сказать, где не может быть жизни, понимаемой так, как мы условились. Во-первых, на Солнце и вообще на звездах, так как там температура даже на поверхности измеряется тысячами градусов. Во-вторых, на кометах, метеоритах, малых планетах и спутниках, потому что мировые тела небольшой массы не могут удержать на себе ни атмосферу, ни воду.¹ Например, бледное светило ночей — Луна — несомненно необитаема, потому что на нем нет ни воздуха, ни воды.

Таким образом, ареной для развития жизни могут быть только большие планеты. Да и то далеко не все. Например, планета, ближайшая к Солнцу, — Меркурий, подобно Луне, лишена воды и воздуха, а потому и необитаема. То же можно сказать и про самую далекую планету — Плутон; повидимому, она тоже слишком мала, чтобы там были условия, допускающие жизнь. Гигантские планеты солнечной системы — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, напротив, имеют мощные, заполненные облаками или туманом газовые оболочки. Однако химический состав этих газов безусловно не подходит для развития жизни, похожей на земную. Спектральный анализ обнаруживает там такие соединения, как метан или болотный газ CH_4 и аммиак NH_3 . К тому же эти планеты находятся так далеко от Солнца, что там должно быть царство вечного мороза. Измерения полностью подтверждают этот теоретический вывод: температура, правда, относящаяся лишь к некоторому облачному покрову, а не к твердой поверхности планеты, убывает с удалением планеты от Солнца, составляя в среднем около -100° для Юпитера и -200° для Нептуна.

Одно время большие надежды возлагались на Венеру, которую рассматривали как место развития цветущей жизни.

¹ Правда, на спутнике Сатурна — Титане в 1945 г. обнаружены признаки атмосферы.

Близость этой планеты к Солнцу и связанные с нею крайне благоприятные условия освещения и согревания, наличие густой, заполненной облаками и потому, казалось бы, влажной атмосферы — все это позволяло предполагать на Венере богатую растительность и развитый животный мир, быть может сходные с тем, что было на Земле в каменноугольную эпоху. Однако новейшие исследования не подтверждают таких оптимистических умозаключений. Тщательные спектральные исследования атмосферы Венеры не обнаружили ни кислорода, ни паров воды. Зато было открыто наличие громадного количества углекислого газа. Но если нет воды, то из чего же состоит белый облачный покров, окутывающий Венеру? Сейчас об этом можно строить только догадки и предположения. Таким образом, природа Венеры в настоящее время представляется еще более загадочной, чем это казалось раньше, и потому сказать что-нибудь определенное о наличии или отсутствии на ней жизни сейчас невозможно.

Проблема жизни на Марсе

Таким образом, для практического исследования условий жизни остается, помимо, Земли только одна планета. Это — Марс.

Будучи соседом Земли со стороны, противоположной Солнцу, планета эта движется в такой зоне солнечной системы, где лучи светила еще достаточно интенсивны, чтобы поддерживать тепло, необходимое для жизни, по крайней мере в некоторые сезоны. Ряд явлений, наблюдаемых в телескоп, доказывают, что Марс имеет атмосферу, правда, менее плотную, чем наша Земля. На его поверхности под влиянием солнечного тепла происходят сезонные изменения, прекрасно видимые нами с Земли. Так, полярные зоны планеты зимой покрываются веществом белого цвета, которое с наступлением весеннего тепла исчезает, как бы тает. Естественно предположить, что вещество — это снег, который и у нас на Земле появляется и пропадает ежегодно. Но если на Марсе есть снег и снег этот тает, то, значит, там есть вода, а температура, как и у нас, колеблется в обе стороны около нуля. Вот они, те условия, которые мы считаем необходимыми для существования жизни!

Далее, на Марсе мы видим области различной окраски. Одни из них всегда имеют один и тот же красновато-желтый оттенок и это постоянство наводит на мысль о чем-то без-

жизненном и мертвом. Повидимому, эти оранжевые пространства представляют собой однообразную пустыню, которая сохраняет все тот же колорит и в теплые летние дни, и во время зимних морозов. Зато другие — темные пространства резко меняются со сменой сезонов: серые или коричневатые зимой, они с приближением лета темнеют, как бы наливаясь каким-то соком и приобретают отчетливо различаемый в телескоп зеленоватый оттенок. С наступлением осени этот цвет опять исчезает, уступая место серым и шоколадным тонам. В этой замечательной смене окраски легко усмотреть весенний расцвет и осеннее увядание растительности, такой же зеленой, как трава наших лугов или листва деревьев. Сейчас большинство астрономов разделяет именно такой взгляд на природу темных пространств на Марсе и на причины происходящих в них перемен. Но растение — это ведь живой организм. И если верно, что буйная зелень устилает темные области на Марсе, то это уже доказывает наличие могучей жизни на этой планете.

Однако этим дело не кончается. На лже планеты, помимо неправильных пятен разного цвета и разных очертаний, видны совершенно особые, специфические именно для Марса детали. Это — целая сеть линий, тонких, правильных и прямых. Выражаясь более точно, следует сказать, что они идут по дугам больших кругов и на всем протяжении сохраняют одинаковую ширину. Вид этих линий настолько геометричен, что их нельзя сравнить ни с какими образованиями на Земле. Это не реки, не трещины, не горы. Только искусственные сооружения, создаваемые разумной творческой деятельностью человека, могут быть столь же правильными. Этим линиям на Марсе дали название *каналы*.

Трудно найти в астрономии другой вопрос, вокруг которого за последние пятьдесят лет велись бы такие ожесточенные и такие бесплодные споры, как вокруг этих каналов. Самые крайние мнения на этот счет будут такие. Одни предполагают, что вся эта геометрически правильная сеть линий всего лишь обман зрения, иллюзия, вызванная несовершенством наших глаз и телескопов, что на самом деле ничего подобного не существует. Представители противоположной точки зрения считают, что ровные и прямые линии на Марсе не только существуют в действительности, но что они на самом деле представляют собою искусственно устроенные каналы, точнее — какие-то грандиозные гидротехнические сооружения. Они якобы построены на этой изобилующей пустынями планете живу-

щими на ней разумными и культурными обитателями и служат им для целей ирригации и орошения, разнося живительную влагу по поверхности бедных водой пустынь.

Идея разумной жизни на Марсе была подхвачена популяризаторами и писателями-беллетристами. Множество увлекательных художественных произведений было посвящено воображаемой деятельности этих культурных „марсиан“. Быть может, сама проблема получила благодаря этому более широкую известность, чем это было бы желательно для столь незрелого в научном отношении вопроса. Но, с другой стороны, ничто так не способствует научной разработке какой-нибудь проблемы, как интерес к ней широких масс населения.

В этой книге мы ставим своей задачей подвести итоги нашим сведениям о планете Марс и, в особенности, тем результатам, которые были получены наукой за последнее время. В этом деле велика роль отечественных исследователей, итоги работ которых мы и постараемся сообщить читателю в популярной форме.

Глава II

МАРС КАК ПЛАНЕТА

Красное светило — Марс

Видели ли Вы когда-нибудь Марс?

Если задать этот вопрос современному человеку, то он в ответ только пожмет плечами. И это вполне обоснованно. Конечно, каждому не раз случалось в темную и теплую летнюю ночь пытливо смотреть на усеянное множеством светлых точек безоблачное небо. Всякому приходилось любоваться, как в морозную ночь зимой эти далекие огоньки сверкают и переливаются разными цветами. Но случалось ли рассеянному взору зрителя остановиться именно на том светиле, которое носит знаменитое имя „Марс“, — кто же это знает? Может быть и случалось, а может быть и нет. Много звезд сияет на небе, и где же тому, кто специально не занимается астрономией, знать, как какая из них называется.

Правда, у светила Марс есть ряд особенностей, которые помогают отыскивать его на ночном небе.

Во-первых, Марс имеет вид звезды очень большой яркости. Астрономы делят все видимые невооруженным глазом звезды по их видимому блеску на шесть ступеней или, как принято выражаться в научных сочинениях по этому вопросу, на шесть *величин*. Самые яркие звезды неба относятся к первой величине — это будут те, что сразу бросаются в глаза, резко выделяются своим особенно сильным светом. Менее яркие звезды относятся ко второй величине. Всем знакомые звезды Большой Медведицы, а также знаменитая Полярная звезда являются представителями этой степени звездной яркости. Еще менее яркие звезды относят к третьей величине и т. д. Наконец, те наиболее слабые точки, которые зрение подобно крохотным

пылинкам едва различает в самые темные ночи, составляют шестую величину яркости.

Так вот, свет Марса, даже при самых неблагоприятных условиях, никогда не бывает слабее первой величины. А в тех случаях, когда Марс подходит к Земле особенно близко и потому дает особенно много света, он намного превосходит своим блеском все остальные звезды неба. В это время он по разряду яркости занимает среди светил неба четвертое место. Первое место в этом ряду, разумеется, принадлежит Солнцу, второе — Луне, третье — красавице неба, утренней и вечерней звезде — Венере.

Во-вторых, в отличие от беспокойного, мигающего света звезд, сияние Марса кажется ровным и спокойным. Это происходит оттого, что Марс вовсе не звезда, а планета. Планеты же вообще отличаются от звезд своим спокойным, лишенным всплеск и переливов светом, они не мерцают.

В-третьих, Марс имеет характерную огненно-красную окраску. Благодаря этому его трудно спутать с другими яркими планетами — Венерой и Юпитером, которые светят белым или желтоватым светом. Тем менее он похож и на самую яркую из настоящих звезд северного неба — Сириус, который сочетает белый свет с сильным мерцанием, сопровождаемым проблесками других оттенков — красных, желтых, синих, зеленых.

Красная окраска Марса обращала на себя внимание людей уже во времена седой старины. Самое название эта планета получила именно за свой цвет. Как известно, Марс в мифологии древних римлян (Арей у греков) был богом войны. Поэтому огненный цвет планеты, наводящий на мысль о крови и пламени пожаров, побудил посвятить это светило именно тому божеству, которое в мифологии считалось „специалистом“ по военным делам.

Видимое движение Марса по небесному своду

Итак, большая яркость, спокойный, свободный от мерцания свет и огненно-красная окраска отличают Марс от других светил неба.

Но всего этого, конечно, недостаточно, чтобы уверенно отыскать и распознать его на небе. Надо быть знакомым с очертаниями созвездий, необходимо уметь пользоваться звездной картой, чтобы найти Марс среди обильной россыпи небесных огоньков.

Между тем мы знаем, что Марс был замечен людьми еще в доисторические времена. Первобытные пастушеские народы, которые вели кочевой образ жизни в солнечных степях Азии, хорошо знали о его существовании и уверенно отличали его от звезд. А древние халдейские и вавилонские мудрецы уже вели над ним сознательные научные наблюдения (что, впрочем, не мешало им связывать с этим особенным светилом самые странные суеверия).

Все это было возможно потому, что, помимо особенностей яркости и цвета, Марс обладает еще одним гораздо более резким и заметным отличием. Подобно всякой другой планете, он не занимает постоянного места среди неизменных узоров созвездий, но медленно и плавно перемещается среди звезд.

Если сегодня заметить, как расположен Марс по отношению к окружающим его звездам и потом повторить наблюдение, скажем, через неделю, то сразу станет заметно, что Марс передвинулся, отошел от одних звезд и приблизился к другим. Через 1—2 месяца он перейдет уже в соседнее созвездие, а через год окажется совсем в другой части неба.

Конечно, такое движение по фону звезд и созвездий (в астрономии называемое собственным движением) свойственно всякой планете. Можно сказать, что в этом и состоит главное внешнее отличие *блуждающих светил* — планет от остальных звезд. Именно по этому признаку древние наблюдатели неба уверенно разделили небесные огоньки на два совершенно различных типа: на вечно передвигающиеся по фону созвездий планеты и на неизменно закрепленные друг относительно друга *неподвижные звезды*.

Однако для Марса это непрерывное движение особенно заметно. Дело в том, что среди прочих планет, известных античной науке, Юпитер и Сатурн передвигаются гораздо медленнее, чем Марс, а быстро передвигающиеся Меркурий и Венера видны только на светлом фоне зари и их не так удобно сопоставлять со звездами. Поэтому заметить собственное движение легче всего было именно для Марса и понятно, что человек научился распознавать эту планету одной из первых.

Уже древние наблюдатели поставили перед собой задачу выяснить характер и законы движения планет, в том числе и Марса. В течение многих веков продолжалось прилежное собирание материала в этой области. Положение Марса и других планет старательно регистрировалось изо дня в день и из года в год и это давало возможность вычертить и исследовать

форму их видимых путей. К огорчению древних исследователей оказалось, что путь этот получается очень сложным и запутанным, каким-то как бы неправильным и очень трудным для объяснения.

Если Солнце все время движется по небу в одну и ту же сторону, каждый год проходя один и тот же путь, называемый *эклиптикой*, если Луна всегда движется только в ту же сторону, что и Солнце, идет всегда тем же движением, называемым в астрономии *прямым*, то планеты обнаруживают очень

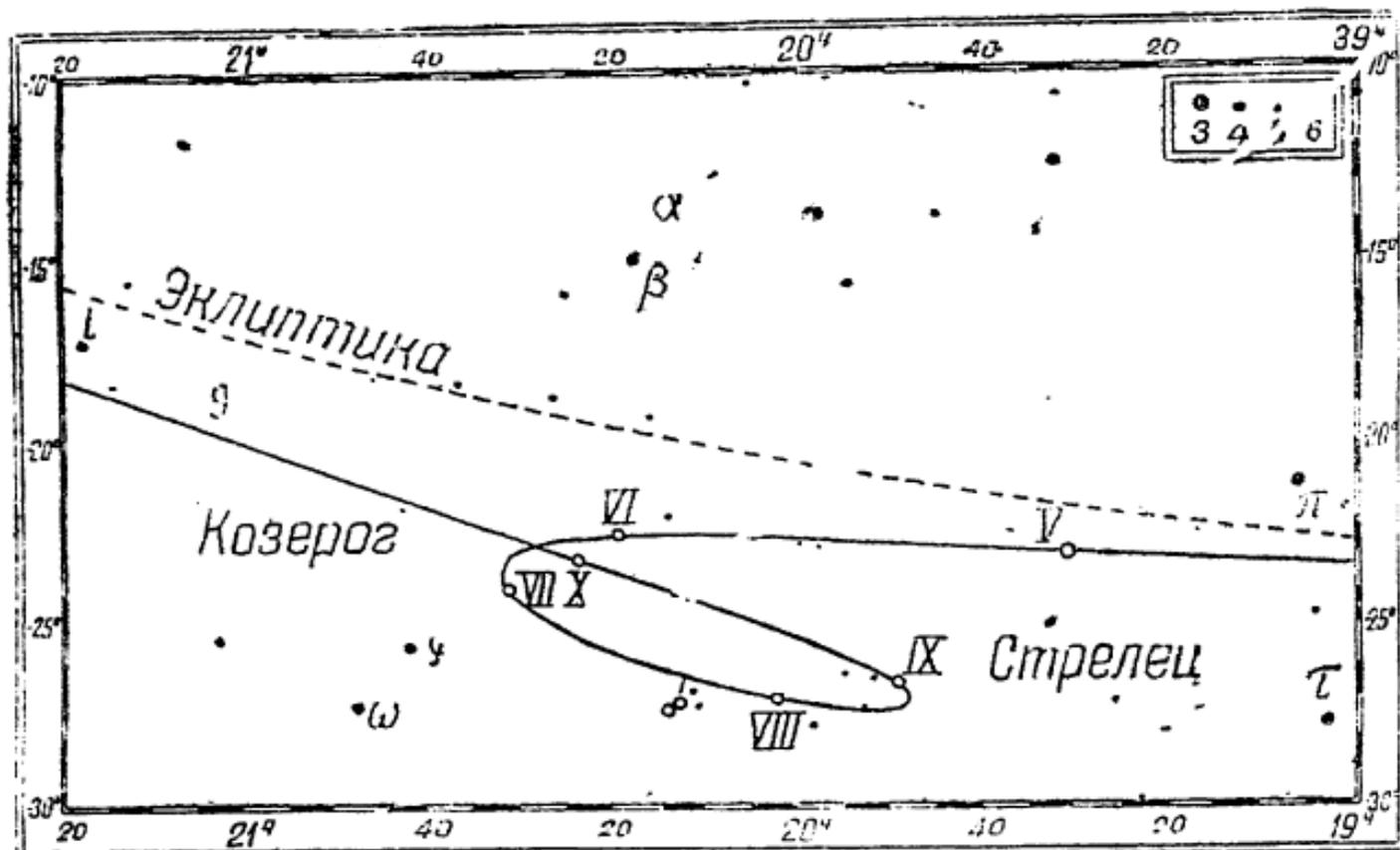


Рис. 1. Видимый путь Марса среди звезд в 1939 г.

странные на первый взгляд особенности. Значительную часть времени планета движется прямым движением, т. е. в ту же сторону, куда идут Луна и Солнце. Но потом она как бы останавливается, наступает момент, называемый *стоянием*. После этого планета поворачивает назад и передвигается некоторое время так называемым *обратным* или *попятным* движением. После нового стояния планета опять поворачивает и снова пускается в прямое движение со все возрастающей скоростью. Если нанести видимый путь планеты на звездную карту, то получится странная петля, которую светило выписывает своим перемещением. Для примера на рис. 1 изображен видимый путь Марса в 1939 г.

Есть ли в этом причудливом движении какая-нибудь закономерность? Можно ли установить, при каких именно обстоятельствах сменяет Марс свое естественное прямое движение на обратное и выписывает на небесном своде эти странные петли и закорючки? Ответ на эти вопросы был также найден в далекую старину. Оказывается, характер движения всякой планеты определяется ее видимым положением на небе по отношению к Солнцу.

Бывает время, когда Марс находится на небе очень близко от Солнца. Конечно, невооруженным глазом его при этом увидеть нельзя. Но астроном, уверенно направляя свой телескоп в нужную точку неба, находит в ней маленькое красное светило — Марс, на этот раз тускло выступающий на слепяще-ярком фоне дневного неба. Впрочем, древние наблюдатели и без телескопа умели устанавливать день, когда Марс бывает ближе всего к Солнцу. И этому дню они присвоили специальное название: *верхнее соединение с Солнцем*. Разумеется, в действительности в условиях верхнего соединения Марс бывает несколько не ближе к дневному светилу, чем в другие дни. Он только с Земли виден примерно в том же направлении, что и Солнце, но находится далеко за последним.

В верхнем соединении Марс всегда быстро перемещается прямым движением. Но Солнце движется еще быстрее. Поэтому оно догоняет и перегоняет Марс, уходя от него все больше влево. В результате вскоре после верхнего соединения Марс оказывается на небе не рядом с Солнцем, но правее его. А так как вследствие суточного вращения Земли все светила кажутся нам плывущими по небесному своду слева направо, то Марс восходит и заходит раньше, чем Солнце. В это время он появляется на небосводе под утро, всходя на рассвете в виде не особенно яркой красной звезды.

Чем дальше, тем сильнее отодвигается Солнце влево от Марса. Поэтому Марс с каждой неделей восходит все раньше и раньше, время его восхода отдалается от рассвета и планету можно наблюдать уже на темном фоне неба. Через 11 месяцев после соединения Солнце удаляется от Марса на 90° . Такое положение Марса называется его *западной квадратурой*. В это время движение Марса становится уже менее быстрым, а его яркость возрастает.

Вскоре Марс начинает двигаться совсем медленно. Затем он вовсе останавливается, поворачивает обратно и начинает идти попятным движением, выписывая на небе петлю. Середина этой петли и наибольшая скорость обратного движения

приходятся на тот день, когда Марс находится в части неба, как раз противоположной Солнцу. Это положение Марса называется его *противостоянием*.

Лучше всего наблюдать Марс именно в противостоянии. В этом положении он бывает ближе всего к Земле и потому светит ярче, чем всегда. Вместе с тем, его видно всю ночь напролет, поскольку он восходит на закате Солнца и заходит в момент солнечного восхода.

После противостояния видимое расстояние между Марсом и Солнцем уменьшается. Двигаясь быстрее, чем Марс, Солнце подвигается к нему с другой (правой) стороны, постепенно нагоняя его. Теперь уже в предрассветные часы ночи Марса нет на небе, потому что он заходит около полуночи. Наступает момент, когда расстояние между Марсом и Солнцем опять делается равным 90° . Это положение называется *восточной квадратурой*. Далее, видимое расстояние между Марсом и Солнцем продолжает убывать, и поэтому Марс заходит все раньше, его видно короткое время на западной стороне неба по вечерам, сразу же после заката Солнца, вслед за которым он вскоре заходит. Еще немного — и Марс совсем скрывается в лучах вечерней зари, и наступает новое соединение Марса с Солнцем.

Основные комбинации, которые наблюдаются в видимом расположении планеты по отношению к Солнцу, называются старинным термином — *аспекты*. Таким образом, для Марса мы различаем четыре основных аспекта: верхнее соединение, противостояние и две квадратуры. Эти аспекты повторяются через строго определенный промежуток времени, который называется *синодическим оборотом планеты*. Для Марса он равен 780 суткам, что составляет приблизительно 2 года и 2 месяца. Значит, через каждые 2 года и 2 месяца Марс снова оказывается в противостоянии и опять наступает время его хорошей ночной видимости.

Из 780 суток синодического периода обращения Марс приблизительно в течение 710 суток движется прямым движением, т. е. к востоку, и только около 70 суток приходится на обратное движение. За время последнего Марс подвигается назад на $16-20^\circ$.

Орбита Марса

Античная наука уделяла много внимания проблеме планетных движений, стараясь найти объяснение тем странным его особенностям, которые мы подробно изложили выше.

Однако те „системы мира“, которые предлагались мыслителями древней Греции, могли дать лишь чисто формальное, эмпирическое представление планетных путей, потому что эти системы были ошибочны в самой своей основе. Ложная идея *геоцентризма*, представление о том, что Земля — наше обиталище, является неподвижным и незыблемым центром всего мироздания, в течение многих веков связывала научную мысль в области исследования неба, направляя творчество исследователей в сторону чисто формальных геометрических схем и построений.

Лишь в XVI в. гениальный ум Коперника направил дело истолкования видимых движений планет на правильный путь, указав, что всякая планета обращается не вокруг Земли, как это предполагалось в древности и в средние века, а вокруг Солнца. С точки зрения такой *гелиоцентрической* системы мира видимые перемещения планет на небесном своде получили очень простое объяснение. Все их особенности, как, например, стояния и обратные движения, которые так трудно было объяснить с геоцентрической точки зрения, теперь оказывались простым следствием сочетания двух движений: действительного движения планеты по своей орбите и перемещения наблюдателя вместе с земным шаром. Великая заслуга Коперника состояла именно в том, что он сумел с математической строгостью показать, насколько хорошо объясняется видимое движение любой планеты при таких допущениях.

Работы Коперника были продолжены Кеплером, который открыл свои знаменитые три закона планетных движений. В частности, Кеплер доказал, что те пути или, как их называют, *орбиты*, по которым движутся планеты, не являются точно окружностями, как это было думал Коперник, но представляют собою несколько вытянутые эллипсы. Двигаясь по такому эллипсу, планета сначала приближается к Солнцу и проходит через ближайшую к Солнцу точку, называемую *перигелием*, а затем начинает удаляться от Солнца, пока не дойдет до наиболее удаленной точки орбиты, называемой *афелием*, после чего опять приближается к Солнцу.

Напомним читателю план строения солнечной системы, как он представляется нам теперь. Если перечислить планеты в порядке их расстояний от Солнца, то мы получим данные, приведенные в табл. 1.

Здесь выписано среднее расстояние каждой планеты от Солнца, сначала в так называемых *астрономических единицах*, а потом в миллионах километров. Напомним, что за астроно-

ТАБЛИЦА 1

Планета	Расстояние от Солнца		Время оборота вокруг Солнца
	в астрономических единицах	в миллионах км	
Меркурий	0.39	58	88 суток
Венера	0.72	108	225 "
Земля	1.00	149	365 "
Марс	1.52	228	687 "
Юпитер	5.20	778	119 лет
Сатурн	9.54	1426	295 "
Уран	19.19	2858	840 "
Нептун	30.07	4494	1648 "
Плутон	39.52	5917	2488 "

мическую меру длины принимается среднее расстояние от Земли до Солнца, почему для нашей планеты в таблице поставлено удобное круглое число — единица.

Таким образом, Марс является непосредственным нашим соседом со стороны, противоположной Солнцу. Благодаря этому он при известных условиях может подходить к Земле довольно близко. В ряду возможной близости Марс занимает третье место. Первенство в этом отношении, конечно, остается за спутником Земли — Луной, второе место занимает наша соседка со стороны Солнца — Венера. Впрочем, необходимо заметить, что некоторые малые планеты или *астероиды* могут подходить к Земле еще ближе, чем Марс. Однако эти малые сочлены нашей солнечной семьи относятся уже к особой группе небесных тел и потому в приведенную выше таблицу мы их вообще не включили, так же как мы не упомянули в ней про кометы и метеорные потоки, тоже подчиненные Солнцу и связанные с ним.

Для того чтобы охарактеризовать орбиту какой-нибудь планеты, необходимо указать шесть величин, называемых *элементами* орбиты. Две из них определяют положение той плоскости, в которой эта орбита лежит. Обычно указывается *наклонность* этой плоскости к плоскости орбиты Земли (к эклиптике) и направление линии пересечения этих плоскостей (*долгота восходящего узла*). Две другие величины указывают размеры и форму того эллипса, по которому движется планета. Это будут — *большая полуось* эллипса и его *эксцентриситет*.

Пятая величина указывает, как расположен эллипс в своей плоскости, а именно, куда направлена его большая ось. Эта величина есть угол, образуемый большой осью эллипса с линией узлов (или *угловое расстояние перигелия от узла*). Наконец, шестая величина определяет положение планеты на ее орбите.

Для нас здесь интерес представляют элементы, определяющие форму и размеры эллипса Марса. Они оказываются такими

$$\begin{aligned} & \text{Большая полуось} \\ & (\text{среднее расстояние от Солнца}) \quad 227\,720\,000 \text{ км} = \\ & \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 1.523\,688 \text{ астроном. единиц.} \\ & \text{Эксцентриситет} \quad 0.09334 \end{aligned}$$

Из этих данных видно, что Марс в среднем в $1\frac{1}{2}$ раза дальше от Солнца, чем Земля. А так как сила солнечных лучей убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца, то из этого следует, что Солнце светит и греет на Марсе в $1.52^2 = 2.32$ раза слабее, чем у нас.

Эксцентриситет орбиты Марса сравнительно велик. Это значит, что тот эллипс, по которому движется Марс, обладает довольно заметной вытянутостью, отличающей его от окружности. Из больших планет солнечной системы только Меркурий обладает еще более вытянутой орбитой. Благодаря этой особенности расстояние от Марса до Солнца меняется в довольно больших пределах. Когда Марс проходит через перигелий, точку орбиты, наиболее близкую к Солнцу, расстояние его от дневного светила бывает на 42 миллиона км или на 18% меньше, чем когда он находится в противоположной, наиболее удаленной от Солнца точке, называемой *афелием*.

Время, в течение которого Марс обходит весь свой путь и возвращается на старое место, составляет 687 суток. Более точное значение этого периода, который определяет длину года на Марсе будет

$$686.9797 \text{ суток} = 1.8808 \text{ земных года.}$$

В предыдущем параграфе мы говорили, что через каждые 2 года и 2 месяца Земля и Марс сходятся по одну сторону от Солнца и наступает так называемое противостояние, когда расстояние Марса от нас бывает наименьшим. Очевидно, что в среднем это расстояние при противостоянии равно разности средних расстояний Земли и Марса от Солнца, что составляет

$$228\,000\,000 - 149\,000\,000 = 79\,000\,000 \text{ км}$$

Но благодаря значительному эксцентриситету орбиты Марса расстояние это может колебаться в довольно значительных пределах. Если во время противостояния Марс находится в наиболее удаленной от Солнца точке орбиты — в афелии, то его расстояние бывает не ближе 100 миллионов км. Такие невыгодные противостояния, когда планета проходит от нас далеко и поэтому неудобна для наблюдений, бывают в феврале.

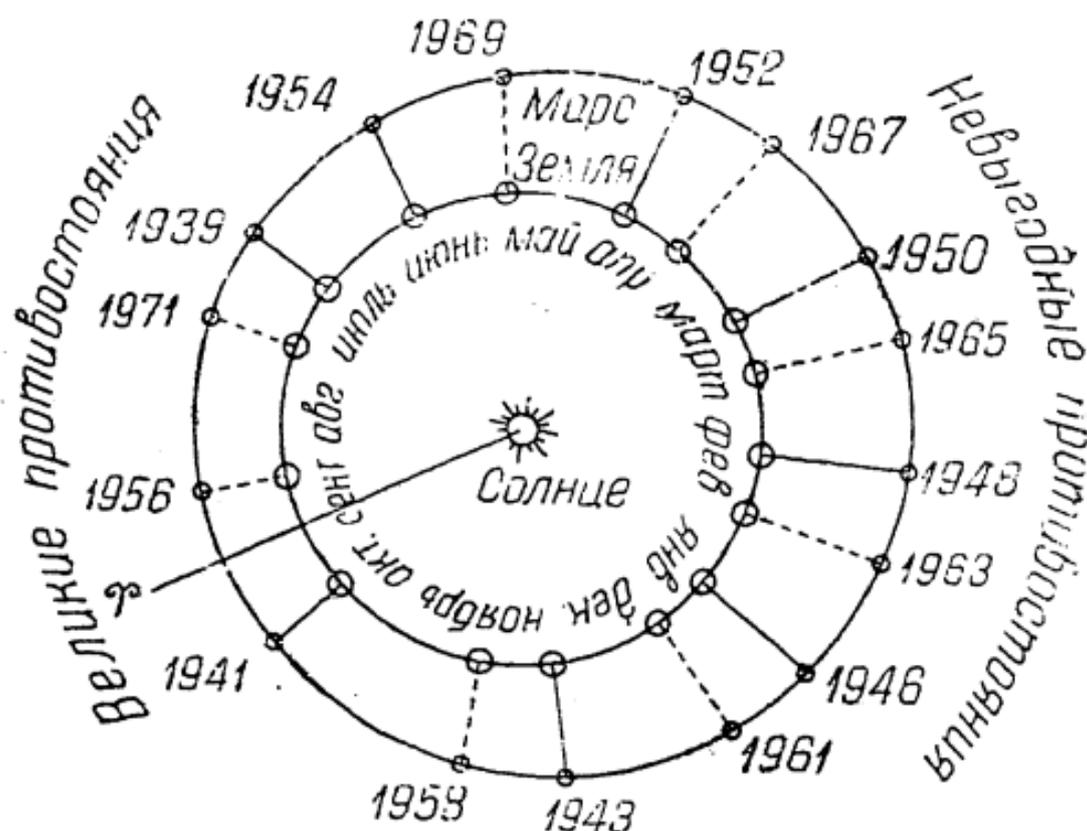


Рис. 2. Схема противостояний Марса с 1939 по 1971 г.

Орбиты Марса и Земли изображены с соблюдением масштаба.

Напротив, если в момент противостояний Марс проходит через перигелий, т. е. движется в части пути, наиболее близкой к Солнцу, то и от Земли он оказывается значительно ближе, причем его расстояние от нас может уменьшаться до 55 милл. км. Такие, особенно благоприятные для изучения Марса противостояния называются *великими*. Они бывают всегда в июле или в августе и повторяются через 15 или 17 лет (рис 2).

Например, великими были противостояния Марса в 1909, 1924 и 1939 г. Просматривая астрономические журналы за эти годы, мы видим, что именно в это время было сделано больше всего исследований Марса, именно при таких условиях сделаны самые важные открытия, касающиеся этой замечательной планеты. Это и неудивительно, потому что великие про-

тивостояния представляют двойную выгоду для изучения Марса. Во-первых, Марс оказывается гораздо ближе и, следовательно, в телескопе данной силы выглядит гораздо крупнее, чем при невыгодных противостояниях. Во-вторых, период его близости к Земле продолжается гораздо дольше, и это позволяет проследить за происходящими на планете переменами более подробно.

Правда, тут есть и обратная сторона медали: в летние месяцы года, когда только и могут происходить великие противостояния, Марс проходит по наиболее южным созвездиям зодиака и поэтому для обсерваторий нашего северного полушария не поднимается высоко над горизонтом. А при низком положении планеты на небе, колебания воздуха сильно портят ее изображение в поле зрения телескопа и этим затрудняют наблюдения. Например, во время последнего великого противостояния, которое произошло 23 июля 1939 г., Марс был расположен в таких южных зонах неба, что его нельзя было наблюдать ни в Ленинграде, ни в Москве, и только такие южные обсерватории, как Харьков и Ташкент, смогли выполнить достаточно успешные наблюдения.

Размеры и форма Марса

Если направить телескоп на Марс и рассматривать его при достаточно сильном увеличении, то мы его увидим как бы с более близкого расстояния, и поэтому в поле зрения трубы вместо точки, лишенной определенных очертаний, перед взором зрителя окажется небольшой шарик. В этом состоит огромное различие между планетой и звездой. Как бы ни был могуществен тот телескоп, в который мы смотрим на звезду, сколь бы сильное увеличение он ни давал, звезда в нем все равно имеет вид только яркой точки, бесформенного огонька, не имеющего ни ощутительных видимых размеров, ни определенной формы. Происходит это оттого, что расстояние до звезд так велико, что при том увеличении, какое допускают современные телескопы, рассмотреть самое тело, шар звезды нет никакой возможности. Можно сказать, что мы видим не самую звезду, а только тот пучок лучей, который от нее доходит до Земли.

Иное дело планеты. Они находятся от нас на сравнительно небольшом расстоянии, и потому уже при умеренном увеличении, каким, например, является увеличение в 100 — 300 раз, мы видим их в качестве кружков, дисков, обладающих вполне

определенными очертаниями и размерами. Даже, более того, на диске планеты мы отчетливо различаем детали и пятна, которые позволяют нам судить как о природе планеты, так и о ее вращении.

При своем движении в пространстве всякая планета то приближается к нам, то удаляется от нас; в связи с этим кажущиеся или угловые размеры ее диска становятся то больше, то меньше. Например, видимый поперечник диска Марса при среднем противостоянии составляет около $20''$, а при великом он может доходить до $25''$. Из этого следует, что даже в небольшой школьный телескоп, увеличивающий в 75 раз, Марс в таком положении кажется таких же размеров, как Луна для невооруженного глаза. Зато в верхнем соединении, когда Марс проходит за Солнцем, и расстояние до него достигает почти 400 миллионов км, видимый диаметр планеты составляет всего $3''.5$.

Измерив угловой поперечник диска и зная расстояние до Марса, нетрудно определить и линейный, т. е. действительный диаметр шара планеты. Как известно, для предмета видимого под достаточно малым углом α'' его поперечник d может быть вычислен по формуле

$$d = \frac{\alpha'' L}{206265} = 0.00000485 \alpha'' L,$$

где L — расстояние, а написанное в знаменателе число представляет собою количество дуговых секунд в одном радиане.

Расстояние от Земли до Марса с большой точностью можно вычислить, руководствуясь данными небесной механики. Таким образом, для определения размеров планеты необходимо точно измерить ее видимый или угловой поперечник. Для этого употребляются следующие три метода.

1. Окулярный микрометр. Так называется измерительный прибор, навинчиваемый на окулярный конец телескопа. Его основной частью является металлическая коробка, в которой укреплена рамка, расположенная как раз в фокальной плоскости телескопа, т. е. там, где получается изучаемое изображение. Эта рамка может передвигаться перпендикулярно оси телескопа и это передвижение осуществляется посредством точного микрометрического винта. Каждый поворот такого винта передвигает рамку на строго одинаковую и притом небольшую длину, например на 1 мм. Если же повернуть головку винта не на целый оборот, а на часть оборота, то и рамка подвинется на такую же долю миллиметра. Головка винта снабжена деле-

ниями, которые показывают, насколько она повернута. Таких делений чаще всего бывает 100. В этом случае поворот на одно деление подвигает рамку на 0.01 мм.

На рамку натягивается тончайшая паутинная нить. Когда смотрят в окуляр телескопа, снабженного микрометром, то в поле зрения видят планету или звезды, а на их фоне эту нить. Поворачивая винт микрометра, можно передвигать нить по полю зрения и наводить ее на изображение той или другой звезды.

Для измерения диаметра какой-нибудь планеты, например Марса, поступают следующим образом. Сначала двигают нить до тех пор, пока она не коснется края планеты с одного бока (например, слева, как это изображено на рис. 3) и записывают показание делений на головке винта. Затем вертят винт до тех пор, пока нить, перейдя через весь диск, не станет касательно к противоположному (например правому) краю и снова записывают показание делений на головке винта. Разность записей даст число оборотов и долей оборота, на которые пришлось повернуть винт, чтобы пройти весь диаметр диска планеты. Зная скольким секундам дуги соответствует один поворот винта, можно сказать, чему равняется угловой поперечник планеты в день наблюдения.

Все это может показаться делом несложным, однако, в действительности, оно требует большого искусства и терпения. Дело в том, что всякое небесное тело мы наблюдаем сквозь атмосферу, а воздух в ней всегда волнуется, струится, течет. От этого изображение планеты в телескопе дрожит и искажается, так что на него трудно наводить нить. Кроме того, результат измерения искажается *иррадиацией*. Так называется свойство нашего зрения, вследствие которого яркий предмет на темном фоне кажется чуть-чуть больше, чем он есть на самом деле.

2. Гелиометр. Этот измерительный прибор представляет собою телескоп, объектив которого разрезан пополам по диаметру, и эти половинки могут передвигаться вдоль линии разреза посредством точного микрометрического винта. Каждая половина объектива дает свое изображение, и в поле зрения такого телескопа видно два одинаковых изображения каждого светила. Когда половинки объектива сдвинуты так, что их центры совпадают, совмещаются и даваемые ими изображения, и тогда в гелиометре видно только одно изображение, как в обыкновенном телескопе. Стоит только немного раздвинуть части объектива, и все изображение раздваивается. Чем дальше

раздвигаются половинки, тем больше расходятся и изображения в поле зрения инструмента.

Если навести гелиометр на Марс, то будет видно сдвоенное изображение диска планеты. Вращая винт, раздвигают эти два изображения, пока они не будут касаться одно другого. В этом положении деления на головке винта дают угловой диаметр планеты.

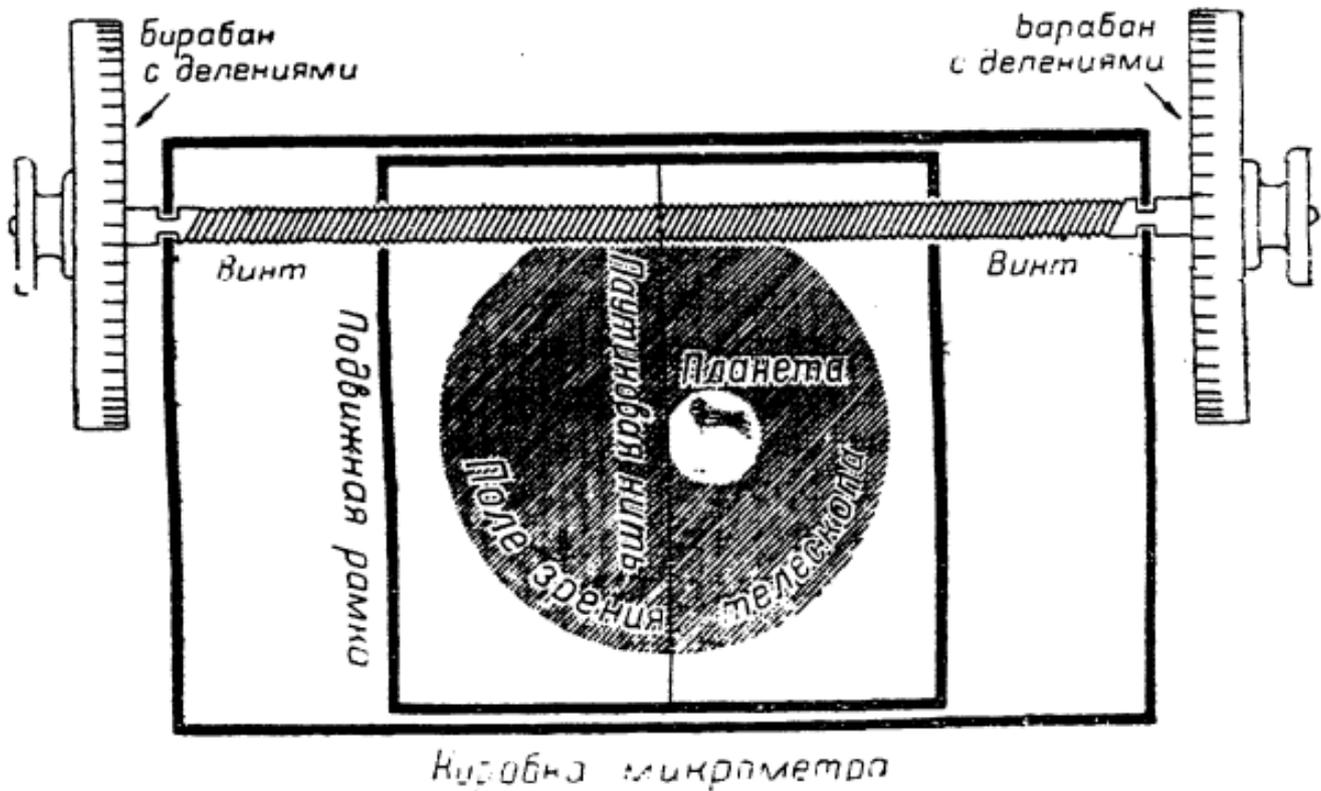


Рис. 3. Схема микрометра.

Паутинная нить, перемещающаяся вместе с рамкой при вращении винта, изображена установленной касательно к диску Марса.

Измерения гелиометром тоже очень трудны и также связаны с различными ошибками. Все же для измерения дисков планет гелиометр дает, в общем, более точные результаты, чем микрометр.

3. Фотография. Можно снять изображение планеты на фотографической пластинке и потом измерить полученный снимок на специальной машине. Зная масштаб снимка, т. е. число дуговых секунд, соответствующее одному миллиметру, легко перевести измеренный на пластинке диаметр фотографического изображения в угловой поперечник.

Это тоже довольно сложное дело. Оказывается, что изображение на пластинке-негативе получается тем больше, чем оно чернее, т. е. чем дольше была выдержка при съемке. Поэтому, прежде чем приступить к фотографическим измерениям поперечника планеты, необходимо подобрать такую выдержку, при

ТАБЛИЦА 2

Сводка измерений диаметра Марса, выполненных разными наблюдателями в разное время (в переработке Рабе, с некоторыми добавлениями)

Автор	Год	Прибор и место измерения	Полярный диаметр на расстоянии в 1 астр. ед.
а) Измерения микрометром			
Кемпбелл	1892	36-дюймов. Ликский рефрактор	9."52
"	1894—1895	36- " " "	9. 28
Барнард	1894	36- " " "	9. 44
Си		26- " рефрактор, Вашингтон	9. 47
Вирц		18- " " Страсбург	9. 62
Рабе	1914—1916	4- " " Бреслау	9. 44
"	1926—1927	4- " " "	9. 43
б) Измерения гелиомером			
Бессель		Кенигсберг	9."33
Кайзер		7-дюймов. рефрактор	9. 38
Майн I		Оксфорд	9. 40
Гартвиг I			9. 30
Майн II		Оксфорд	9. 51
Гартвиг I			9. 51
Шур		Геттинген	9. 68
Гартвиг III		Бамберг	9. 56
в) Фотографические измерения			
Райт	1924	36-дюймов. рефлектор инфракрасн. лучи	8".86
"	"	36- " " желтые "	9. 17
"	"	36- " " фиолетовые "	9. 13
"	"	36- " " ультрафиолет. "	9. 27
"	"		
Ван-де-Камп	"	26- " рефр. Линдер-Мак Кормик желтые лучи	9. 48
Тремплер	"	36- " Ликский рефракт. желтые лучи	9. 41
"	"	36- " " " красн. "	9. 33
"	"	По движению деталей	9.178
"	"	Среднее значение (по Рабе)	9."44
			± 0. 03

которой получается правильное, не искаженное разными погрешностями значение диаметра. О том, к каким недоразумениям приводит недостаточное внимание к таким предосторожностям, будет сказано в главе об атмосфере Марса.

Чтобы читатель мог судить о том, насколько согласны или не согласны между собою измерения, выполненные разными астрономами при помощи различных методов, в табл. 2 приведены важнейшие результаты определений поперечника Марса.

Мы видим, что согласие далеко не блестящее, чему причиной те источники ошибок, о которых мы говорили выше. Чтобы избежать затруднений, связанных с измерениями краев диска, Трэмплер предложил новый метод измерения, основанный на следующем. В течение ночи Марс фотографируется несколько раз. На полученных снимках выбирается какая-нибудь резкая деталь диска, например небольшое темное пятно, и ее положения тщательно измеряются на каждой фотографии. Вследствие вращения планеты пятно будет передвигаться по диску. Действительный его путь будет окружность, совпадающая с одной из параллелей. Но поскольку эта параллель расположена по отношению к наблюдателю наклонно, видимый путь пятна на диске будет половиной эллипса. Большая полуось этого эллипса будет равна радиусу той параллели, на которой лежит наблюдаемая деталь, а малая полуось укажет направление оси Марса. Промерив положения пятна для ряда моментов, можно вычислить или начертить описываемый им эллипс и определить его поперечник. Отсюда, зная широту детали, нетрудно рассчитать и угловой диаметр экватора Марса. При таком способе его определения отпадают все погрешности, связанные с кажущимся расширением светлого изображения планеты в поле зрения телескопа или на фотографической пластинке, однако трудно ручаться за то, что на смену им не появляются новые. Число, полученное Трэмплером по этому новому методу, приводится в последней строчке нашей сводки.

Заметим, что в настоящее время официально признанным значением диаметра экватора Марса считается число 9'36, чему соответствует линейный поперечник 6787 км. С этим значением дается величина видимого поперечника Марса в астрономических календарях и ежегодниках. Если ее принять, то выходит, что диаметр Марса составляет только 0.534 диаметра Земли (рис. 4). Площадь поверхности Марса будет равна

$$S = 4 \pi R^2 = 4 \pi \left(\frac{6781}{2} \right)^2 = 144\,700\,000 \text{ кв. км,}$$

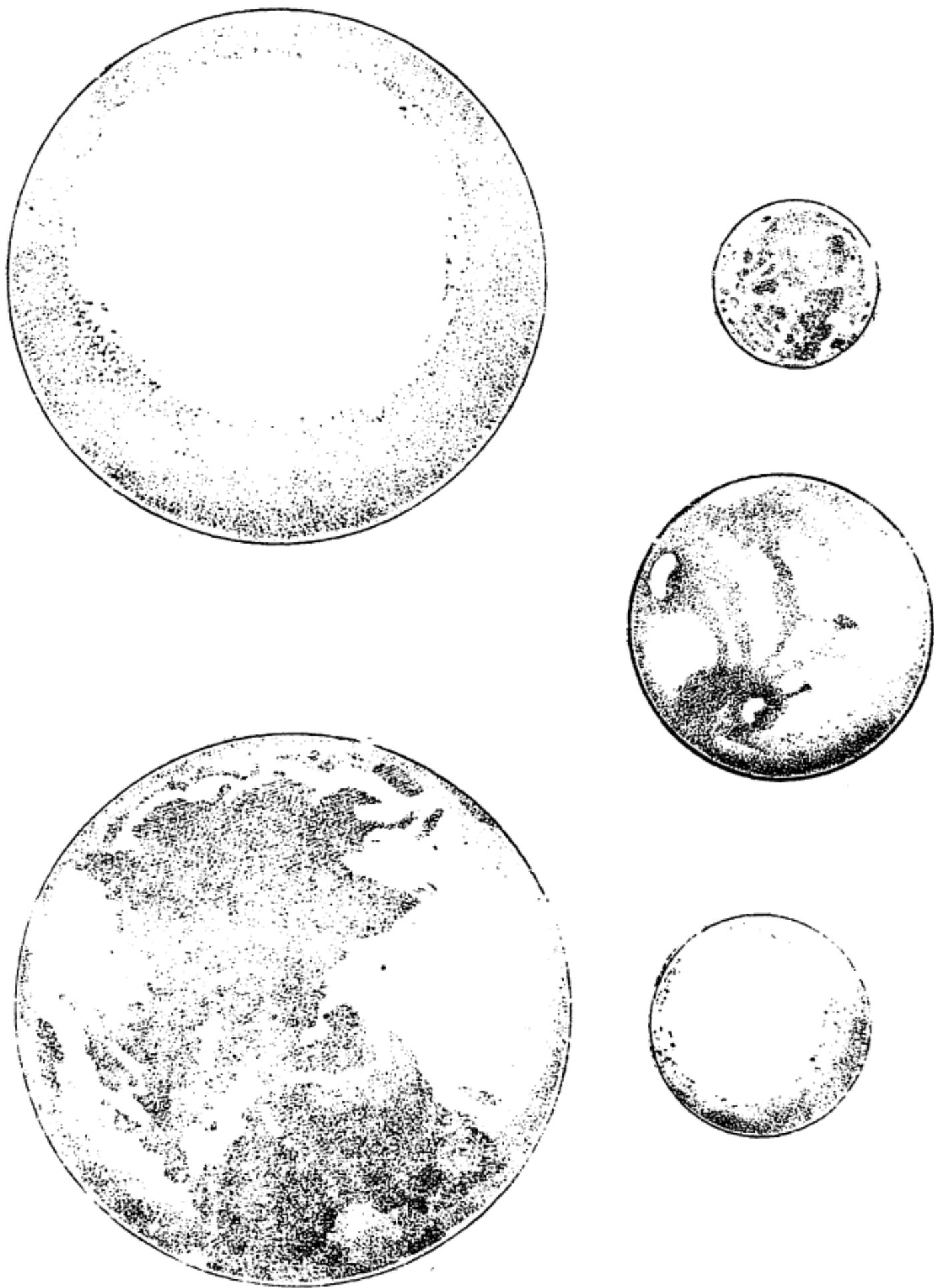


Рис. 4. Сравнительные размеры Земли, Венеры, Меркурия, Марса и Луны.

что составляет 0.285 от площади земной поверхности. Наконец, объем Марса равен

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 163\,700\,000\,000 \text{ куб. км.}$$

По отношению к объему Земли это составляет 0.152.

Является ли Марс точным шаром? Этот вопрос вполне уместен, поскольку все остальные планеты обладают более или менее значительным сжатием у полюсов. Для некоторых из них это сжатие настолько значительно, что оно бросается в глаза при первом взгляде в телескоп. Например, диски Юпитера и Сатурна явно имеют эллиптические очертания.

Диск Марса при наблюдении в телескоп представляется круглым, однако точные измерения обнаруживают вполне заметную сплюснутость, которая, правда, значительно меньше, чем у таких планет, как Юпитер, но все же больше, чем у Земли.

Напомним, что степень отличия фигуры планеты от шара выражается величиной, которая называется *сжатием*. Сжатие ϵ равно разности между экваториальным радиусом планеты a и полярным b , деленной на a

$$\epsilon = \frac{a - b}{a} .$$

Для Марса эта величина определялась много раз. Вот некоторые из таких измерений:

Среднее из микрометрических измерений Барнарда, Ловелла и Юнга	1/93
Гелиометрические измерения Гартвига	1/102
Тремплер, по снимкам в красных лучах	1/102
” ” ” ” желтых — —	1/94
Вычисления Струве, основанные на исследовании спутников	1/190

Число, приведенное в последней строке получено способом, который принципиально отличается от других. Он основан на том, что у планеты, сжатой у полюсов, на экваторе получается как бы вздутие. Этот избыток вещества оказывает на спутников, движущихся кругом планеты, притягивающее действие, которое нарушает их движение. В результате в движении спутников получаются особые возмущения или неравенства. Анализируя их с точки зрения небесной механики, можно

вычислить величины сжатия планеты и положение ее экватора в пространстве. Как видим, число, полученное по этому способу Германом Струве, значительно отличается от того, что дают прямые измерения. К обсуждению этого вопроса мы еще вернемся, когда будем говорить о внутреннем строении Марса.

Таким образом, наблюдения устанавливают, что Марс сжат у полюсов, причем величина этого сжатия по одним данным близка к $1/100$, а по другим к $1/190$. Для сравнения укажем, что сжатие Земли составляет $1/299$, в то время как для Юпитера эта величина равна $1/54$, для Сатурна $1/95$, для Урана $1/14$ и для Нептуна $1/40$.

Фазы

Было бы неверно думать, что Марс всегда имеет форму правильного круга. Напротив, круглые очертания он имеет сравнительно недолгое время около противостояния. Удаляясь от этого положения, он начинает убывать с одного бока, подобно тому, как это бывает с Луной после полнолуния, и вскоре приобретает вполне заметный ущерб.

Разумеется, причина этого та же самая, что и в случае фаз Луны. Марс, подобно всякой другой планете, представляет собою тело темное, не имеющее собственного света. Он сияет на небе, так сказать, за чужой счет, отражая к нам лучи Солнца. Но Солнце освещает только половину Марсова шара; другая его половина, а именно та, которая повернута от Солнца в другую сторону, тонет во мраке и потому сливается с темным фоном ночного неба.

Во время противостояния Марс стоит приблизительно на продолжении линии Солнце — Земля. Поэтому мы его видим со стороны Солнца и потому в таком положении все полушарие, видимое с Земли, бывает полностью освещено солнечными лучами и диск выглядит круглым. Удаляясь от противостояния, Марс начинает понемногу поворачиваться к Земле своей неосвещенной стороной. Эта часть поверхности планеты, погруженная во мрак, на небе совсем не видна, и потому диск Марса теряет свои круглые очертания и принимает ущербленную форму (рис. 5).

Напомним, что линия, отделяющая светлую часть диска от темной, называется *терминатором*. Она представляет собою границу дня и ночи на поверхности планеты. Действительная форма терминатора — круг, охватывающий весь шар

планеты. Но по отношению к находящемуся на Земле наблюдателю этот круг расположен косо и потому, проектируясь на видимый диск, он имеет форму половины эллипса.

Для Луны убыль светлой доли диска продолжается непрерывно, последовательно придавая ночному светилу очертания полукруга, потом серпа и, наконец, совсем тоненькой светлой дужки. Это происходит оттого, что при своем движении кругом Земли Луна по-

степенно заходит в сторону Солнца, и при этом солнечный свет уходит все далее на ту половину нашего спутника, которую мы не видим. В результате освещенной остается лишь узкая полоска видимого диска, принимающая форму серпа. Наконец наступает такой день, когда Луна делается совсем невидимой, так как все ее полушарие, обозреваемое для нас, оказывается во мраке. Этот день, когда Луна вообще не появляется на нашем небосводе, называется новолунием.



Рис. 5. Вид Марса в небольшой телескоп.

Диск имеет заметный ущерб слева. На нем видно белое полярное пятно и темные пятна морей.

двигутся по орбитам, которые лежат внутри орбиты Земли. Поэтому они тоже могут становиться между Землей и Солнцем, обращая к нам свое темное полушарие. Понятно, что последовательность их фаз будет примерно такой же, как и для Луны.

Для Марса дело обстоит иначе. Он расположен от Солнца дальше, чем Земля. Поэтому становиться между нами и дневным светилом он не может и, следовательно, не может ни обернуться к нам своим темным полушарием, ни обращаться в узкий серп. Смена фаз для него ограничена лишь сравнительно небольшим ущербом, составляющим не более $1/4$ видимого поперечника диска: рис. 6 поясняет, в чем здесь дело. Для

наблюдателя, находящегося в точке Z , Марс будет в квадратуре. Это значит, что угол MZC , составленный направлениями на Солнце и на Марс, равен 90° . При этом к наблюдателю обращено полушарие Марса, ограниченное линией ab , а к Солнцу — ограниченное линией mp . Таким образом, дуга am представляет темную, неосвещенную часть диска Марса, определяющую его „ущерб“. Легко видеть, что эта дуга стягивает угол tMa ,

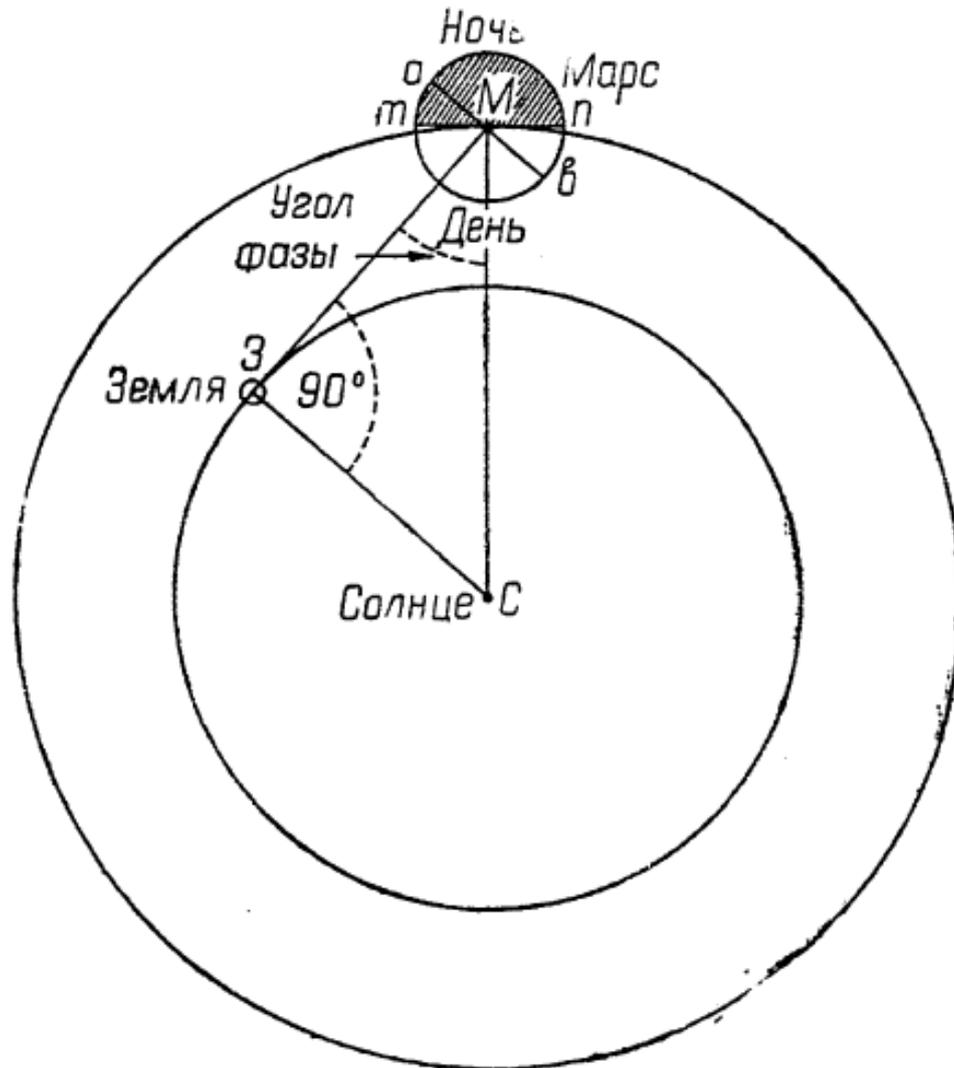


Рис. 6. Расчет предельного угла фазы для Марса.

который в свою очередь, равен углу ZMC , образуемому прямыми линиями Марс — Земля и Марс — Солнце. Этот угол в астрономии называется *углом фазы*.

При противостоянии и в верхнем соединении угол фазы равен нулю, а потому при этих аспектах диск Марса имеет форму полного круга. Наибольшее значение угла фазы получится именно при квадратуре, т. е. в положении, изображенном на нашем рисунке. Пользуясь тригонометрией, легко рассчитать, чему равно это предельное значение фазы для Марса. Замечая, что MC и ZC представляют собою радиусы

орбит Марса и Земли, из прямоугольного треугольника $MЗС$ находим

$$\sin \angle ЗМС = \frac{ЗС}{МС} = \frac{1.000}{1.524} = 0.654.$$

Откуда следует

$$\angle ЗМС = 41^\circ.$$

В действительности фаза Марса может доходить до 53° , что является следствием эллиптической формы его орбиты.

Может показаться, что наличие фаз немного затрудняет изучение природы Марса, так как по временам часть его поверхности становится недоступной для наблюдения. На самом деле это не так. При достаточном ущербе удобно изучать местности Марса, прилегающие к терминатору, а они представляют для нас огромный интерес, потому что именно в тех местах, где темная ночь переходит в светлый день или наоборот, происходят разные интересные и важные явления, позволяющие делать ценные выводы о природе планеты. Например, там можно подметить сумерки, благодаря которым терминатор выглядит размытым и как бы ступеванным, а также светлые области, занятые туманами и нагромождениями облаков, выдающиеся из светлой части диска в темную в виде ярких выступов или извилин на терминаторе.

Дни и ночи на Марсе

Если дать себе труд проследить за диском Марса в течение достаточно долгого промежутка времени, например несколько часов подряд, то легко будет заметить одно очень интересное и вместе с тем важное явление. Пестрая картина темных и светлых деталей на планете не остается неизменной, но непрерывно, хотя и плавно, меняется. Узоры, образуемые пятнами и полосами, не стоят на месте, но постепенно передвигаются. Если наблюдение ведется в обыкновенный астрономический телескоп, который дает перевернутые, обратные изображения и, следовательно, показывает нам Марс, так сказать, вверх ногами, то это непрерывное передвижение происходит справа налево. Всякое пятно появляется на правом (восточном) краю Марса, постепенно передвигаясь влево, медленно пересекает диск и, наконец, скрывается у левого края. Только белые пятна не участвуют в этом движении и сохраняют свое неизменное положение у края диска планеты.

Нетрудно догадаться, в чем причина всего этого. Марс подобно нашей Земле, плавно вращается вокруг своей оси и потому различные участки его поверхности, один за другим, проплывают перед наблюдателем, разглядывающим планету с далекого расстояния. Что же касается до белых пятен, то они расположены в полярных областях Марса и притом так, что их середина совпадает с самым полюсом. Поэтому при вращении планеты белое пятно поворачивается вокруг своего собственного центра, но никуда не сдвигается на видимом с Земли диске. Это свойства белых областей на Марсе находит свое выражение в самом их названии: *полярные пятна* или *полярные шапки*.

Тот факт, что Марс вращается вокруг оси, представляет собой обстоятельство первостепенной важности. Ведь из него следует вывод, что на Марсе, как и у нас, бывает то день, то ночь. День — когда данная местность поворачивается в сторону Солнца и освещается его лучами. Ночь — когда она отворачивается прочь от Солнца, так что лучи дневного светила на нее больше не падают.

Коль скоро факт вращения Марса установлен, необходимо решить и вторую задачу: насколько длительны сутки на этой планете? Приблизительный ответ на этот вопрос можно получить очень простым способом. Для этого надо выбрать какое-нибудь хорошо заметное резкое пятно и следить за тем, как оно постепенно подвигается, уносимое вращением планеты. Удаляясь от края диска, пятно вместе с тем приближается к видимому центру Марса и нетрудно заметить тот момент, когда оно проходит ближе всего от этого центра, после чего начинает подвигаться к противоположному краю. Скрывшись за этим краем, пятно некоторое время будет невидимо, потом опять появится на диске и снова пройдет близко к центру. Опять замечают момент, когда это случается. Промежуток времени между первым и вторым прохождением пятна и будет временем оборота планеты вокруг оси и вместе с тем продолжительностью суток для обитателей этой планеты, если только эти обитатели существуют.

Действуя таким способом, уже первые наблюдатели Марса могли установить, что сутки на этой планете лишь немногим длиннее, чем на Земле и составляют приблизительно 24 часа 40 мин. Таким образом, продолжительность дня и ночи на Марсе почти такая же, как и у нас.

По мере накопления наблюдений, данные о времени оборота Марса все более уточнялись. В этом деле не так важно

количество или даже качество наблюдений, как длинные интервалы времени между ними. Самые старые наблюдения над прохождением пятен, которые могут иметь научную цену, были выполнены еще Гюйгенсом и Гуком более 200 лет назад. Допустим, что ошибка, с которой в те времена могли делать такие наблюдения, могла доходить до 10 минут. Если теперь повторить наблюдение над теми же пятнами, то мы сможем получить промежуток времени между прохождением пятна, отмеченным в начале XVII ст. и наблюдавшимся в наши дни, с той же ошибкой в 10 минут. Чтобы найти отсюда продолжительность суток на Марсе, надо разделить этот длинный интервал времени на число оборотов, которые за это время сделал Марс. Нетрудно сосчитать, что за два столетия Марс успевает обернуться вокруг оси свыше 70 000 раз. На такое число раз делится и ошибка в длине интервала, которую мы приняли равной 10 минутам. А это значит, что ошибка окончательного результата окажется совсем ничтожной и составит десятые или даже сотые доли секунды.

Сравнивая современные наблюдения Марса со старыми, Ловелл получил для периода вращения Марса вокруг оси число

24 часа 37 мин. 22.58 сек.

Число, официально принятое для составления астрономических таблиц, представляющих вид Марса на данный день и публикуемых в астрономических календарях и ежегодниках, отличается от этого новейшего определения менее, чем на 0.1 секунды и составляет

24 часа 37 мин. 22.654 сек.

Оно выведено астрономом Смартон в 1896 г.

Благодаря тому, что продолжительность оборота Марса вокруг оси близка к нашим земным суткам, получается следующее любопытное явление. Если наблюдать Марс каждый день в одни и те же часы, например, по вечерам, то мы каждый раз будем видеть его шар повернутым к нам приблизительно одинаковым образом. Происходит это оттого, что по истечении суток Марс тоже поворачивается на целый оборот и, значит, оказывается в том же положении, в каком был накануне. Это невыгодно тем, что мы каждую ночь сможем обозреть одно и то же полушарие планеты, противоположная же сторона будет повернута в сторону Земли днем и вообще в те часы, когда Марс находится под горизонтом.

Но, заходя для одних мест Земли, всякое светило восходит для других мест. Поэтому, если на обсерваториях одной части света, например, Европы, видно только одно полушарие Марса, то обсерватории, расположенные на других долготах, например в восточной Азии или в Америке, смогут наблюдать Марс именно в те часы, когда в Европе он не виден и потому смогут обозревать противоположную половину его шара. Таким образом, коллективная работа нескольких обсерваторий, расположенных в удаленных друг от друга местах Земли, позволяет непрерывно держать под наблюдением всю поверхность нашего соседа.

Благодаря тому, что сутки на Марсе на 37 минут длиннее, чем на Земле, область планеты, обозреваемая в одни и те же часы из какой-нибудь обсерватории, будет понемногу сдвигаться. Действительно, по истечении земных суток медленнее вращающийся Марс не довернется до полного оборота на 9° . Поэтому дело будет происходить так, как если бы Марс поворачивался в обратную сторону на 9° в сутки. Через 20 дней мы будем видеть как раз противоположную сторону планеты, а через 40 дней на середине диска окажутся те же самые пятна, которые мы на ней видели в те же часы ночи сначала.

Сезоны на Марсе

После смены дней и ночей самым важным проявлением небесных движений в жизни нашей планеты без сомнения является ежегодная смена сезонов. Каждый год морозная зима сменяется теплой весной, за которой следует жаркое лето, а затем прохладная осень. Многие, вероятно, будут склонны поставить это даже на первое место, потому что если в отношении света и тьмы день и ночь различаются сильнее всего, то в отношении тепла и холода годовые перемены имеют больше значения. Им подчинены течение рек и волны океанов, дуновение ветров и появление туч, расцвет растений и размножение животных. Даже сама беспокойная творческая деятельность человека связана с этим могучим годичным ритмом, и почти все наши мероприятия находятся в той или иной зависимости от него. Ибо зимой, когда белый снег завалит поля и овраги, а реки оденутся твердой корой льда, все процессы и в атмосфере, и в биосфере, и в гидросфере протекают совсем не так, как летом, когда земля согрета высоко стоящим и подолгу освещающим Солнцем и буйная зелень одевает окружающий ландшафт.

Происходит ли нечто подобное и на Марсе?

Читатель, вероятно, помнит, что смена времен года на нашей планете получается оттого, что та воображаемая ось, вокруг которой происходит вращение земного шара, расположена наклонно по отношению к плоскости земной орбиты и составляет с ней угол в 66° . При движении Земли вокруг Солнца эта ось остается параллельной самой себе и потому к Солнцу в июне бывает наклонен северный полюс, а в декабре — южный.

Для того чтобы выяснить, как протекает аналогичная смена времен года на Марсе, необходимо установить расположение оси вращения этой планеты по отношению к ее орбите: насколько и в какую сторону эта ось наклонена и к какой точке неба направлен ее конец, т. е. какая звезда для обитателей Марса будет играть роль полярной звезды.

Для того чтобы определить положение полюса на Марсе и установить определяемое этим направление оси, существуют три совершенно различных метода.

Первый из них состоит в точном измерении положения полярного пятна, центр которого в этом случае принимается за точку полюса. Это сравнительно просто, но не особенно надежно, поскольку область, занятая белым цветом, является изменчивой, иногда — неправильной по очертаниям, и потому ее середина далеко не всегда совпадает с истинным полюсом планеты. Поэтому неудивительно, что определения оси по полярному пятну обнаруживают заметные разногласия. Для примера в табл. 3 приведем следующие данные, которые в этой области считаются наиболее надежными.

ТАБЛИЦА 3

Автор	Год наблюдений	Координаты северного полюса	
		прямое восхождение (1950) α	склонение (1950) δ
Ловелл и Слайфер	1901—1911	21 час 5 мин.	$54^\circ.3$
Лозе	1912	21 " 34 "	54.2
Пиккеринг	1927	21 " 5.4 "	53.8

Второй метод состоит в том, что выбирается на диске планеты резкая деталь и ее постепенное перемещение тщательно наблюдается в течение целой ночи. Как мы уже упо-

минали в параграфе, посвященном размерам Марса, видимая траектория детали будет эллипсом, малая ось которого указывает направление и наклон оси Марса по отношению к наблюдателю, что позволяет найти и положение полюса планеты. С принципиальной точки зрения такой способ определения оси Марса является наилучшим, но практическое его применение оказывается очень трудным, потому что уверенное определение траектории детали очень сложно. Наилучшие результаты в этом деле дает фотография. Тремплер по снимкам, полученным во время великого противостояния 1924 г., вывел следующие элементы оси вращения Марса

$$\alpha = 21 \text{ час } 4 \text{ мин.} \quad \delta = 54^{\circ}.8 \quad (1950)$$

Третий способ для определения оси Марса основан на методах небесной механики. Мы уже говорили, что, благодаря сжатию у полюсов и вздутию у экватора, Марс вызывает особые неправильности в движении своих спутников. Анализируя их, Герман Струве нашел для положения северного полюса Марса такие данные

$$\alpha = 20 \text{ час. } 54 \text{ мин.} \quad \delta = 52^{\circ}.9 \quad (1950)$$

Из тех же данных о влиянии экваториального вздутия Марса на движение спутников Струве вычислил, что ось вращения Марса, так же как и ось вращения Земли, постепенно меняет свое направление в пространстве и описывает на небе полную окружность вокруг оси эклиптики приблизительно за 183 тысячи лет. Таким образом, ось вращения Марса затрачивает на полный оборот в 7 раз больше времени, чем земная ось, которая обходит полную окружность приблизительно за 26 тысяч лет (явление так называемой *прецессии*).

Приведенные выше числа показывают, что теперь для наблюдателя, находящегося на Марсе, небесный полюс находится в созвездии Цфея, недалеко от знаменитой переменной звезды δ Цфея, по имени которой целый класс светил этого типа получил в астрономии наименование *цефеиды* (рис. 7).

Итак, наклон оси Марса к плоскости его орбиты почти такой же, что и у Земли, а потому смена времен года и условия своеощения в разные сезоны там происходят примерно так же, как и у нас. Но поскольку Марсов год почти вдвое длиннее земного, то каждый сезон там тоже продолжается вдвое дольше.

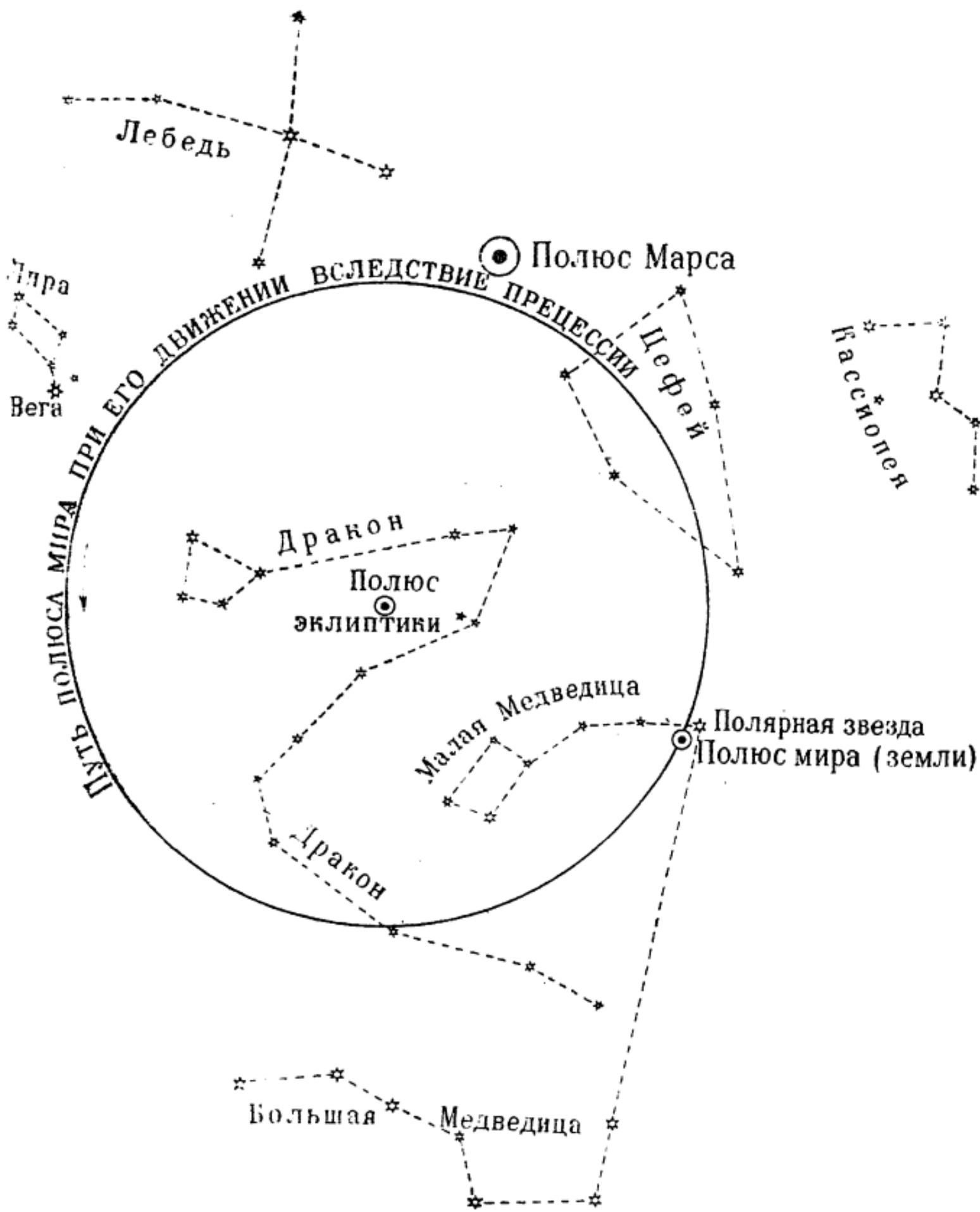


Рис. 7. Расположение северных полюсов Марса, Земли („полюса мира“) и эклиптики на звездной карте.

Напомним, что времена года на Земле имеют неодинаковую продолжительность. Благодаря тому, что путь Земли вокруг Солнца не круг, а несколько вытянутый эллипс, скорость движения нашей планеты в разные месяцы различна. В январе, когда Земля проходит ближе к Солнцу мы несемся несколько быстрее, зато в июле, когда Солнце от нас дальше всего, скорость нашего движения немного меньше.

Орбита Марса вытянута еще сильнее, чем путь Земли, она еще более отличается от окружности, обладает бóльшим значением эксцентриситета. Поэтому и различие в продолжительности сезонов там еще сильнее. Вот какой оказывается длительность времен года в северном полушарии для Земли и для Марса

	Земля	Марс
Весна	98 суток	193 суток
Лето	93 "	178 "
Осень	90 "	143 "
Зима	89 "	155 "

Картография Марса

Поскольку установлено положение оси вращения Марса в пространстве, мы всегда можем нанести на глобусе, изображающем эту планету, северный полюс и южный полюс. Только это будут уже не *географические* полюсы, а *ареографические*. Потому что слово *география* происходит от греческого названия Земли *ге*, и применять этот термин и связанные с ним выражения к другой планете было бы неуместно. Марс по-гречески называется *Арей*. Поэтому в отношении этой планеты слово *география* мы и заменяем термином *ареография*.

Зная, где находятся полюсы, мы можем провести на глобусе Марса ареографический экватор, параллели, меридианы — одним словом, построить ту сетку кругов, которая всегда чертится на обычных географических глобусах и картах, изображающих Землю. И далее, для всякой точки на поверхности Марса можно указать ее ареографические координаты: широту и долготу, вполне аналогичные географическим широтам и долготам мест на земной поверхности.

Широты на Марсе, как и на Земле, считаются от экватора, причем в одну сторону называются северными, а в другую южными. Счет долгот ведется от одного из меридианов, условно выбранного за начальный или нулевой меридиан.

Как известно, выбор такого меридиана для Земли не обошелся без разногласий и недоразумений. Дело в том, что все меридианы с математической точки зрения равноценны, а потому счет долгот можно начинать с любого из них. Но вот тут-то и начались осложнения и споры. Каждая страна выбирала себе свой собственный начальный или нулевой меридиан. В результате начался сильнейший разнобой, потому что во Франции считали долготы от Парижского меридиана, в Германии — от Берлинского, в Англии — от Гринвичского. Правда, в XV столетии была сделана попытка примирить всех на том, чтобы провести этот спорный начальный меридиан через остров Ферро: этот маленький и никому не нужный клочок земли казался подходящим благодаря тому, что он является самой западной точкой Старого света. Но это тоже не имело успеха, потому что очень неудобно, если такая важная вещь, как долготы, связывается с удаленным, а в то время и почти неизученным пунктом.

В отношении Марса удалось избежать подобных споров и все сразу согласилось с предложением Скиапарелли проводить начальный меридиан через центр резко очерченного залива, называемого *Sabaeus sinus*.

Одной из важнейших задач наблюдений Марса на протяжении двух столетий было точное определение широт и долгот разных деталей на его поверхности. Подобно тому, как географы публикуют таблицы, в которых приводится широта и долгота для городов, сел, озер и горных вершин так исследователи Марса в своих трудах дают длинные списки разных замеченных ими на Марсе подробностей с указанием их широт и долгот.

Тому, кто хочет ознакомиться с расположением основных пятен на Марсе и выучить присвоенные этим пятнам названия, лучше всего пользоваться ареографическими картами. Изображение поверхности Марса на таких картах вычерчивается по тем же самым правилам, которым руководствуются при изображении Земли на картах географических. В одних случаях Марс изображают в виде двух полушарий, вполне аналогичных известным всякому школьнику картам земных полушарий. В других случаях предпочитают изображать Марс на одной прямоугольной карте, как это делается для Земли на так называемых картах Меркатора, столь любимых моряками. Здесь мы приводим несколько образчиков таких ареографических карт (рис. 8, 9 и 44).

Нам остается напомнить, что всякая плоская карта изображает выпуклую поверхность шарообразной планеты со значи-

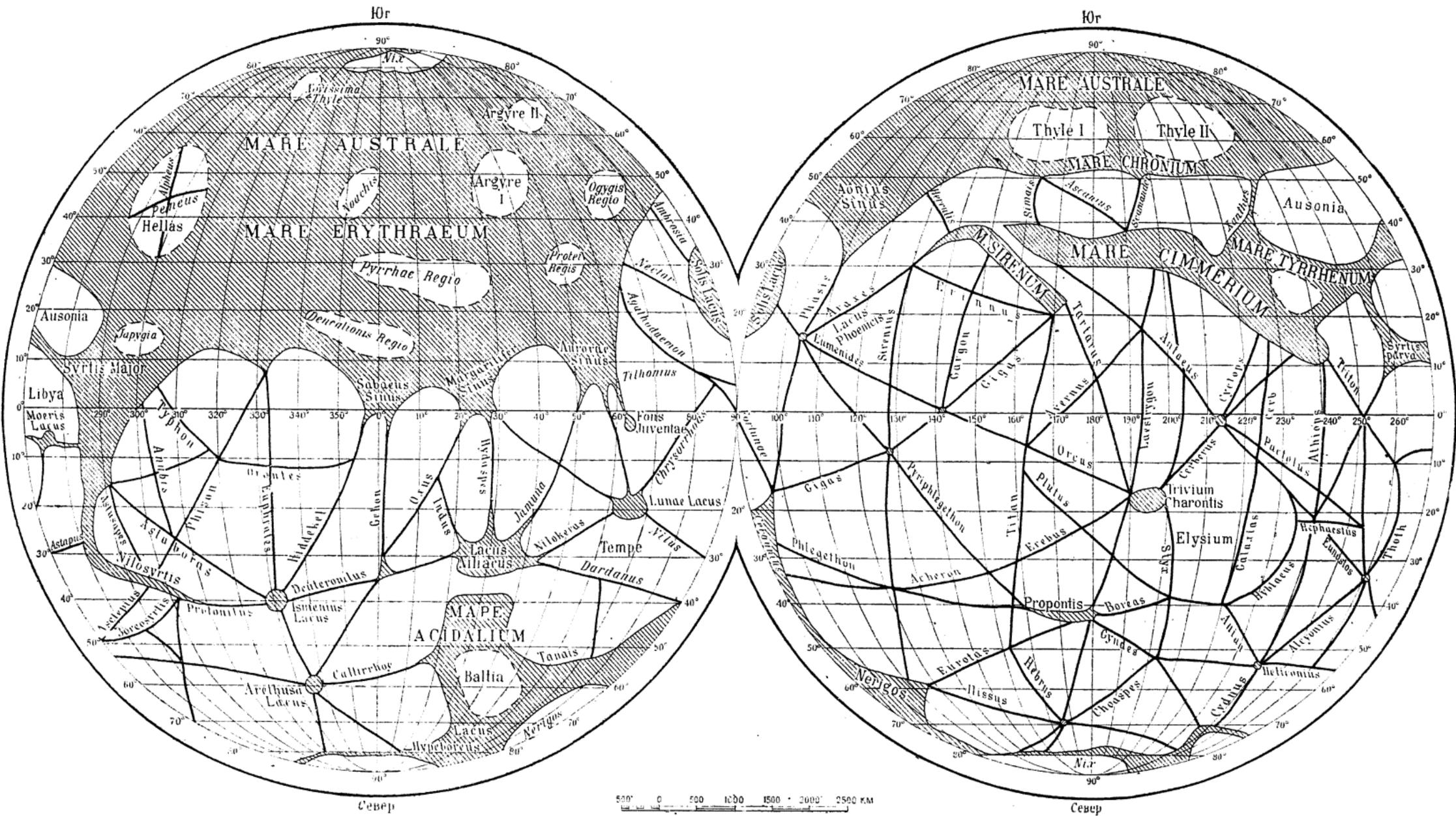


Рис. 8. Карта полушарий Марса.

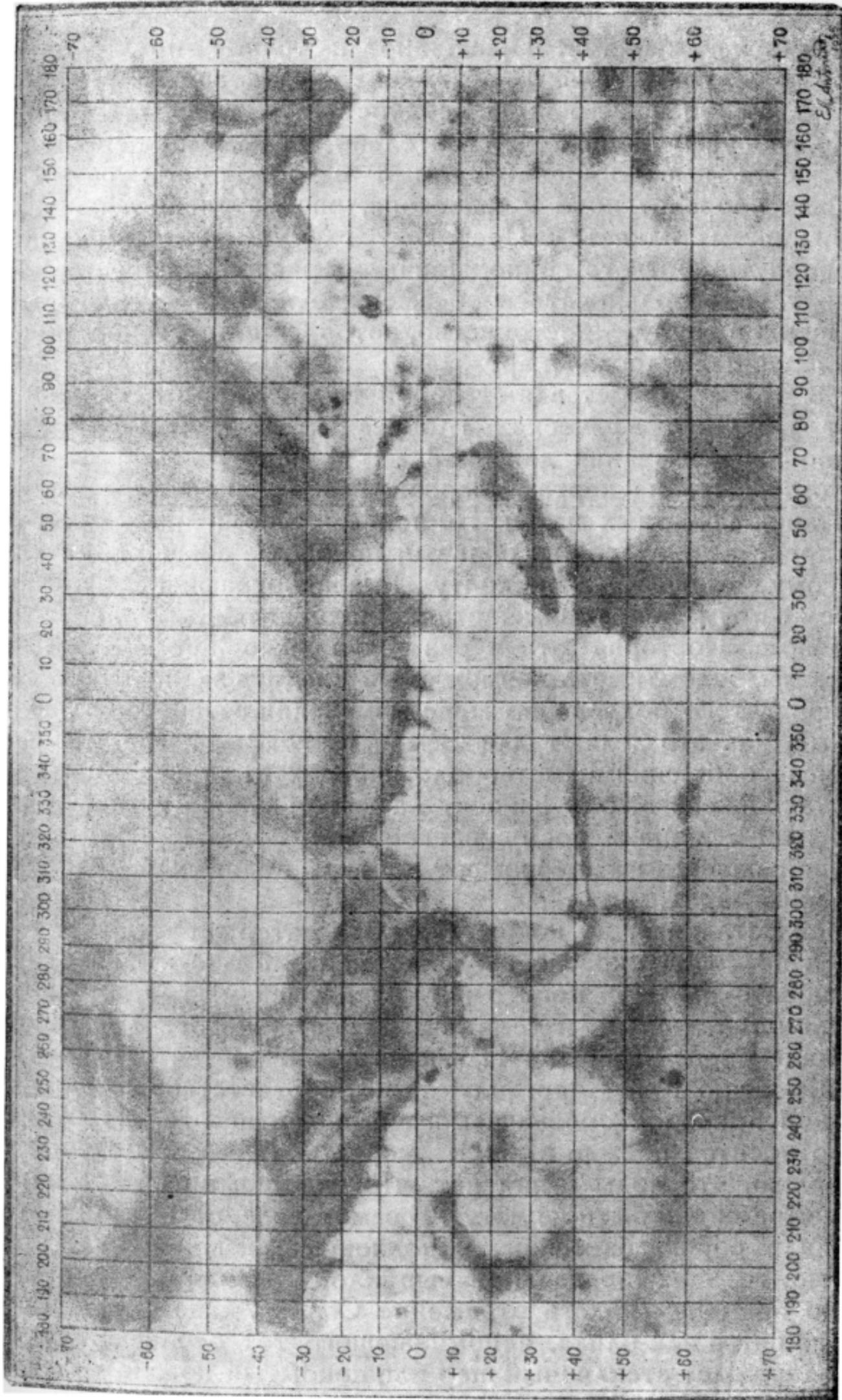


Рис. 9. Карта Марса в проекции Меркатора по наблюдениям Антониади за время с 1909 по 1924 г.

тельными искажениями. Правильное и точное представление о форме и относительных размерах образований на Марсе (как для случая земной поверхности) дает только глобус. Такие глобусы Марса действительно были выпущены в продажу. Они высоко ценятся теми астрономами-любителями, которые проводят ночи у телескопа, рассматривая ландшафты на удаленных планетах. Поскольку глобус можно наклонить и повернуть соответственно наличному расположению планеты, очень удобно сравнивать изображенные на нем детали с тем, что видно в трубу — достоинство, которого естественно лишена самая лучшая плоская карта.

Но что же представляют собой те детали, которые изображают на ареографических глобусах и картах? И как были установлены названия для них?

Во-первых, на картах Марса обычно наносят изменчивые очертания полярных пятен. Не подлежит сомнению, что пятна эти представляют собою области, покрытые снегом или льдом. Поэтому, вычерчивая их контуры на ареографической карте, мы тем самым изображаем часть территории, покрытую снеговым покровом. Повторяя это через правильные промежутки времени, мы будем иметь возможность следить за передвижением границы этого покрова по мере изменения сезона совершенно так же, как это делают для Земли географы, когда, руководствуясь сообщениями метеорологических станций о выпадении или таянии снега, они наносят на карту границу территории, покрытой в данное время снегом, или когда они по данным ледовой разведки вычерчивают контуры ледяных полей в арктических морях.

Вся остальная, не покрытая белым материалом поверхность Марса по своей окраске разделяется на области двух типов: красновато-желтые пространства, называемые *материками* или *континентами*, и темные местности, которым присвоено название *морей* (рис. 5). Названия эти являются чисто условными и отнюдь не претендуют на соответствие с действительной природой обозначаемого ими ландшафта. Это замечание относится прежде всего к „морям“. Не подлежит никакому сомнению, что воды в них нет, что сплошными водными пространствами они быть не могут. В самом деле, если бы они представляли собою бассейны, наполненные какою-нибудь жидкостью, то в их зеркальной выпуклой поверхности мы могли бы по временам видеть отражение Солнца. Оно имело бы вид яркого пятна или блика, напоминающего тот отблеск, который на солнце дает стеклянный шар или покрытый позолотой купол.

Такого блика никто никогда не видел и потому можно с уверенностью утверждать, что области, названные морями, представляют собою сушу. Материки на Марсе — те, конечно, тоже суша. Но поскольку эти красноватые участки не окружены океаном, название „материк“, под которым мы в географии понимаем большую часть суши, отделенную от других водой, к ним тоже может быть применено лишь условно.

Отдельные темные выступы „морей“ Марса получили название *заливов* (по-латыни *sinus*), а небольшие, отдельные темные пятна среди континентов именуется *озерами* (*lacus*). Равным образом светлые прогалины среди темного пространства морей называют *полуостровами*, *островами* и вообще *землями*. Такова общая морфология поверхности Марса. Отдельным пятнам, как светлым так и темным, присвоены собственные имена. На карте полушарий Марса, изображенных на рис. 8, приведены латинские наименования, предложенные Скиапарелли. Они сейчас считаются наиболее употребительными, но не единственными. Так, Грин в 1879 г. опубликовал карту Марса, на которой обозначил материки и моря именами великих астрономов.

Тому, кто не довольствуясь этой книгой, захочет глубже изучить большую и увлекательную проблему Марса и будет читать посвященные этой планете специальные статьи, мы советуем детально изучить приведенные у нас ареографические карты и запомнить названия изображенных на них образований. Для изучающего Марс знать эти названия так же необходимо, как для изучающего географию — названия наших земных океанов и материков.

Рассматривая карту Марса, легко подметить на ней некоторые закономерности. Во-первых, светлые материки занимают на Марсе гораздо большую площадь, чем темные моря. Ловелл оценивает площадь материков в $\frac{5}{6}$ поверхности Марса, так что на долю морей приходится только $\frac{1}{6}$. Далее, моря сосредоточены преимущественно в южном (на карте — верхнем) полушарии планеты, образуя там почти сплошной темный пояс. Они спускаются к северу рядом остроконечных заливов, из которых самым большим и наиболее заметным является *Большой Сырт* (*Syrtis Major*), замеченный и зарисованный еще в XVII столетии (рис. 10). Неоднократно указывалось, что в этом есть какая-то, пока нам непонятная, аналогия с Землей, где настоящие океаны тоже сосредоточены преимущественно в южном полушарии и вдаются рядом заливов и морей к северу.



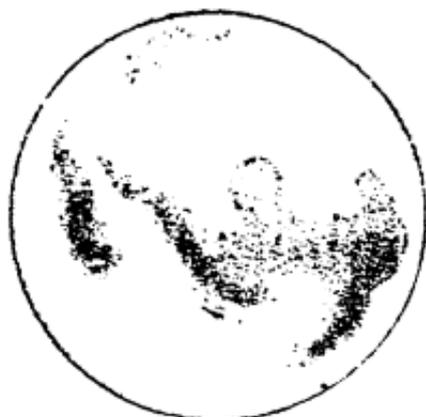
Гюйгенс 1659



Гершель 1777



Шретер 1798



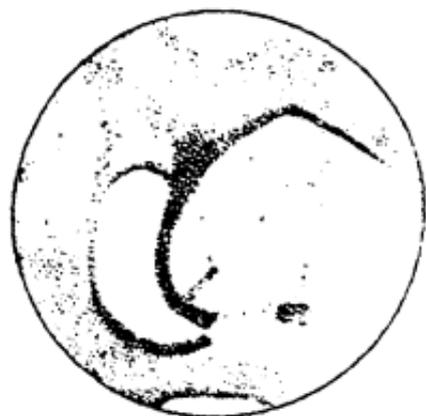
Безз и Медлер 1830



Дугс 1864



Грин 1877



Скиапарелли 1884



Ловелл 1894



1909



1926



1939

Рис. 10. Полушарие Марса с заливом Большой Сырт по наблюдениям четырех столетий.

Последние три рисунка по фотографиям американских обсерваторий.

Спутники

Во время великого противостояния Марса 1877 г. астроном Азаф Холл, наблюдая планету при помощи большого 26-дюймового телескопа Вашингтонской обсерватории, обнаружил подле нее две маленькие звездочки, которые следовали за ней при ее перемещении по небу и появлялись то с одной стороны от нее, то с другой. Не могло быть сомнений в том, что эти светила — спутники или луны, обращающиеся вокруг своей планеты совершенно так же, как наша Луна обращается вокруг Земли. Им дали названия Фобос и Деймос, что значит „страх“ и „трепет“. Так в греческой мифологии звали сыновей и спутников бога Арея.

Спутники Марса — совсем ничтожны. Фобос имеет диаметр всего в 16 км, Деймос — только в 8 км. Это скорее куски камня, размером с большую гору, чем настоящие космические тела.

Орбиты, по которым движутся эти крошечные объекты, и самый характер их движения в настоящее время выяснены очень хорошо. Оба спутника движутся почти точно в плоскости экватора планеты (углы наклона орбит к экватору составляют $1^{\circ}8$ и 1°), причем Фобос отстоит от планеты на 9376 км и делает полный оборот за 7 час. 39 мин., а Деймос находится на расстоянии 23500 км и обходит свой путь за 30 час. 18 мин. Несмотря на такое близкое расстояние спутники эти, если смотреть с поверхности планеты, выглядят совсем крошечными и дают очень нежного света. Для зрителя, расположенного на Марсе, Фобос выглядит втрое меньше, чем Луна для нас, а свет его в 25 раз слабее лунного. Что же касается Деймоса, то он имеет видимый диаметр всего $80''$ и светит в тысячу раз слабее, чем Луна; диск такого светила уже не различим для невооруженного глаза, так что этот спутник представляется обитателям Марса в виде очень яркого звездобразного объекта, напоминающего Венеру на нашем небе. Да, незавидные это Луны!

Любопытной особенностью Фобоса является то, что время его оборота вокруг планеты короче, чем время оборота самого Марса вокруг оси. Поэтому своеобразная маленькая луна восходит на Марсе не на востоке, как все прочие светила, а на западе. Двигаясь навстречу кажущемуся суточному течению светил она все время подвигается к востоку, где и заходит, чтобы снова взойти на западе. Свой удивительный оборот на небе, совершаемый, так сказать, в обратную сторону,

Фобос проделывает в 11 час. 6 мин., так что жители Марса, буде они существуют, имеют возможность любоваться восходом этой своей луны дважды за сутки, а в некоторые дни по 3 раза. Таким своеобразным движением не обладает ни один другой спутник в солнечной системе.

Оборот Деймоса уже больше, чем продолжительность суток, но не намного. Поэтому этот спутник, хотя и восходит, как и полагается на востоке, но движется к западу крайне медленно. Происходит это потому, что по мере того, как Марс поворачивается вокруг оси, спутник идет кругом него в ту же сторону и лишь немного медленнее. Поэтому, раз появившись на небе своде какой-нибудь местности Марса, он долго остается виден и не торопится заходить. Время между двумя его последовательными появлениями составляет 132 часа или 5.5 суток.

Масса Марса

Путь развития всякой планеты, течение различных процессов на ней и специфические особенности ее природы зависят прежде всего от ее массы, количества составляющей эту планету материи. Таким образом, надежное и точное определение массы или, выражаясь фигурально, „взвешивание планеты“, составляет первый и основной шаг в деле изучения ее природы. Что же представляют собою те „весы“, на которых взвешивают планеты?

В отношении тех небесных тел, которые имеют обращающихся вокруг них спутников, определение массы производится просто и точно, потому что движение спутника здесь служит индикатором массы планеты.

В основу расчета здесь кладется третий закон Кеплера, взятый в его точной, а не приближенной форме. Напомним, в чем этот закон состоит. Пусть масса планеты равна M , масса спутника — m , среднее расстояние спутника от планеты — a , время его оборота — T . Тогда величина

$$\frac{a^3}{T^2(M + m)}$$

представляет собою одну из так называемых мировых постоянных: для всякой системы двух тел, будь то две несущиеся далеко от всяких других светил пылинки, или планета со своим спутником, или же, наконец, два громадных солнца, составляющих двойную звезду, она должна будет иметь одно и то же значение.

Это позволяет очень просто вывести массу Марса через массу Земли, хорошо известную из физических экспериментов. А именно, если мы обозначим массы Земли и Марса через M_z и M_m , массы Луны и одного из спутников Марса через m_l и m_c , время оборота Луны и спутника через T_l и T_c , а большие полуоси орбит (средние расстояния) Луны и спутника через a_l и a_c , то на основании III закона Кеплера будем иметь

$$\frac{a_l^3}{(M_z + m_l) T_l^2} = \frac{a_c^3}{(M_m + m_c) T_c^2}.$$

Так как спутники Марса очень малы, то ничтожной массой m_c можно пренебречь; отбросим также и массу Луны m_l , которая хотя и больше, но все же не очень велика; это приведет к такой формуле для определения массы Марса

$$M_m = M_z \frac{a_c^3 T_l^2}{a_l^3 T_c^2}.$$

Подставляя в эту формулу числовые данные и выполняя расчет мы получим следующее число

$$\frac{M_m}{M_z} = 0.109.$$

Таким образом, Марс почти в 10 раз легче, чем Земля. А так как масса Земли составляет 5.97×10^{27} грамм, то масса Марса, выраженная в обычных мерах, будет 6.51×10^{26} г. Если это значение массы разделить на объем планеты, выраженный в кубических сантиметрах, то получится плотность

$$d = 3.96 \text{ г/см}^3.$$

Это число заметно меньше средней плотности Земли, которая, как известно, составляет 5.5, но близко к плотности таких небесных тел, как Луна, для которой $d = 3.3$ и особенно Меркурий, у которого $d = 3.8$.

Сила тяжести на поверхности планеты пропорциональна массе и обратно пропорциональна квадрату радиуса. Это позволяет легко рассчитать, что сила тяжести на Марсе составляет 0.38 от того, что имеем на Земле. Это значит, что предмет, который на Земле весит 1 кг, на Марсе будет весить только 380 г. Правда, мы смогли бы это обнаружить лишь в том

случае, если бы стали взвешивать на пружинных весах. Весы с гирями дали бы тот же вес, что и на Земле, потому что вес каждой гири изменился бы во столько же раз, что и вес груза. Следовательно, на Марсе для равновесия для нашего предмета, на противоположную чашку весов, как и на Земле, пришлось бы положить гирию в 1 кг, вес которой, на Марсе как и вес груза был бы равен 380 г.

Взрослый человек весит в среднем 70 кг. На Марсе его вес уменьшился бы до 27 кг, что примерно равно весу ребенка. Если бы он мог существовать на Марсе, и сила мышц сохранилась бы прежней, то ходить, прыгать, а особенно подниматься по лестнице ему там было бы почти втрое легче, чем на Земле.

Внутреннее строение Марса

Что представляют собою внутренние части шара Марса?

Читателю может показаться, что задавать такой вопрос в настоящее время как будто несвоевременно. Мы не так много знаем и о поверхности Марса, а, с другой стороны, внутреннее строение нашей собственной Земли полно загадок. Все это, конечно, так. Но все же сказать кое-что о внутреннем строении Марса можно и сейчас.

Сжатие всякой планеты у полюсов происходит оттого, что эта планета вращается вокруг своей оси и развивающаяся при этом центробежная сила растягивает экватор планеты. Чем скорее происходит вращение, тем больше сжатие. Недаром в солнечной системе наибольшим сжатием обладают большие планеты: Юпитер, Сатурн и Уран, у которых время оборота вокруг оси меньше 12 часов. Но кроме скорости вращения здесь играет роль также плотность вещества, из которого состоит тело планеты. При равной скорости вращения сжатие будет больше для той планеты, которая сложена из более легких материалов. Это вполне объясняет нам, почему Марс, у которого продолжительность суток такая же, как на Земле, имеет большее сжатие. Это происходит именно оттого, что плотность Марса меньше.

Однако та плотность, которую мы получаем, разделив массу планеты на ее объем — это только средняя плотность. На самом деле планета может состоять из материалов самой различной плотности. Для Земли, например, это так и есть: на поверхности нашей планеты лежат горные породы с плотностью около 2.6, а внутри должно находиться очень плотное

ядро, вероятно состоящее из металлов и имеющее плотность около 11. Таким образом, строение те а планеты может быть весьма различным, а от этого будет зависеть и ее сжатие. Если основная масса планеты сосредоточена в плотном внутреннем ядре, то при данной скорости вращения сжатие будет меньше, чем в том случае, когда та же масса распределена по объему планеты равномерно.

Вопрос этот был исследован математически знаменитым геодезистом XVIII в. Клеро, который получил следующие результаты.

Обозначим через q отношение центробежной силы на экваторе планеты к силе тяжести. Легко убедиться, что это отношение зависит только от времени оборота планеты и от ее плотности. Клеро доказал, что между величиной q и сжатием ε существует определенная зависимость. Именно, если планета имеет идеально однородное строение, т. е. плотность вещества в ней повсюду совершенно одинаковая, то будет иметь место такое соотношение

$$\varepsilon = \frac{5}{4} q.$$

Противоположный случай представляла бы такая воображаемая планета, у которой вся масса была бы сосредоточена в центре. Для такой планеты было бы

$$\varepsilon = \frac{1}{2} q.$$

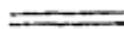
Можно думать, что во всякой реально существующей планете плотность в центре будет больше, чем на поверхности. Поэтому и величина сжатия планет должна лежать между $\frac{1}{2} q$ и $\frac{4}{5} q$, причем по ее величине можно судить о том, насколько сильно сконцентрирована масса в центральном ядре.

Делая подсчеты, получаем такие числа:

	$\frac{\varepsilon}{q}$
Идеально однородное строение	1.25
Марс ($\varepsilon = 1/190$)	1.14
Земля	0.97
Юпитер	0.76
Сатурн	0.62
Вся масса в центре	0.50

Мы видим, что у таких планет, как Юпитер и Сатурн, масса в основном должна быть сконцентрирована в центральных частях планеты, в то время как у Марса мы, напротив, должны ожидать более или менее равномерного распределения массы по его объему. Во всяком случае, если у Марса и есть центральное ядро из плотного материала, то оно не может быть значительно.¹

Известный геофизик Джеффрейс так рисует строение Марса. Основным материалом, из которого построен шар этой планеты, является минерал оливин $(\text{Fe}, \text{Mg})_2 \text{SiO}_4$. Его плотность у поверхности планеты равна тому ее значению, которое приводится в учебниках минералогии—3.3. С глубиной плотность этого вещества медленно растет из-за возрастающего давления и на достаточной глубине делается более 4. В самом центре Марса находится металлическое ядро с плотностью около 8.6, имеющее радиус 1400 км.



¹ Приведенное здесь для Марса значение ϵ/q соответствует сжатию 1/190, найденному теоретическим путем по возмущениям спутников. Если взять $\epsilon = -1/10J$, как оно получается из прямых измерений диска, то это дает для ϵ/q теоретически необъяснимое значение 2.19. Поэтому многие авторы сомневаются в точности микрометрических измерений. Однако те источники систематических погрешностей, которых здесь можно ожидать (иррадиация у полярной шапки, эффект фазы и др.) должны бы действовать в сторону уменьшения сжатия, а не его увеличения.

Глава III

ЛАНДШАФТЫ МАРСА

Субъективное и объективное при изучении цвета и яркости деталей на планетах

Рассуждая о природе тех или иных областей на Марсе, мы в основном руководствуемся их окраской. Так, материки принято считать пустынями вследствие того, что они своим красноватым цветом напоминают ржавую поверхность так называемой коры выветривания в пустынях Земли. Полярные шапки были признаны снегом по их белой окраске. А увлекательная гипотеза о наличии растительности на темной территории „морей“ основана на замечаемых там зеленоватых оттенках.

Однако, оценка яркости и цвета на-глаз — дело не вполне надежное. Хотя в пословице и говорится, что глаз — это алмаз, но все же зрение человека, при всем своем высоком совершенстве, обладает рядом недостатков и, в частности, ему свойственно ошибаться при оценках цвета небольших близко расположенных участков. В этих условиях, например, возникает так называемое явление цветового контраста, столь хорошо изученное физиологами и психологами. Оно порождает различные любопытные обманы зрения. Известно, например, что чисто серая небольшая поверхность на ярком красном фоне кажется зеленоватой, а на зеленом — красноватой. Два мало различных по цвету пучка лучей в известных условиях могут казаться окрашенными совершенно различно. Кому, например, приходилось сравнивать на фотометре свет двух обыкновенных электрических лампочек с неодинаковым накалом, тот знает, как сильно при этом мешает различие в цвете. Глядя в окуляр фотометра, наблюдатель видит круглое поле

зрения, разделенное на две части, например на два полукруга, из которых один освещается первой лампой, а другой — второй.

Достаточно самого незначительного различия в накале этих ламп — и одно поле будет казаться розовым, а другое — зеленым, хотя обе лампы в действительности дают самый обыкновенный желтоватый свет и одна из них лишь немного желтее, чем другая.

В условиях астрономических наблюдений, где в поле зрения телескопа приходится рассматривать сравнительно небольшое и притом крайне беспокойное яркое изображение на темном фоне ночного неба, условия для работы глаза оказываются еще более сложными и трудными. К чему это ведет, показывают те удивительные оттенки, которыми кажутся расцветченными двойные звезды. Такое светило представляет собою две звезды, два солнца, связанные узами взаимного притяжения и потому обращающиеся друг около друга. Обычно одна из звезд, составляющих пару, бывает ярче, другая слабее, температура одной из них выше, другой — ниже. В телескопе оба светила видны рядом. И вот, просматривая один за другим объекты этого типа, наблюдатель с изумлением убеждается, что составляющие их звезды чаще всего бывают разноцветными.

Случаи, когда яркая звезда кажется интенсивно желтой, а менее яркая — голубой, встречаются наиболее часто. Но нередко можно встретить двойные звезды, в которых одна звезда яркооранжевая, а другая синяя, бирюзовая или зеленая. В некоторых случаях приходится иметь дело даже со звездами фиолетового, пурпурного и коричневого цвета.

Основываясь на таких наблюдениях, известный французский популяризатор астрономии Камилл Фламарион описывал в своих увлекательных сочинениях планеты, освещаемые двумя разноцветными солнцами одновременно. Ему и многим другим казалось, что зеленые и лиловые звезды действительно существуют, хотя и встречаются исключительно в двойных системах. На самом же деле оказалось, что звезды в таких системах ничем не отличаются от обыкновенных одиночных звезд неба. Их цвет укладывается в обычный, довольно бедный ряд красок, который, начинаясь с красноватых тонов, через оранжевый и желтый переходит в белый. Удивительная же окраска, которой мы так восхищаемся при рассматривании двойных звезд в телескоп, есть всего-навсего обман зрения, полностью объясняемый явлением цветового контраста, который в данных

условиях наблюдения проявляется в особенно резких формах.

Кстати, говоря о цветовых контрастах на небе, стоит упомянуть об одном любопытном психофизиологическом явлении, связанном с Марсом. В 1920 г. эта планета проходила чрезвычайно близко от яркой звезды Спика, главной звезды в созвездии Девы. Так вот, эта обыкновенная белая звезда (ее спектральный класс В-2), когда красный Марс приблизился к ней настолько близко, что помещался вместе с нею в поле зрения телескопа, стала казаться интенсивно синей, напоминая сапфир. Удивительно, однако, было не это, а то, что и после того, как Марс уводили из поля зрения телескопа или чем-нибудь закрывали, звезда продолжала казаться наблюдателю синей или яркоголубой. Это непонятное явление получило в специальной литературе название *Спика-феномен*.

Какую же цену при наличии подобных явлений имеют описания окраски различных участков на Марсе, которые приводятся в отчетах о наблюдениях этой планеты и которым мы склонны придавать такое большое значение? Очевидно, что они далеко не так надежны, как многим кажется, и потому проверка заключений, получаемых в результате простого рассматривания изображения в телескопе, при помощи более точных объективных методов измерения представляется совершенно необходимой.¹

Столь же ненадежны и наши восприятия яркости. Известно, что лист обыкновенной бумаги на темном фоне выглядит ярким и белым, но если его положить на чистый снег, то он покажется сероватым или желтым. Поэтому невольно закрадывается сомнение, имеем ли мы право на основании одного впечатления, получаемого при разглядывании Марса в телескоп, утверждать, что, например, полярные шапки на нем действительно столь же белы как снег? Очевидно, что такое заключение также требует какой-то проверки при помощи надлежащим образом устроенных приборов.

¹ Как неопределенны цвета на диске Марса показывает, например, следующее наблюдение, выполненное автором этой книги в Ташкенте в 1939 г. При умеренном увеличении (1.0 раз) материка казались интенсивного персиково-розового цвета, моря — синеватыми, а полярные шапки — ярко белыми. Зато при более сильном окуляре ($\times 400$ раз), когда казалось бы видимость должна стать лучше, материка выглядели желтыми, моря — коричневатыми, а полярные шапки имели кремовый оттенок.

Отражение света и как его выражают

Напомним читателю, что, когда мы рассматриваем одинаково освещенные предметы, то они нам кажутся различными по яркости и цвету вследствие того, что освещающие их лучи отражаются ими неодинаково. Те предметы, которые отражают лучи сильнее, выглядят светлыми, те, которые отражают слабее, кажутся темными. Так, снег белый оттого, что он отражает почти все попадающие на него лучи, а мокрый чернозем или уголь черны оттого, что почти все лучи в них поглощаются. Окраска предмета зависит от неодинакового отражения лучей разных цветов. Например, кирпич красен оттого, что красные и желтые лучи он отражает гораздо сильнее, чем синие и фиолетовые. Воздух, напротив, отражает или точнее рассеивает синие и фиолетовые лучи сильнее, чем красные, и потому воздушный океан над нашей головой производит впечатление голубого неба. А если растительность выглядит зеленой, то мы вправе ожидать, что покрывающая ее листва отражает зеленые лучи сильнее, чем всякие другие.

Таким образом, цвет и яркость освещенной Солнцем поверхности зависят от того, сколько каких лучей эта поверхность отражает к нам. И если мы хотим заменить ненадежные описания окраски различных деталей на Марсе точными количественными данными, то нам необходимо научиться измерять отражательную способность на этой планете.

Для некоторого материала способность отражать падающие на него лучи проще всего выражается так называемым *коэффициентом отражения* или *альбедо*. Под этим термином понимается число, которое показывает, какая доля падающих на поверхность лучей отражается этой поверхностью во все стороны. Слово „альбедо“ происходит от латинского прилагательного *albus* — белый и по-русски хорошо может быть передано словом „белизна“. Чем выше альбедо, тем белее, светлее выглядит данная вещь.

Самым светлым будет, очевидно, такой материал, который полностью отражает все падающие на него лучи и ничего не поглощает. Для него альбедо будет равно 1 или 100%. Матовое вещество, обладающее таким отражением, называется абсолютно белым. Таких абсолютно белых веществ в природе не существует, но некоторые материалы поглощают так мало света, что практически их можно считать вполне белыми. Таковы окись магния MgO , сернокислый барий $BaSO_4$, а из веществ, распространенных в природе, — чистый свежий снег.

Наиболее темными будут те предметы, у которых альbedo равно нулю. Очевидно, что такой предмет полностью поглощает все падающие на него лучи и ничего не отражает обратно в пространство, а потому при самом сильном освещении он будет выглядеть совершенно черным. Таких абсолютно черных веществ в природе тоже нет, поскольку самые темные материалы, какими являются черный бархат или рыхлый влажный чернозем, все же отражают 2—3% падающих на них лучей.

В табл. 4 мы приводим значения альbedo для распространенных в природе покровов. Они относятся к свету в той

ТАБЛИЦА 4

Значения альbedo для некоторых материалов (для видимых лучей света)

Название	Альbedo
Окись магния	0.97
Сернокислый барит	0.96
Снег свежий	0.95—1.00
Снег подтаявший	0.8—0.9
Облака	0.8—1.0
Мел	0.8—0.9
Гипс	0.7—0.8
Светлый известняк	0.3—0.5
Гранит серый	0.2—0.4
Песок чистый кварцевый	0.3—0.4
„ желтый	0.2—0.3
„ красный	0.1—0.2
Пахотная земля супесчаная	0.1—0.2
„ „ суглинистая	0.1—0.2
„ „ чернозем	0.02—0.10
Булыжная мостовая	0.15—0.25
Луга зеленые	0.06—0.07
„ желтые (выгоревшие)	0.10—0.15
Посевы зеленые	0.05—0.07
„ желтые (зрелые)	0.15—0.30
„ сжатые (жнивье)	0.10—0.20
Степь сухая	0.10—0.10
Моховое болото	0.05—0.15
Лес хвойный	0.03—0.05
„ лиственный летом	0.04—0.06
„ „ в осеннем уборе	0.10—0.30
„ „ зимой	0.05—0.20
Речной лед	0.3—0.4
Океан	0.03—0.04
Мелкое море прозрачное	0.03—0.10
„ „ мутное	0.05—0.15

форме, в какой его воспринимает глаз человека. Для лучей, зрением не воспринимаемых, как, например, ультрафиолетовых или инфракрасных, альbedo для многих материалов может быть совсем другим.

Всякие суждения о природе различных областей на планетах будут обоснованы только в том случае, если их подтверждает значение альbedo. К каким ошибкам может привести игнорирование этой важнейшей характеристики, показывает следующий пример.

Когда близкая к полнолунию Луна на закате Солнца стоит низко над цепью снеговых гор, то она по яркости и цвету кажется очень похожей на покрытые снегами вершины. На это обстоятельство обратил внимание известный астроном Эвершед, благодаря чему оно получило название *эффекта Эвершеда*. Далее, когда рассматриваешь лунную поверхность в телескоп, то она кажется ослепительно яркой, буквально сверкающей своей чистой белизной. Потому легко сделать вывод, что поверхность нашего спутника покрыта какими-то очень светлыми, сильно отражающими свет материалами. На основании этого немецкий астроном Фаут выдвинул странную теорию, согласно которой все образования, наблюдаемые нами на Луне, состоят из различных сочетаний льда и снега. Последователи Фаута, развивая и расширяя его идеи с большим энтузиазмом, но без должной меры, пришли к заключению, что не только Луна, но и почти все другие планеты покрыты льдом и что вообще лед является одним из основных материалов во вселенной. Так возникла целая ледяная космология. Между тем сама основа, из которой она выросла, оказалась совершенно ложной.

Измерения альbedo показали, что поверхность Луны в среднем отражает только 7% падающих на нее лучей, а самые белые ее части отражают не более 15%. Отражением такого порядка обладают сравнительно темные разновидности земных горных пород. Если бы образец лунных материалов поместить просто на столе, среди обычных предметов, то он казался бы темносерым или слегка коричневатым и уже, конечно, был бы совсем не похож на снег.

Та кажущаяся „белизна“ лунной поверхности, о которой мы говорили выше, получается исключительно из-за специфических условий наблюдения ночного светила. Ночью у нас темно, а гористая поверхность Луны в это время обильно заливается солнечными лучами. Вот этот резкий контраст между ночным мраком на Земле и ярким солнечным освеще-

нием на Луне и создает обманчивое впечатление какой-то снежной белизны всех лунных пейзажей, в то время как в действительности одевающие их покровы имеют довольно мрачный коричневато-серый колорит.

Что же касается эффекта Эвершеда, то, как указал еще знаменитый астроном Рэссель, его причина заключается в действии земной атмосферы. Луну, расположенную низко у горизонта, мы наблюдаем через большую толщу воздуха, ярко освещенного солнечными лучами. Этот воздух дает впечатление яркого светлоголубого фона неба на горизонте. Свет этого неба накладывается на свет Луны и то, что видит наблюдатель, есть сумма света, отраженного от поверхности Луны и рассеяного в нашей земной атмосфере. Такая добавка света неба и делает Луну в этих условиях настолько белой, что ее можно сравнить со снегом, освещенным лучами заходящего Солнца.

В применении к планетам и другим небесным телам понятие альбедо допускает различные варианты. Технически проще всего определяется так называемое *сферическое альбедо*. Значение этого термина заключается в следующем. На полушарие планеты, обращенное к Солнцу, падает определенное количество лучей. Лучи эти встречают выпуклую поверхность планеты под разными углами и по-разному отражаются различно окрашенными ее участками. В результате всего этого освещенная половина шара планеты рассеивает лучи во все стороны. Светом, отраженным всем освещенным полушарием планеты, обуславливается ее общая яркость как звезды, когда мы смотрим на нее с Земли невооруженным глазом.

Двигаясь кругом Солнца, планеты или, по крайней мере, некоторые из них, оказываются для наблюдателя, расположенного на Земле, освещенными различно или, как говорят в астрономии, наблюдаются в различных фазах. Измеряя видимый блеск планеты при всевозможных фазах, можно найти, сколько света отражает планета в каждую сторону отдельно и, далее, сосчитать сколько всего света отражает освещенное полушарие. Так вот, если полное количество отраженного всей планетой света разделить на количество света, на нее упавшего, то и получится дробь, которую называют термином *сферическое альбедо*.

Значения сферического альбедо для планет и спутников приводятся в табл. 5. Просматривая эту таблицу, мы легко замечаем, что крупные члены солнечной системы все являются „светлыми“ и обладают альбедо от 0.5 и выше. Напротив,

мелкие небесные тела, какими прежде всего являются Луна и астероиды, характерны темной окраской, для которой альbedo составляет около 0.1 и ниже. Это, конечно, не случайно. Причина в том, что крупные планеты окружены плотными атмосферами, в которых плавают мощные облачные массы. А всякого рода аэрозоли — облака, туманы — всегда сильно отражают лучи и потому придают планете высокую степень белизны. Напротив, небольшие небесные тела лишены атмосферы, и отражение света на них происходит только у каменной поверхности. Но горные породы в большинстве случаев обладают темной окраской, почему и альbedo небольших небесных тел оказывается низким.

ТАБЛИЦА 5
Значения альbedo для планет

Название	Атмосфера, ее характер	Альbedo	
Меркурий	Отсутствует	0.069	
Венера	Облачная	0.59	
Земля	Наполовину облачная	0.45	
Луна	Отсутствует	0.073	
Марс	Всегда прозрачная	0.154	
Астероиды {	Церера	Отсутствует	0.06
	Паллада	"	0.07
	Юнона	"	0.12
	Веста	"	0.26
Юпитер	Облачная	0.56	
Сатурн	"	0.63	
Уран	"	0.63	
Нептун	"	0.73	

Альbedo Марса составляет 15%, т. е. оно является до некоторой степени промежуточным. Это вполне соответствует как его размерам и массе, так и характеру его атмосферы, хотя и существующей, но весьма разреженной. Подробности по этому вопросу будут изложены в главе IV.

Сферическое или интегральное альbedo, о котором мы сейчас говорили, является, конечно, довольно примитивной характеристикой, поскольку тут оптические свойства целого полушария планеты, нередко представляющего собою пестрое сочетание различных по природе и цвету образований, суммируются и осредняются. Поэтому при детальном исследовании

планеты необходимо перейти к отдельному изучению различных образований на ней. Это требует фотометрического исследования диска, т. е. измерения и сравнения яркости различных деталей, видимых на планете в телескоп. Это трудное и тонкое дело разрабатывалось главным образом трудами отечественных исследователей, о чем подробнее будет сказано в следующих параграфах нашей книги.

Следует иметь в виду, что яркость отдельных участков диска зависит от способности отражать лучи в определенную сторону, именно в направлении на наблюдателя, а не во все стороны, как это имело место для случая сферического альбеда. В этом состоит особенность значений альбеда, получаемых из измерений яркости на диске планеты.¹

Альbedo, отнесенное к свету вообще, т. е. ко всему комплексу лучей, воспринимаемому глазом или фотографической пластинкой, выражает только белизну или яркость материала, но не характеризует его цвет. Различие в окраске освещенного несамосветящегося предмета получается оттого, что лучи разных частей спектра отражаются в неодинаковой степени. Поэтому точную и физически вполне определенную характеристику того качества материала, которая субъективно воспринимается нами как „цвет“, мы сможем получить, если измерим альbedo отдельно для различных участков спектра. Полученный результат можно представить в виде графика, на котором по оси абсцисс нанесены длины волн, характеризующие положение данного вида лучей в спектре, а по оси ординат — соответствующие значения альбеда. Нанесенная на таком графике плавная кривая наглядно показывает изменение альбеда по спектру. Ее ход определяет цвет образца для глаза, но сама по себе она дает гораздо больше, чем этот субъективно воспринимаемый цвет. Дело в том, что каждой кривой хода альбеда по спектру при заданном спектральном составе освещения соответствует только один, вполне определенный цвет. Напротив, один и тот же цвет может

¹ Выражаясь более строго, надо сказать, что из таких измерений получается не значение коэффициента отражения, а так называемый *коэффициент яркости*. Под этим термином в фотометрии понимается отношение яркости рассеивающей свет матовой поверхности к яркости абсолютно белой поверхности, находящейся в тех же условиях освещения и наблюдаемой с того же направления. Для совершенно матовой поверхности коэффициент яркости численно равен коэффициенту отражения, но вообще этого может и не быть. Не вдаваясь здесь в тонкости это о вопросах, мы отсылаем читателя к книгам по фотометрии, где можно найти исчерпывающее изложение относящихся сюда деталей.

быть получен как результат весьма различных кривых спектрального альбеда.

Если цвет, оцененный глазом, может много дать для изучения природы поверхности небесного тела, то еще богаче в этом деле будет изучение спектрального альбеда. Рассматривая все изгибы и извилины кривой изменения альбеда вдоль спектра и сравнивая их с тем, что получается для хорошо известных нам земных материалов, можно делать довольно уверенные заключения о том, чем может и чем не может быть тот или иной участок на поверхности планеты.

Открытия Г. А. Тихова

Первые опыты объективного изучения цветовых оттенков на Марсе принадлежат Г. А. Тихову. Выполненные им наблюдения составили эпоху в науке и послужили отправной точкой для целой серии дальнейших исследований в этом направлении. Работа была поставлена в Пулковке во время великого противостояния Марса 1909 г., причем для фотографирования был использован основной инструмент Пулковской обсерватории — гигантский 30-дюймовый рефрактор. Для того чтобы получать снимки планеты в отдельных узких участках спектра, применялись пластинки, обработанные специальными красителями и этим оцувствленные к таким участкам спектра, как, например, желтый и красный, которые обыкновенными фотографическими пластинками, чувствительными только к синефиолетовой области спектра, не воспринимаются. В то время столь распространенных теперь ортохроматических и панхроматических пластинок в продаже еще не было, а потому сложное дело оцувствления приходилось выполнять самому.

Для того чтобы выделить из спектра возможно более узкий участок, при фотографировании Марса перед пластинкой ставились цветные стекла, называемые светофильтрами. Такое стекло пропускает, как бы отфильтровывает лишь определенный вид лучей, например только красные или только зеленые, и поглощает, задерживает все остальные.

Большой Пулковский рефрактор (рис. 11) — инструмент, предназначенный для наблюдения глазом. Поэтому его громадный объектив рассчитан так, чтобы в фокусе сходились и давали резкое изображение только основные лучи части спектра, видимой для глаза — красные, желтые, зеленые и голубые. Уже фиолетовые лучи, как не имеющие большого значения для зрения, там попадают вне общего фокуса,

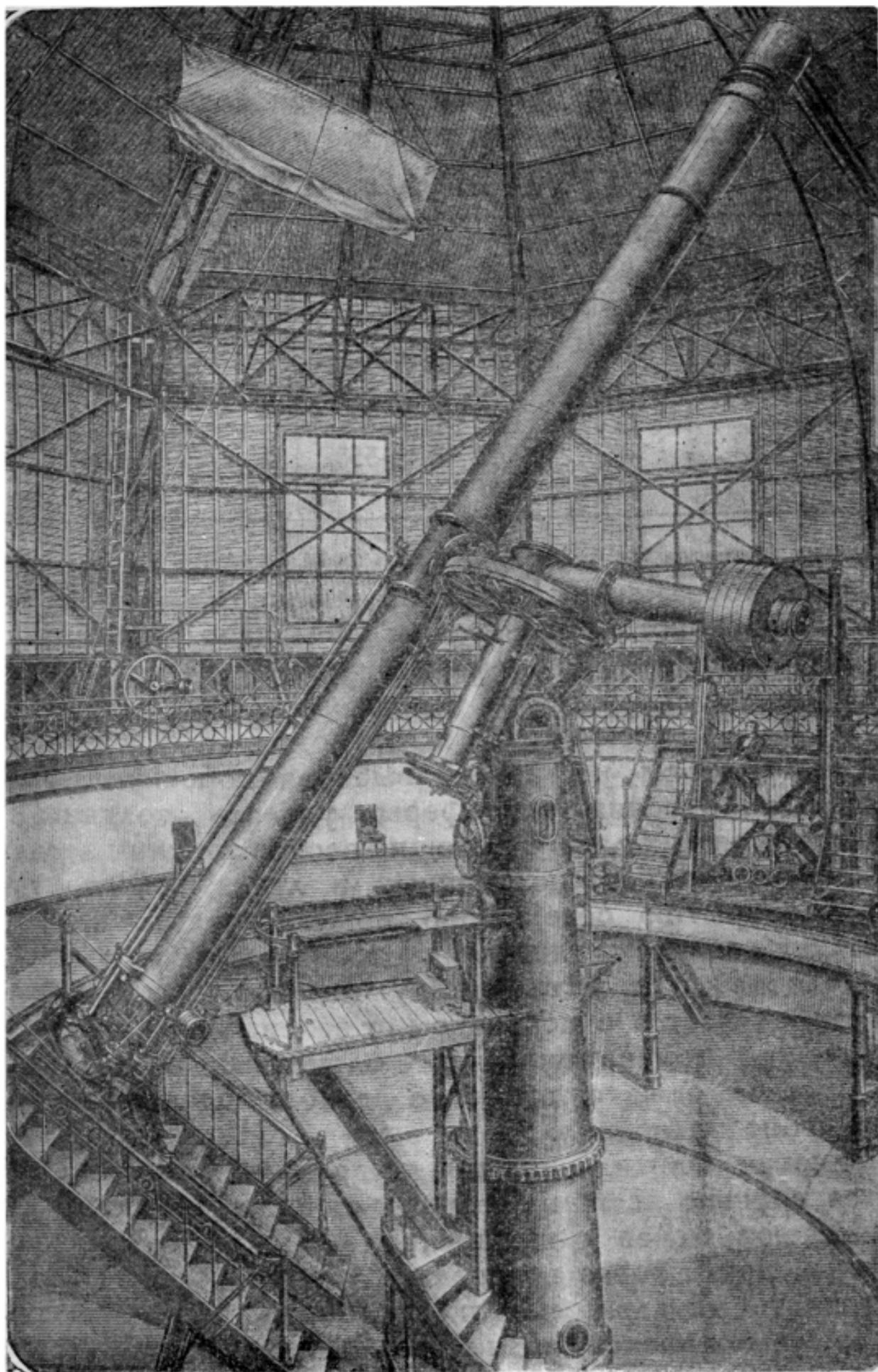


Рис. 11. 30-дюймовый рефрактор Пулковской обсерватории.

а ультрафиолетовые — тем более. Поэтому съемку приходилось ограничивать участками спектра от красного до зеленого включительно. Комбинируя красители с различными светофильтрами Г. А. Тихов мог выделять некоторые виды лучей, приведенные в табл. 6.

ТАБЛИЦА 6

Цвет	Участок спектра, m μ	Краситель
Красный	655—690	Пинадианол
Оранжевый	600—650	”
Желтый	540—620	Ортохром
Зеленый	495—555	Пинавердол

Фотографирование велось прямо в главном фокусе телескопа, где изображение Марса получалось размером около 1½ мм. Непокойствие воздуха и связанное с ним дурное качество изображений, которое всегда затрудняет наблюдения Марса во время великих противостояний, так как планета стоит на небе слишком близко к горизонту, служило большой помехой и тут. Тем не менее, выбирая короткие моменты временного успокоения атмосферы, удалось получить ряд превосходных снимков, изобилующих весьма тонкими деталями.

Сравнение снимков, полученных в лучах разного цвета, привело к открытию совершенно новых, неизвестных ранее явлений. Они сводятся к следующим трем „эффектам Тихова“.

1. Различие в яркости между морями и континентами плавно увеличивается с переходом от зеленых лучей к желтым и красным, так что на снимках, полученных через красное стекло, моря выделяются наиболее резко в виде темных пятен на ярком фоне материков.

2. Полярные шапки, напротив, выделяются наиболее резко и кажутся крупнее всего на зеленых снимках; в желтых лучах они выступают менее отчетливо, в оранжевых — еще хуже, а в красных почти вовсе не видны.

3. Резкость деталей на диске Марса с приближением к краю диска снижается, причем это замывание подробностей наиболее заметно на зеленых снимках и наименее — на красных.

Явления, открытые Тиховым, представляют для физического изучения Марса огромный интерес. Из них прежде всего

следует тот вывод, что материки сильно отражают именно красные лучи и потому их красная окраска представляет собою безусловно реальный факт. Далее, моря представляются наиболее яркими в зеленых лучах, чем подтверждается их зеленоватая или синеватая окраска, замеченная и описанная при визуальных наблюдениях. Уменьшение резкости деталей близ края диска служит одним из доказательств наличия атмосферы на Марсе, и потому этот вопрос мы подробно рассмотрим в следующей главе.

Наиболее интересны и неожиданны выводы, полученные относительно полярных шапок (2-й эффект). При визуальном наблюдении, как мы уже не раз говорили, они кажутся белыми, „как снег“. Но вот на снимках Тихова, полученных в желтых лучах, южное полярное пятно, обращенное к Земле в эпоху наблюдений и потому особенно хорошо видимое, оказалось по яркости примерно таким же, как и материки. На снимках, выполненных в оранжевых лучах, оно получилось уже несколько темнее материков, а на красных снимках — гораздо темнее. Таким образом ясно, что вещество, устилающее поверхность Марса в полярных зонах, в действительности отнюдь не является белым: настоящие белые материалы, а в том числе и снег, во всех участках спектра, воспринимаемых зрением, непременно должны быть предельно светлыми и потому никак не могут оказаться темнее чего-нибудь другого. Таким образом, действительный цвет полярных шапок на Марсе является зеленоватым или голубым.

Дальнейшие работы по фотографированию Марса в разных участках спектра

На протяжении 15 лет между 1909 и 1924 гг. в дело изучения цветовых особенностей Марса не было внесено ничего особенно нового. В 1924 г. опять настала эпоха великого противостояния и внимание астрономов обратилось к изучению соседней с нами планеты.

Пионерские работы Г. А. Тихова были теперь повторены в США на Ликской обсерватории астрономом Райтом. Фотография сделала за 15 лет большие успехи. В частности, были найдены новые виды сенсibilизаторов, при помощи которых удавалось придавать пластинкам чувствительность не только к красным, но и к невидимым для глаз инфракрасным лучам. Кроме того, Райт мог использовать для наблюдений 36-дюймовый Кросслеевский телескоп-рефлектор. Как известно, в таком

инструменте нет хроматической аберрации — недостатка, присущего телескопам-рефракторам, который состоит в том, что прошедшие через объектив инструмента лучи разного цвета дают резкие и отчетливые изображения на разных расстояниях от объектива. Поэтому рефлектор позволяет получать отчетливые снимки в любой области спектра, и Райт мог повторить исследования Тихова на гораздо более широком спектральном интервале.

Прекрасная серия фотографий, полученных Райтом, полностью подтвердила открытия, сделанные Тиховым в 1909 г. и даже показала их в более резкой форме. Например, на снимках, полученных в синих, фиолетовых и ультрафиолетовых лучах разница в яркости между морями и материками снижается настолько, что моря становятся совсем неразличимы. Зато вместо их привычных темных очертаний появляются новые образования, до работ Райта астрономам неизвестные (рис. 12).

Детали на поверхности Марса, открытые Райтом по снимкам, полученным в фиолетовых и ультрафиолетовых лучах, имеют вид неправильных и расплывчатых светлых пятен. Иногда они имеют округлую форму, в других случаях представляются в виде полос или серповидных образований, тянущихся параллельно краю диска. Чаще всего они образуются около терминатора. Яркость их иногда бывает очень большой, почти такой же как и полярных пятен, которые как раз в фиолетовых лучах представляются особенно яркими.

Характерной особенностью всех этих образований является изменчивость и непостоянство. Светлые пятна то образуются, то пропадают, а раз образовавшись, не занимают на планете постоянного положения, но медленно перемещаются по ней. Таким образом, не может быть сомнения в том, что мы имеем здесь перед собою какие-то атмосферные явления, нечто вроде облаков и туманов, то образующихся, то исчезающих опять.

Из других особенностей, которые Райт нашел на своих снимках, следует отметить разницу в облике диска Марса около краев. В красных и инфракрасных лучах с приближением к краю яркость сильно снижается, так что края кажутся гораздо темнее, чем середина. Это и должно быть для матового шара, освещенного извне солнечными лучами. Ведь, чем ближе к краю планеты, находящейся в противостоянии, тем более косо лучи Солнца встречают поверхность шара и, значит, тем слабее они эту поверхность освещают (рис. 18). Но вот на снимках в фиолетовых и ультрафиолетовых лучах этого

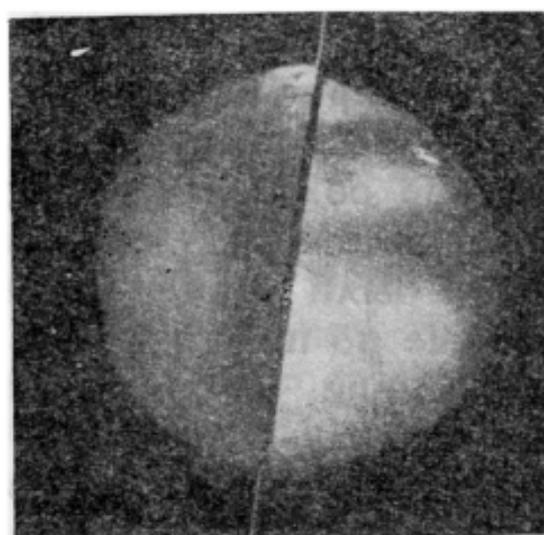
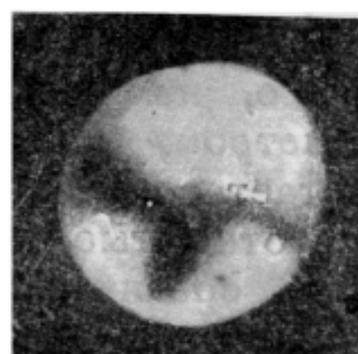
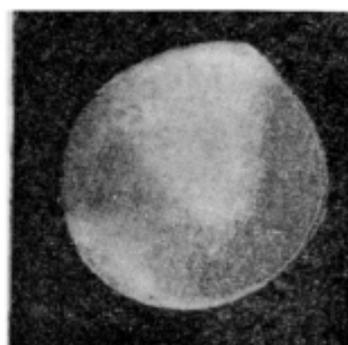


Рис. 12. Снимки Марса, полученные Райтом в разных участках спектра.

Наверху: слева — изображение Марса в фиолетовых лучах, справа — в красных лучах.

Внизу: половинки красного и фиолетового изображений сложены вместе. Видна разница в поперечнике.

Посредине: снимки далекого земного ландшафта в тех же участках спектра. На левом (фиолетовом) снимке даль скрыта атмосферной дымкой, на правом (красном) даль хорошо видна.

не получается. Там яркость диска Марса на краях и в центре получается почти одинаковой.

Далее, измеряя диаметры изображений Марса точным микрометром, Райт нашел, что видимый диаметр планеты возрастает с переходом от красных лучей к фиолетовым.

Все открытые им факты Райт объясняет тем, что Марс окружен сравнительно плотной атмосферой. Эта воздушная оболочка, подобно земной, хорошо пропускает красные лучи, но задерживает и рассеивает синие и фиолетовые. Поэтому на снимках, полученных в красных и инфракрасных лучах, мы беспрепятственно видим самую поверхность Марса и оттого детали этой поверхности — моря, каналы, оазисы — выступают очень отчетливо. Напротив, при фотографировании в фиолетовых лучах мы получаем изображение атмосферы, обволакивающей планету и скрывающей расположенные под ней ландшафты. Насколько такое объяснение является правильным, мы постараемся разобрать в следующей главе.

В 1926 г. было противостояние Марса, хотя и не относящееся к категории великих, но все же весьма удобное и выгодное для наблюдений. Правда, Марс был от Земли несколько дальше, чем в 1924 г. и потому казался мельче, но зато он поднимался на небосводе северных обсерваторий гораздо выше, что представляло большое преимущество, так как обеспечивало хорошие по качеству изображения. Поэтому исследования, поставленные в 1924 г., были продолжены в 1926 г.

Райт снова снимал Марс на своем рефлекторе и еще увеличил число спектральных участков. Полученные фотографии подтвердили прежние результаты и дали кое-что новое. Например, на ультрафиолетовых снимках, кроме светлых облачных образований, были обнаружены также и темные пятна, тоже непостоянные по положению и очертаниям и, следовательно, представляющие собой какие-то атмосферные образования.

Интересные результаты получил Росс. Он снимал Марс на 60-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт Вильсон и также пользовался светофильтрами. На снимках, полученных в синих лучах, в некоторые дни, как и у Райта, детали поверхности не вышли, зато в другие дни на таких снимках можно вполне уверенно рассмотреть очертания основных деталей поверхности — морей и континентов. Значит, условия на Марсе не остаются постоянными, но могут изо дня в день меняться. Если верно, что плохая видимость деталей в синих и фиоле-

товых лучах происходит от вуалирующего действия атмосферы Марса, то необходимо допустить, что эта атмосфера то становится прозрачнее, то мутится от какой-то примеси.

Работы по фотографированию Марса в разных спектральных участках снова были развернуты во время последнего великого противостояния, которое было в 1939 г.

Большая серия снимков была получена на Ташкентской обсерватории, куда для изучения Марса выехала из Ленинграда комплексная экспедиция Пулковской обсерватории и Ленинградского университета. Полученные снимки подтвердили все прежние выводы и заключения. Особенно эффектны были белые пятна Райта, которые появлялись преимущественно в экваториальной зоне планеты на краях диска. В фиолетовых и ультрафиолетовых лучах они иногда были до того яркими, что не уступали полярным шапкам. На некоторых снимках Марс кажется имеющим четыре полярные шапки, симметрично расположенные на концах взаимно перпендикулярных диаметров.

В 1939 г. Райт повторил свои прежние работы с тем же результатом. Обсерватория Ловелла направила специальную экспедицию в Южную Африку, в Бломфонтейн. Там на южной широте 29° Марс проходил почти через зенит и потому при помощи 27-дюймового рефрактора удалось получить особенно удачные снимки, изобилующие самыми тонкими деталями. К сожалению, результаты этой интересной работы до сих пор не опубликованы.

Как определяют альbedo с образований на Марсе

Рассматривая снимки Марса, полученные по указанному Тиховым методу светофильтров, можно сделать много важных и ценных выводов относительно природы этой планеты. Но все же таким путем будет использовано не все, что эти фотографии в себе заключают. Естественным развитием работ Тихова является переход от простого рассматривания снимков, которое может дать только качественные результаты, к их точному измерению. Здесь имеется в виду прежде всего измерение фотометрическое, т. е. такое, которое может дать распределение яркости на диске планеты.

Напомним, что в астрономической фотографии, в отличие от обычной, чаще всего довольствуются получением и изучением негатива снятого объекта. На такой пластинке яркие предметы выходят черными, темные — белыми. Например,

звезды получаются в виде черных точек на белом фоне, а диск планеты получается в виде темного кружка. Чем ярче какой-нибудь участок на поверхности планеты, тем чернее будет его изображение на снимке-негативе. Поэтому по степени почернения изображения можно судить о яркости снятого объекта.

Для того чтобы измерять почернение, на фотографических пластинках существуют специальные приборы, называемые микрофотометрами. Такой аппарат представляет собою сочетание микроскопа и фотометра, так что при его помощи можно измерять черноту очень мелких изображений на снимке.

На рис. 13 дана схема распространенного у нас микрофотометра Гартмана. Измеряемая пластинка P кладется на столик C , по которому передвигается при помощи точного микрометрического винта. Фотография освещается снизу светом лампы L , который падает на косо поставленную пластинку M , сделанную из белого мутного (так называемого молочного) стекла, и уже от этого стекла при помощи системы призм и линз $P_1 - O_3$ подается на измеряемый снимок и на нем ярко освещает очень маленький участок. Этот участок рассматривается при помощи микроскопа, состоящего из обычного микроскопического объектива O_1 и окуляра $У$, между которыми вставлен так называемый фотометрический кубик B . В центре этого кубика устроено небольшое зеркальце, в котором наблюдатель, глядя в окуляр $У$, видит сильно увеличенное изображение маленького кусочка измеряемого негатива. В то же время поле зрения вокруг зеркальца освещается светом той же лампы, рассеянным пластинкой M кверху, далее отраженным призмой P_2 и прошедшим серый фотометрический клин K и второй объектив O_2 . Передвигая клин K , можно в желаемой степени гасить этот свет и находить такое положение, при котором его яркость кажется одинаковой с яркостью участка изучаемого снимка, отраженного в зеркальце кубика. Выполняя такое измерение для разных участков изображения планеты на снимке, можно сравнить их черноту между собой, а также с чернотой других изображений, снятых на той же пластинке, а отсюда получать и отношения их яркости.

Впрочем, чернота изображения на фотографическом негативе зависит не только от яркости снятого предмета. Тут влияет множество всяких других причин, как, например, сорт проявителя, длительность проявления и многое другое. Поэтому для каждого снимка необходимо отдельно изучить, как меняется почернение с яркостью света. Делается это так. После съемки

Марса, но перед проявлением, пластинка вставляется в особый прибор, который на чистом ее участке дает ряд специальных изображений, составляющих так называемую фотометрическую шкалу. Обычно это ряд кружков (рис. 14) последовательно

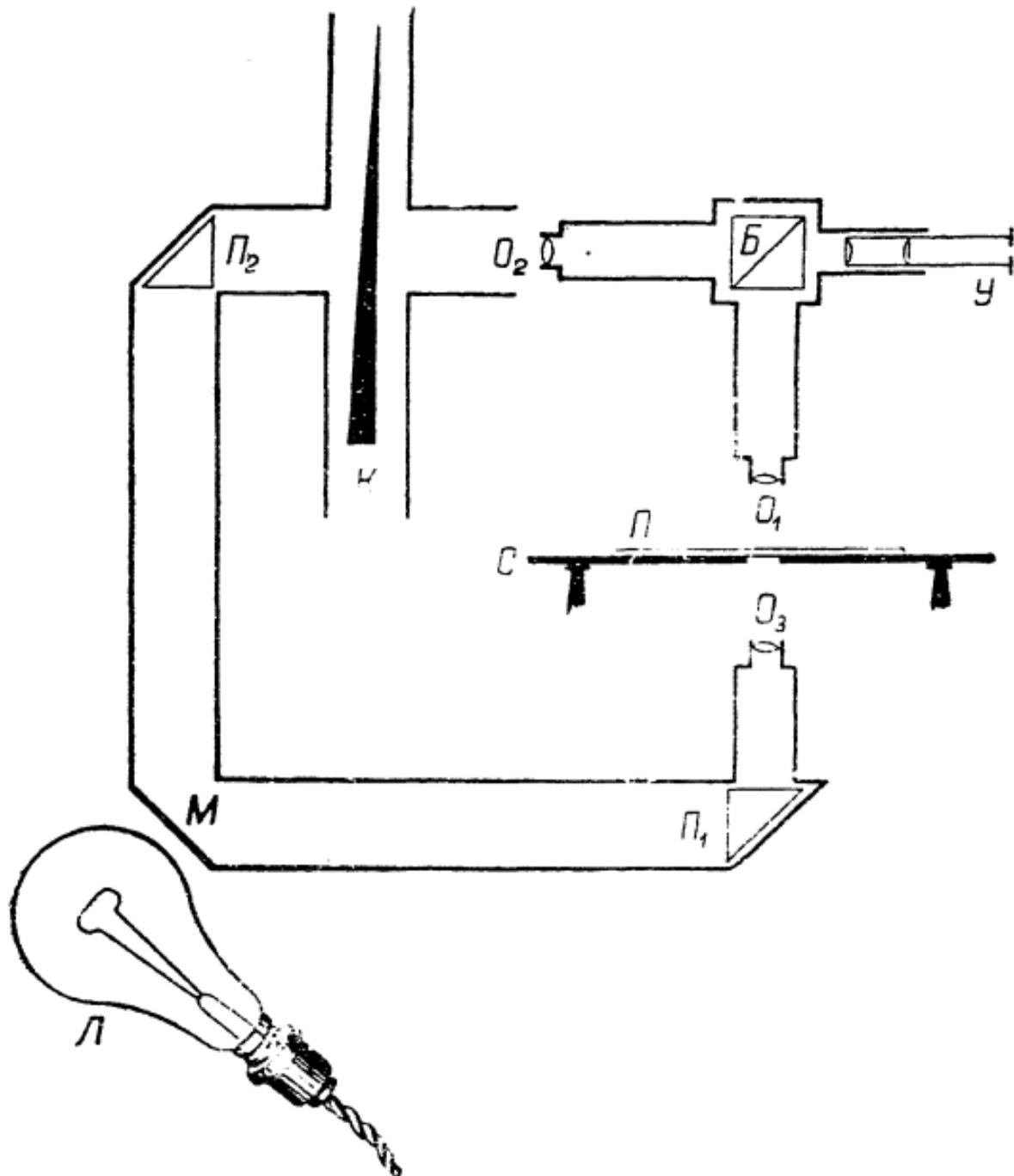


Рис. 13. Схема микрофотометра Гартмана.

возрастающей яркости, причем точно известно, во сколько раз яркость каждого следующего кружка больше, чем у предыдущего. Измерив изображения этих кружков на микрофотометре, можно на клетчатой бумаге начертить кривую, которая представляет изменение черноты с яркостью. А раз есть такая кривая, то при помощи нее можно и по черноте различных

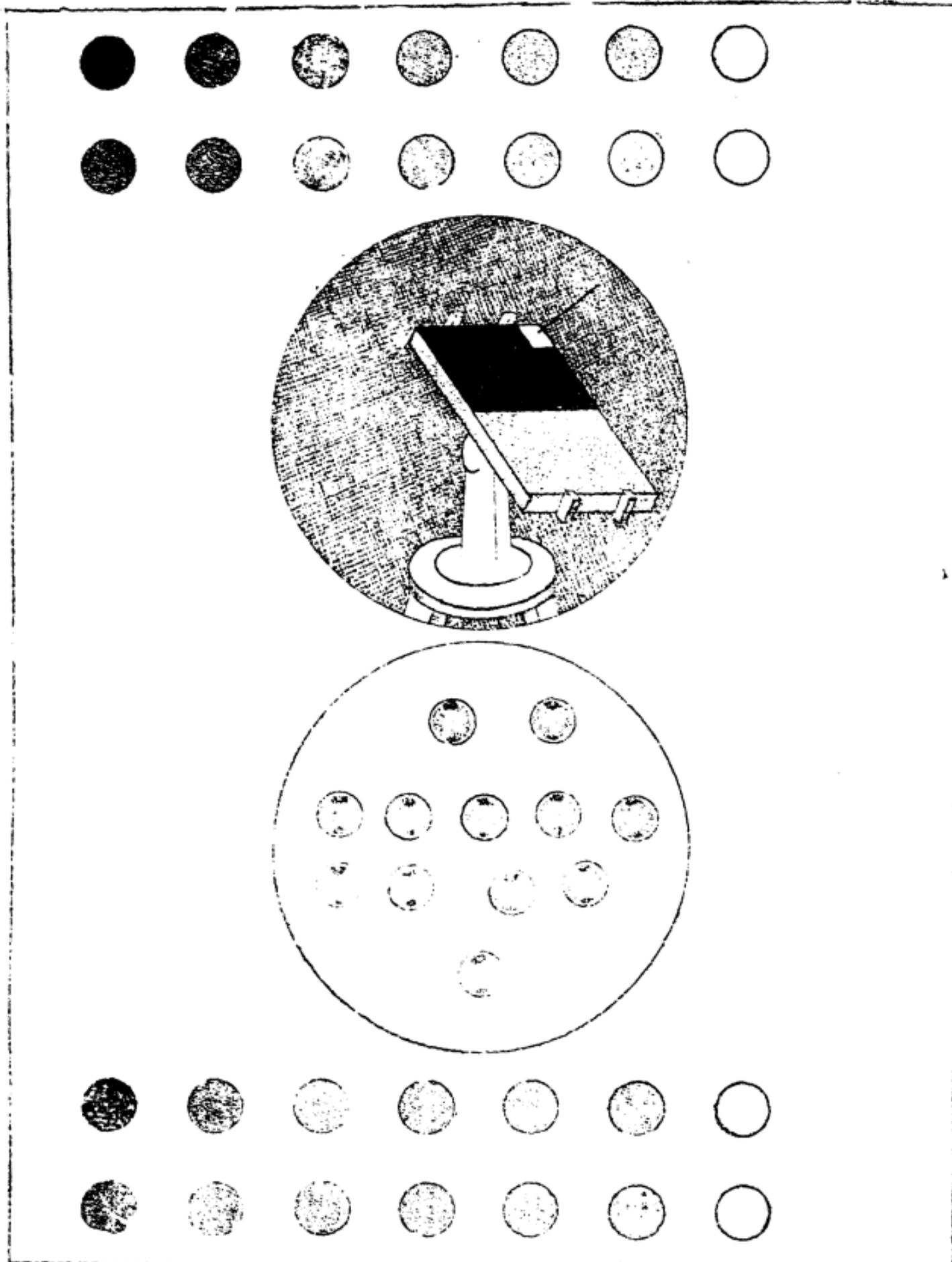


Рис. 14. Фотографический снимок-негатив, предназначенный для определения альbedo деталей на Марсе.

Ряды кружков наверху и внизу — фотометрические шкалы. В большом верхнем круге — снимок белого экрана, освещенного солнечными лучами и установленного на особой подставке. В большом нижнем круге — 12 изображений Марса.

Яркость различных точек этих изображений через шкалу сравнивается с яркостью изображения экрана.

участков изображения Марса находить, во сколько раз одна деталь на планете ярче, чем другая. Это уже ценные данные, пользуясь которыми можно делать различные выводы о природе планеты. Однако это еще не все, что можно и нужно тут получить. В конечном итоге нам надо определить альbedo для разных участков Марса.

Проще всего это было бы сделать так, как это делается для разных мест на поверхности Земли. Для этого на изучаемый участок почвы кладут такой матовый экран, для которого альbedo точно известно, и снимают его вместе с местностью. Действуя, как было рассказано выше, по полученному снимку через фотометрическую шкалу определяют, во сколько раз почва была ярче или темнее экрана. Во столько же раз отличается и альbedo почвы от альbedo экрана. Такие измерения выполнялись в больших масштабах. Например, Е. Л. Кринов, много лет занимавшийся изучением отражательной способности всевозможных земных образований, со своей легкой аппаратурой (это был небольшой полевой спектрограф) побывал в пустынях Средней Азии и в степях черноземной полосы. Он изучал леса севера и скалы горных стран. В результате был собран обильный материал по спектральному альbedo для различных почв, песков, лугов, гор и других видов земного ландшафта, который ниже нам очень пригодится для выяснения того, что представляют собой те или иные пятна на Марсе.

Однако применить такой метод исследования к самому Марсу, понятно, невозможно, потому что на Марс экран не положишь. Поэтому тут пришлось разработать несколько иной способ измерения. В нем тоже применяется экран с известным альbedo. Но только этот экран помещается не на Марсе, а на Земле. Его ставят на какой-нибудь башне, достаточно удаленной от обсерватории и снимают тем же самым телескопом и через тот же самый светофильтр, что и Марс. Экран во время съемки должен быть хорошо освещен солнечными лучами. Потом из обработки снимков находят отношение яркости разных участков на Марсе к яркости белого экрана, установленного на Земле, и отсюда определяют альbedo для Марса. Конечно, при этом приходится вводить в расчет множество всяких поправок, потому что тут влияет разница в силе солнечного света на Земле и на Марсе, неодинаковый угол падения лучей, ослабление света в земной атмосфере и в атмосфере Марса и еще многое другое. Описанный способ определения альbedo разных образований на планетах был

разработан группой сотрудников Ленинградского университета под руководством В. В. Шаронова.

На рис. 15 в качестве примера даны кривые распределения яркости по диску Марса в разных участках спектра, полу-

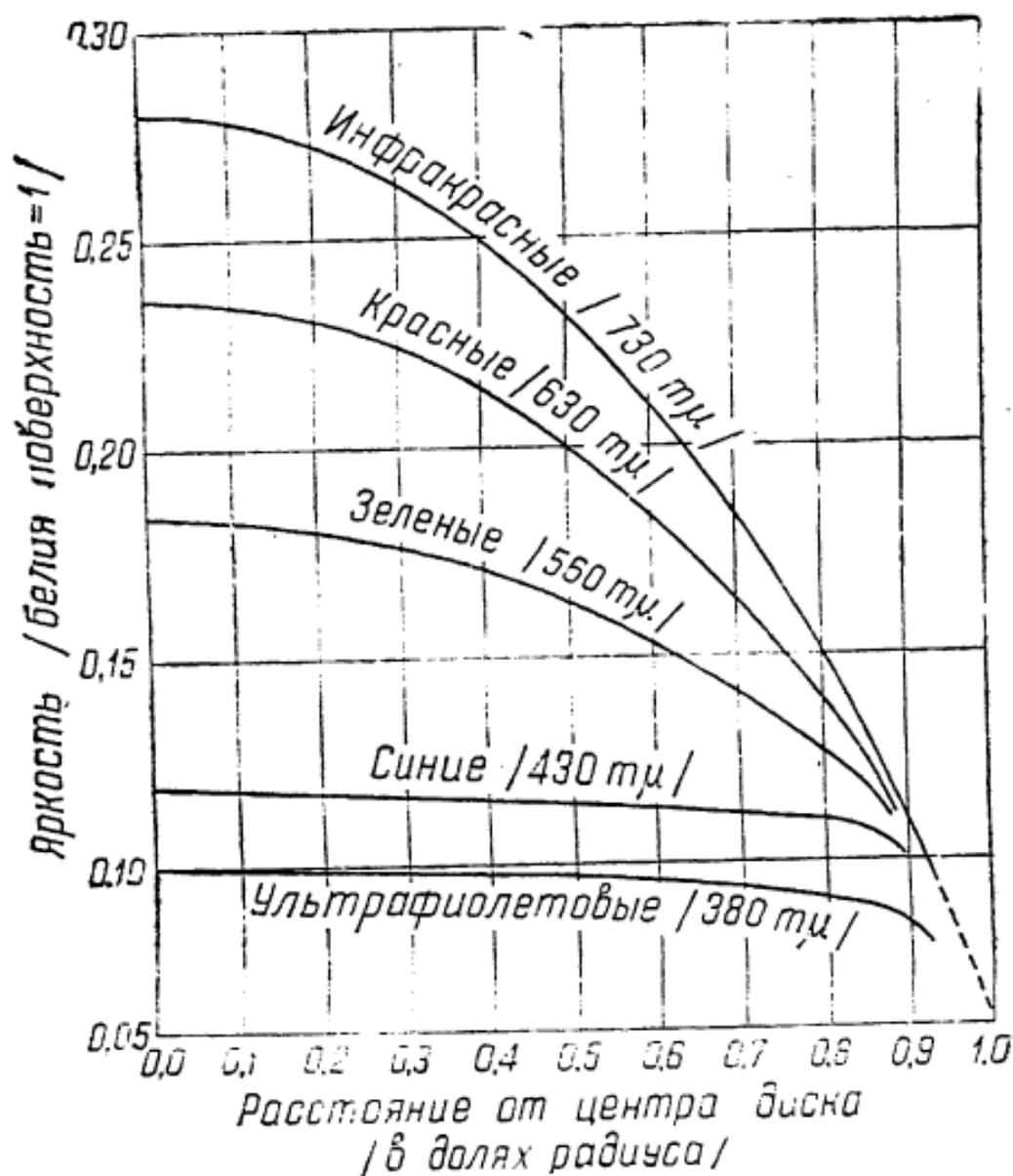


Рис. 15. Распределение яркости по диску Марса в лучах различных участков спектра в 1939 г.

Измерения выполнены для материков. За единицу принята яркость абсолютно белого экрана, расположенного на том расстоянии от Солнца, на котором находится Марс.

ченные по такому способу в 1939 г. За единицу тут принята яркость экрана, полностью отражающего все падающие на него лучи (такой экран называется абсолютно белым, его альbedo равно единице) и поставленного перпендикулярно к солнечным лучам на том расстоянии от Солнца, на котором в момент наблюдения находился Марс. Выводы, о которых будет говорить в следующих параграфах, будут в значительной мере основаны на изучении этих кривых.

Природа материков

Кому случалось лететь на аэроплане над степями Средней Азии, тому наверное запомнился тот своеобразный колорит, который имеет эта сухая и выжженная Солнцем земля. В отличие от изумрудной зелени лесов и лугов, устилающих летом ландшафт северной зоны СССР и от тех сероватых и бледно-желтых, грязноватых тонов, которое принимает этот ландшафт поздней осенью и ранней весной, пустыня ласкает взор зрителя теплыми оранжевыми и красноватыми тонами. Золотистые пески на ней сменяются рыжими глинами и пространствами, где разрушающиеся от ветра и зноя песчаники окрашены в красные и оранжевые тона. И этот цвет красноватой ржавчины мы встречаем повсюду на Земле, где только ландшафт имеет характер сухой безводной пустыни. Недаром одна из главных пустынь Туркмении называется Кызыл-кум, что значит „красные пески“, а одна из известнейших пустынь Северной Америки — Painted desert — „цветная пустыня“. Не зря жители южных побережий Австралии называют горячие северные ветры „кирпичниками“: пыль, которую выносят такие ветры из внутренних пустынных частей этого далекого материка, красна, как толченый кирпич.

Так обстоит дело на Земле теперь, но также было и в давно минувшие геологические эпохи. Кому не знакомы те красные обрывы и утесы, которые так живописно выглядят из зелени, когда едешь на пароходе по одной из рек северо-востока — по Каме, Вятке или Северной Двине? Геолог объяснит нам, что эти мощные пласты красных и розовых песчаников типичны и характерны для отложений так называемого пермского периода. В ту далекую от нас эпоху значительная область Европейской части СССР, теперь столь влажная и болотистая, представляла собою сухую и жаркую пустыню, где ландшафт был красен и желт совершенно так же, как это теперь мы видим где-нибудь в Сахаре. Так что те кирпичного цвета пласты, которые ныне выступают по береговым обрывам наших рек — это не что иное, как ископаемая пустыня, сохранившая на протяжении сотен миллионов лет свой характерный красный цвет.

Мы назвали эту окраску пустынного ландшафта „ржавой“. И геохимик скажет нам, что это слово тут вполне уместно, что оно не только образное словцо, но и довольно точное выражение химической природы веществ, обуславливающих именно такой цвет ландшафта. Потому что красноватая окраска

в данном случае действительно получается от водных окислов железа, близких к тем, которые образуются от сырости на железных предметах и которые мы в обыденной жизни называем словом „ржавчина“. Физико-географические условия пустынь, столь богатых солнечным светом и теплом и вместе с тем столь бедных влагой, таковы, что именно там накапливаются эти красноватые, рыжие железистые соединения.

Континенты Марса тоже красны и желты, им свойственна та же самая рыжая окраска, которую мы видим в пустынях Земли. Поэтому естественно возникает мысль, что этот характерный цвет тоже обусловлен ржавчиной, водными окислами железа, и что самая местность на Марсе, имеющая такую расцветку, представляет собою сухую, крайне бедную влагой пустыню.

Такой взгляд на природу континентов Марса в астрономии теперь разделяется всеми. Но попробуем проверить его с точки зрения фотометрии и колориметрии.

Материки покрывают примерно $\frac{5}{6}$ поверхности Марса, а при некоторых положениях планеты занимают на ее диске и большую часть его площади. Поэтому не будет большой ошибкой, если мы для начала станем изучать общий свет Марса как светила, и полученные на основании такого исследования данные будем считать относящимися именно к материкам.

В 1939 г. астроном Л. Н. Радлова сравнила альбедо и цвет Марса с оптическими особенностями разных видов песков, глин и горных пород. Цвет она получала в виде так называемого *показателя цвета*, обычно применяемого в астрофизике для выражения окраски звезд и других светил. Оказалось, что по своим оптическим особенностям Марс более всего похож на красные пески пустынь:

	Марс	Песок из пустыни Кзыл-кум
Альбедо	0.21	0.21
Показатель цвета	2.06	2.04

Такой же результат получил в 1935 г. Е. Л. Кринов, который сравнивал спектр света Марса со спектром солнечных лучей, отраженных от разных земных образцов. Для примера на рис. 16 приводится сопоставление кривой спектральной отражательной способности Марса и рыжего песчаника, характерного для пустынных ландшафтов Земли.

Более детальные исследования оптических свойств материков Марса мы находим в работах Н. П. Барабашева, кото-

рый, изучая микрофотометрически снимки Марса, полученные в разных участках спектра, получил для материков такие значения альbedo

Участок спектра:	красный	желтый	синий
Длина волны (м μ)	640	563	461
Противостояние 1933 г.	0.153	0.133	0.102
” 1939 г.	0.150	—	0.100

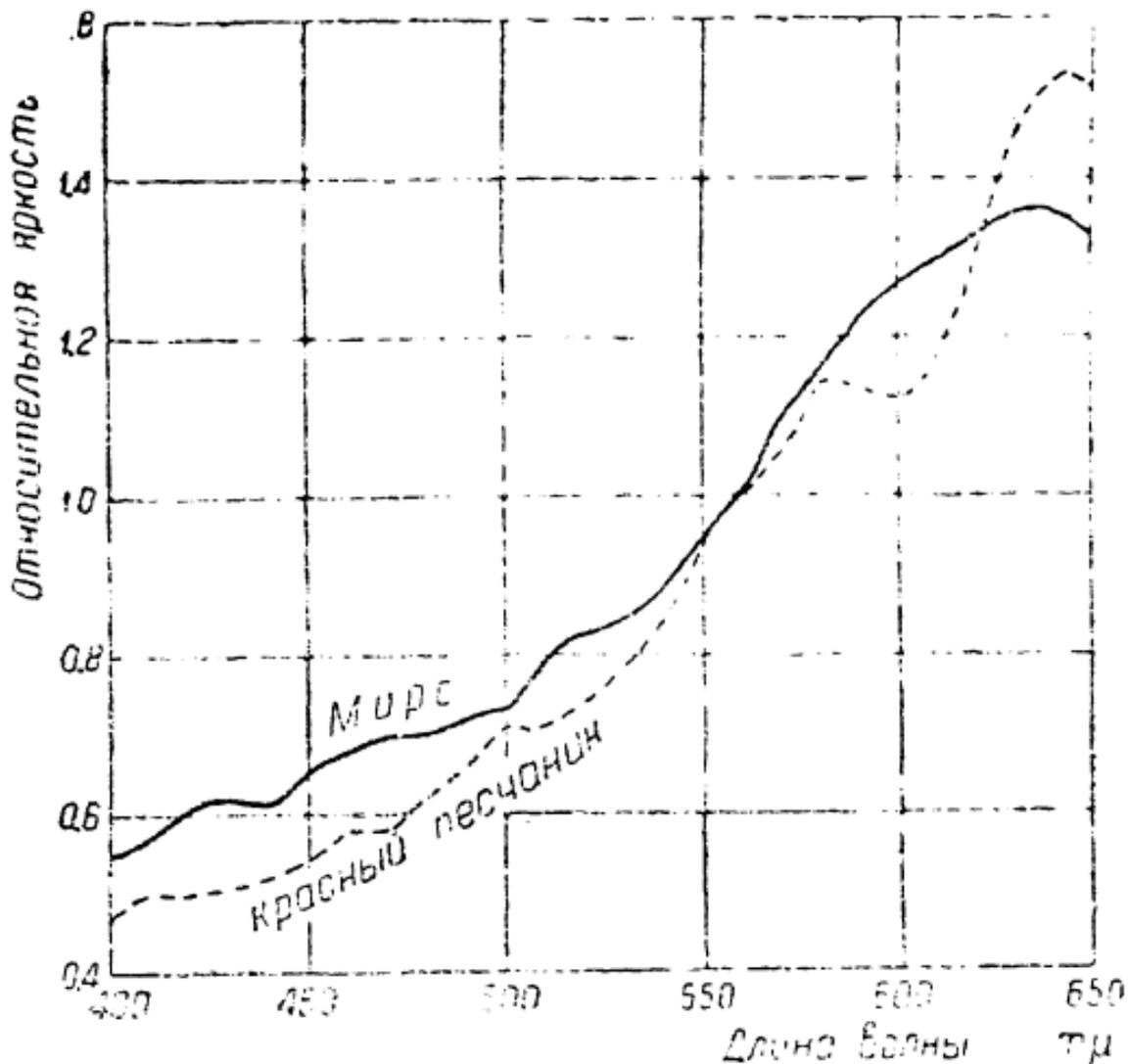


Рис. 16. Распределение энергии в спектре солнечных лучей, отраженных поверхностью Марса и красным песчаником по наблюдениям Кринова в 1935 г.

Более подробные измерения того же рода были выполнены в 1939 г. экспедицией Ленинградского университета в Ташкенте. Н. Н. Сытинская вывела из них величины спектрального альbedo, приведенные в табл. 7.

Для сравнения справа приведены значения альbedo для красных разновидностей природного ландшафта, как их получил Е. Л. Кринов. На рис. 17 эти же данные представлены в гра-

ТАБЛИЦА 7

Участок спектра	Длина волны м μ	Альбеде			
		Материки Марса	Образца песков пустынь		
			I	II	III
Ультрафиолетовый	380	0.064	0.12	0.07	0.08
Фиолетовый	430	0.103	0.15	0.11	0.11
Зеленый	560	0.179	0.24	0.21	0.21
Красный	630	0.235	0.26	0.24	0.23
Инфракрасный	730	0.277	0.33	0.30	0.20

фической форме. Мы видим, что кривая, изображающая изменение альбеде по спектру, для материков Марса получается именно того самого типа, который Кринов нашел для песков, глин и песчаников наших среднеазиатских пустынь. Таким образом, мы получаем новое подтверждение того, что материки Марса — это пустыни.

Фотометрические наблюдения дают еще одно важное указание. Когда мы смотрим на Марс с Земли во время противостояния, то в центре диска солнечные лучи падают на поверхность планеты отвесно. Чем ближе к краю диска, тем более косым становится падение лучей, т. е. тем больше угол, под которым лучи встречают выпуклую поверхность планеты (рис. 18). Но из физики известно, что сила освещения становится тем слабее, чем более косо падают лучи. Соответствующий закон называется *законом косинуса*, потому что освещение E меняется пропорционально косинусу угла i падения лучей на поверхность

$$E = E_0 \cos i,$$

где E_0 — освещенность, которая получается при отвесном падении лучей (при $i = 0$ будет $\cos i = 1$ и $E = E_0$). Поэтому следует ожидать, что яркость диска Марса (если ее соответствующим пересчетом освободить от эффекта атмосферы) будет плавно уменьшаться к краям, следуя этому закону косинуса. Правда, так получится только в том случае, если поверхность континентов Марса является, во-первых, совершенно ровной и гладкой, а во-вторых, матовой, т. е. не дающей отблеска.

Если же этого нет, если, например, вещество, устилающее почву на Марсе, будет не матовым, а блестящим, глянцевым,

если оно, допустим, зеркалит, как лед или как мокрое шоссе, то яркость будет снижаться к краю диска быстрее, чем это следует по закону косинуса. Потому что в этом случае очень

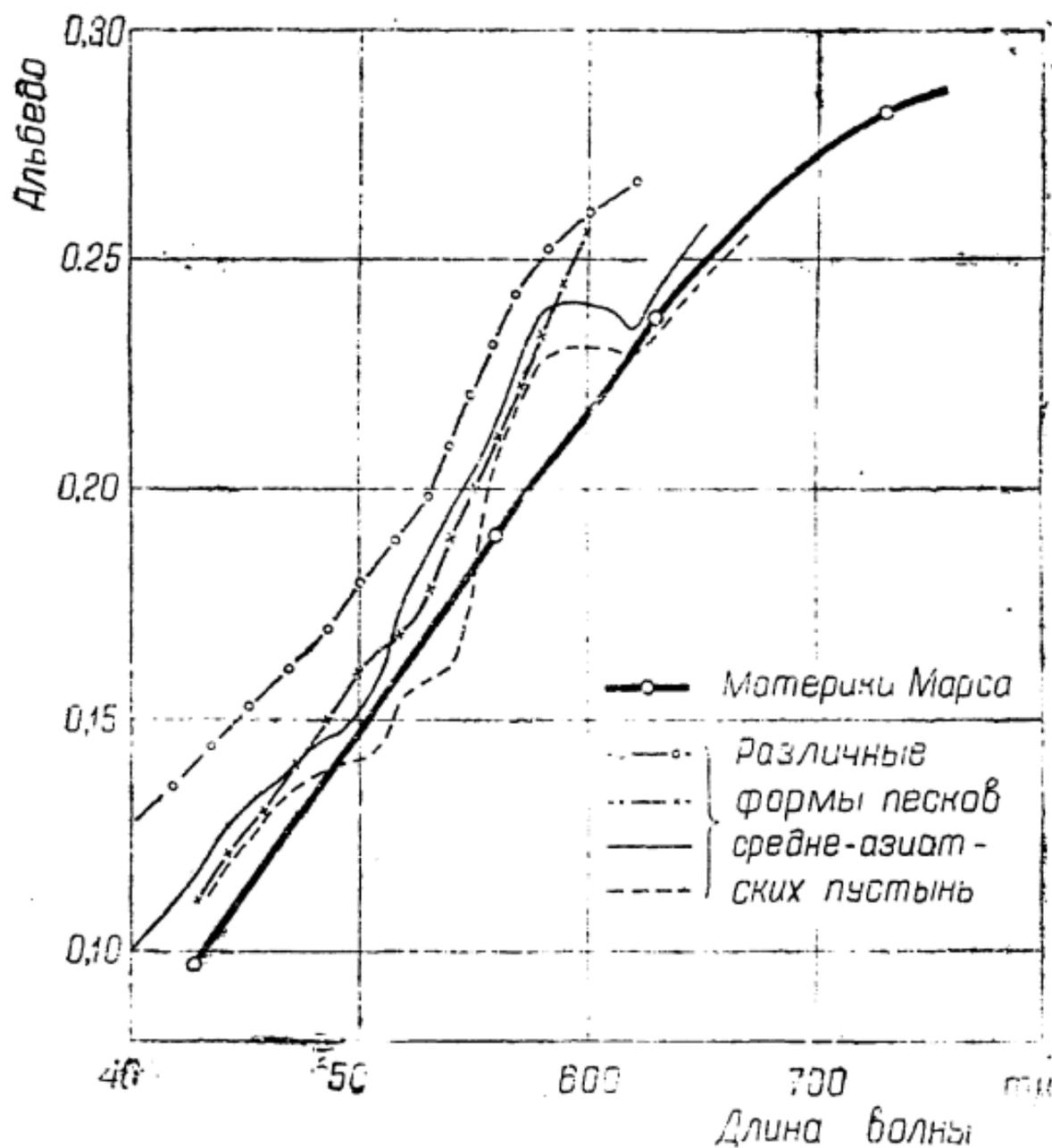


Рис. 17. Ход по спектру альбедо материков Марса (по Сытинской).

Для сравнения приводятся кривые спектрального альбедо некоторых образцов песков из пустынь Средней Азии (по Кринову).

много света отбрасывается в направлении зеркального отражения и уходит на образование тех светлых бликов, которые мы видим на льду или на мокрой дороге в солнечную погоду под Солнцем.

Обратное получается, если поверхность планеты изрытая и неровная, если на ней возвышается множество разной формы выступов и пупырышков или если она сплошь покрыта глубо-

кими трещинами и дырками. В этом случае, напротив, падение яркости к краям получается медленным, а иногда его и совсем не бывает.

Возьмем для примера Луну. Когда смотришь на ее бледный полный лик, то он кажется плоской тарелкой, диском. Это обманчивое впечатление получается оттого, что края лунного диска имеют точно такую же яркость, что и середина, — явление впервые указанное и изученное Н. П. Барабашевым.

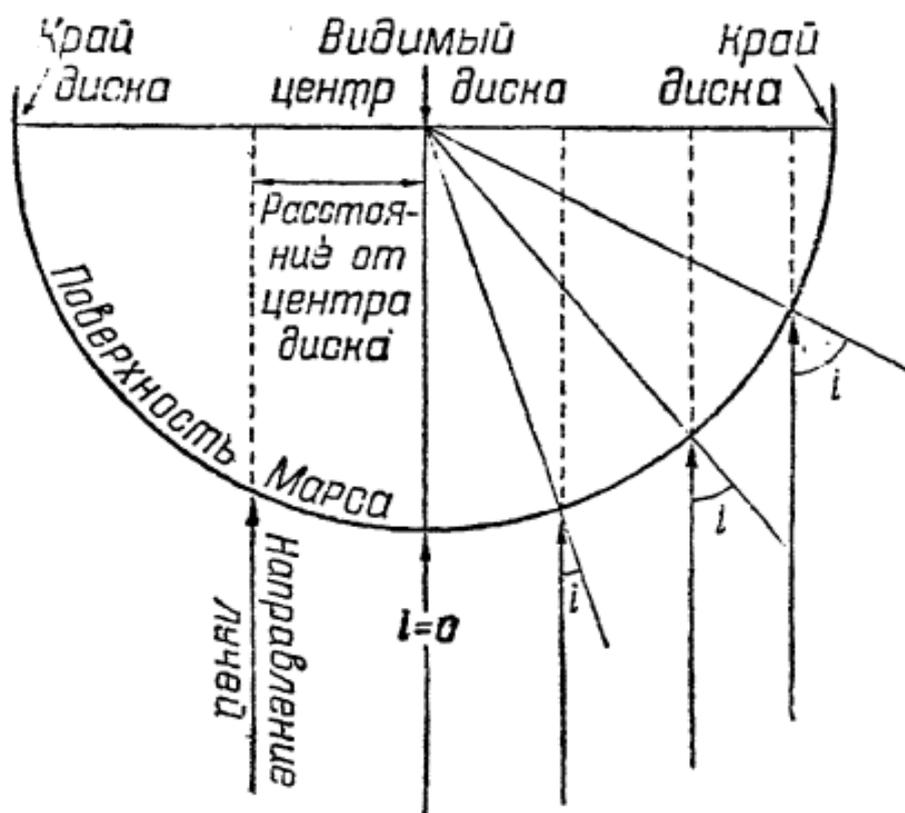


Рис. 18.

Угол i падения солнечных лучей на выпуклую поверхность планеты, находящейся в противостоянии, тем больше, чем ближе к краю видимого с Земли диска.

Таким образом, то привычное оттенение у края, которое нам показывает форму предмета, когда мы смотрим, например, на гипсовый шар или на резиновый мяч, в случае Луны отсутствует. Луна кажется точно такой, каким выглядел бы плоский круг. Это происходит оттого, что каменная поверхность спутника Земли очень неровна и изрыта. Кроме тех гор и кратеров, которые мы на ней видим при помощи телескопа, она повсюду усеяна невидимыми нам мелкими неровностями, может быть горами или трещинами или же засыпана слоем щебня.

В случае Марса ничего подобного нет. И при прямом рассматривании в телескоп и при изучении фотографических

снимков мы ясно видим, что края диска заметно темнее, чем середина. Соответствует ли это потемнение закону косинуса? Барабашев находит, что да, Сытинская же получает незначительное отклонение в сторону глянцеvitости.

Как бы то ни было, но изучение распределения яркости на диске Марса с несомненностью доказывает, что поверхность материков является ровной и гладкой. Там нет ни холмов, ни дюн, ни впадин, нет даже таких мелких неровностей, какие представляет нам булыжная мостовая или вскопанная в поле земля. У нас такой степенью гладкости обладают обширные глинистые пространства так называемых такыров, являющихся характерной разновидностью пустынных ландшафтов.

Итак, континенты Марса представляют собою унылую однообразную пустыню, где на тысячи километров тянется гладкая ровная поверхность ржаво-красных глин или песков.

Сезонные изменения полярных пятен

Едва ли не самым любопытным образованием на поверхности Марса являются полярные пятна. Это — наиболее заметная и легче всего наблюдаемая подробность диска планеты. Неудивительно, что уже Маральди в 1704 г. дал вполне отчетливые их зарисовки, одну из которых мы здесь и воспроизводим (рис. 19). Впрочем, видели их гораздо раньше, вероятно уже в середине XVII столетия. В 1781 г. Вильям Гершель открыл те замечательные сезонные изменения этих пятен, которые с тех пор неустанно наблюдают при каждом противостоянии.

Когда на данном полюсе Марса зима подходит к концу, то белая область достигает своих максимальных размеров, покрывая поверхность планеты от полюса до параллели 55° , иногда даже до 50° (что у нас соответствует широте Киева, Харькова, Хабаровска). Со времени равноденствия, а иногда несколько позже, белое вещество начинает разрушаться. По краям пятна появляются зазубины и впадины, понемногу образуются темные прогалины, которые отделяют от шапки белые участки, вскоре исчезающие. Так постепенно край пятна отступает к полюсу, освобождая скрытую белым веществом темную поверхность планеты. Скорость перемещения границы белой области бывает очень большой и может достигать до 100 км в день, но обычно процесс разрушения полярной шапки протекает не столь быстро. Так, в 1862 г. широта границы пятна за 90 дней возросла от 80° до 87° . В 1847 г. край пятна за 43 дня подвинулся к полюсу почти на 400 км. Ко времени

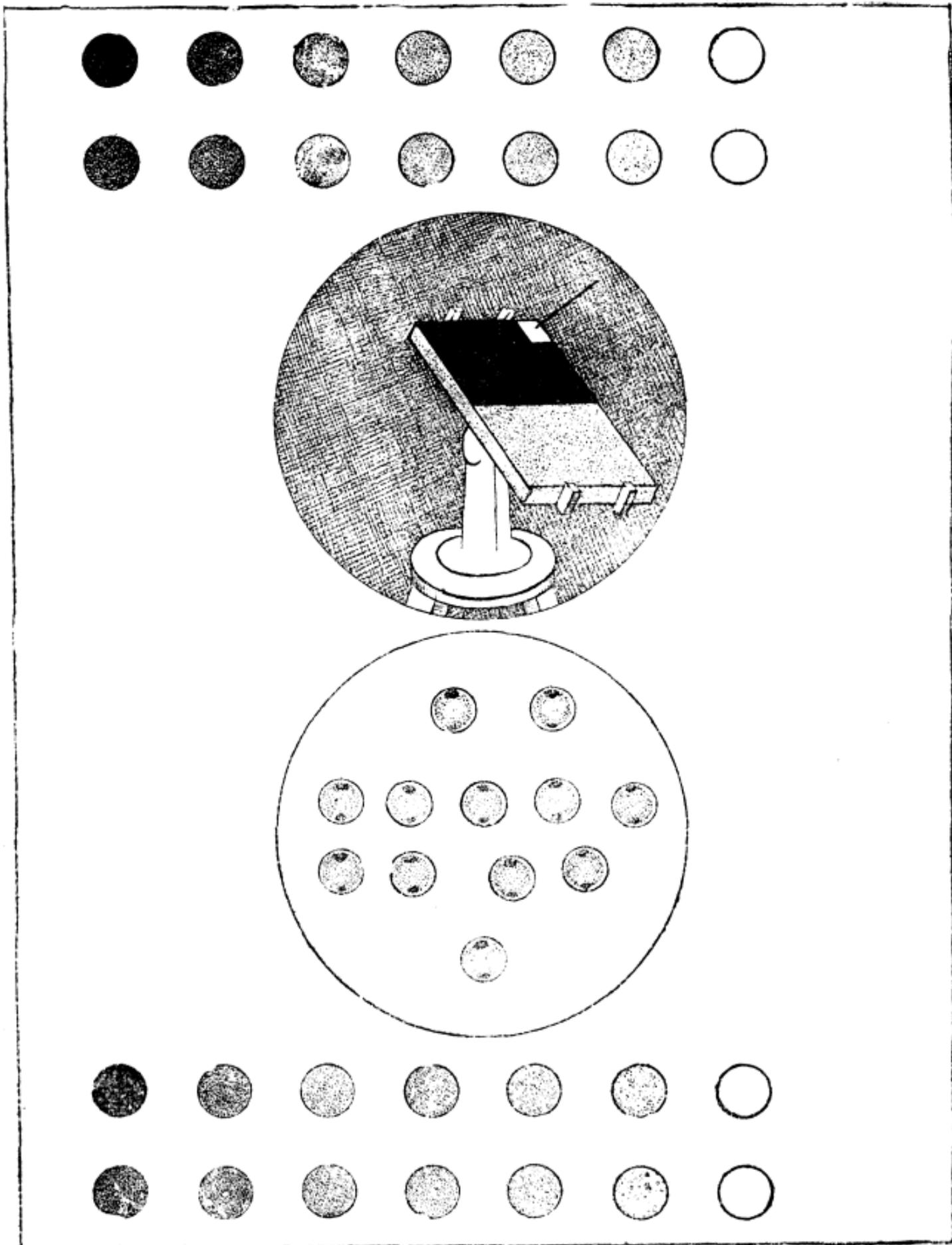


Рис. 14. Фотографический снимок-негатив, предназначенный для определения альbedo деталей на Марсе.

Ряды кружков наверху и внизу — фотометрические шкалы. В большом верхнем круге — снимок белого экрана, освещенного солнечными лучами и установленного на особой подставке. В большом нижнем круге — 12 изображений Марса. Яркость различных точек этих изображений через шкалу сравнивается с яркостью изображения экрана.

дения. Поскольку мы можем судить, площадь, занятая белым покровом, достигает своего наибольшего развития ко времени зимнего солнцестояния и после этого остается без изменения до начала весны.

Описанный выше ход разрушения и восстановления полярного пятна из года в год протекает различно. Иногда он начинается раньше, иногда позже, в одних случаях идет быстрее, в других медленнее. Самое распространение белого покрова тоже подвержено значительным колебаниям: если бывали случаи, когда он доходил почти до широты 45° , то случалось и так, что он не распространялся дальше 60° . Тем интереснее и важнее выполнять детальное его измерение при каждом противостоянии (рис. 20).

Кроме того, замечаются довольно постоянные различия в ходе сезонных явлений на южном и северном полюсах. Южное пятно начинает таять раньше, а расти позже, чем северное. Несмотря на это, оно за зиму успевает вырасти до поперечника 5800 км или 100° , в то время как предельный диаметр северного пятна в среднем составляет только 4900 км или 85° . Зато летом северное пятно обычно не делается меньше 1500 км, в то время как от южного пятна остается совсем маленький кусочек. В некоторые годы южное пятно исчезает даже совсем; так было в 1894 и 1911 гг.

Тщательные измерения показывают, что центр полярного пятна обычно не совпадает с полюсом планеты. Астроном В. Пикеринг, обработав сделанные по этому вопросу наблюдения за время с 1783 по 1924 гг., получил такие значения для ареографических координат центра шапок

	Долгота	Широта
Северное пятно	321°	$88^\circ 5'$
Южное пятно	32°	$83^\circ 9'$

Как видим, особенно сдвинуто в бок южное пятно. Когда это пятно сильно разрушается, то последний его остаток оказывается не на полюсе, а примерно на расстоянии 500 км от него и притом всегда на одном и том же месте планеты, определяемом координатами: широта — 85° , долгота — 30° . Очевидно, что поверхность планеты здесь отличается какими-то особенностями, способствующими сохранению белого покрова. Наиболее вероятно, что здесь лежит сравнительно высокое плоскогорье, на котором температура, естественно, будет ниже, чем на окружающей равнине, а потому и белый материал, разрушаемый действием тепла, держится дольше.

Заметим, что настоящих гор на Марсе нет, так как при тех увеличениях, которые допускают современные телескопы, они

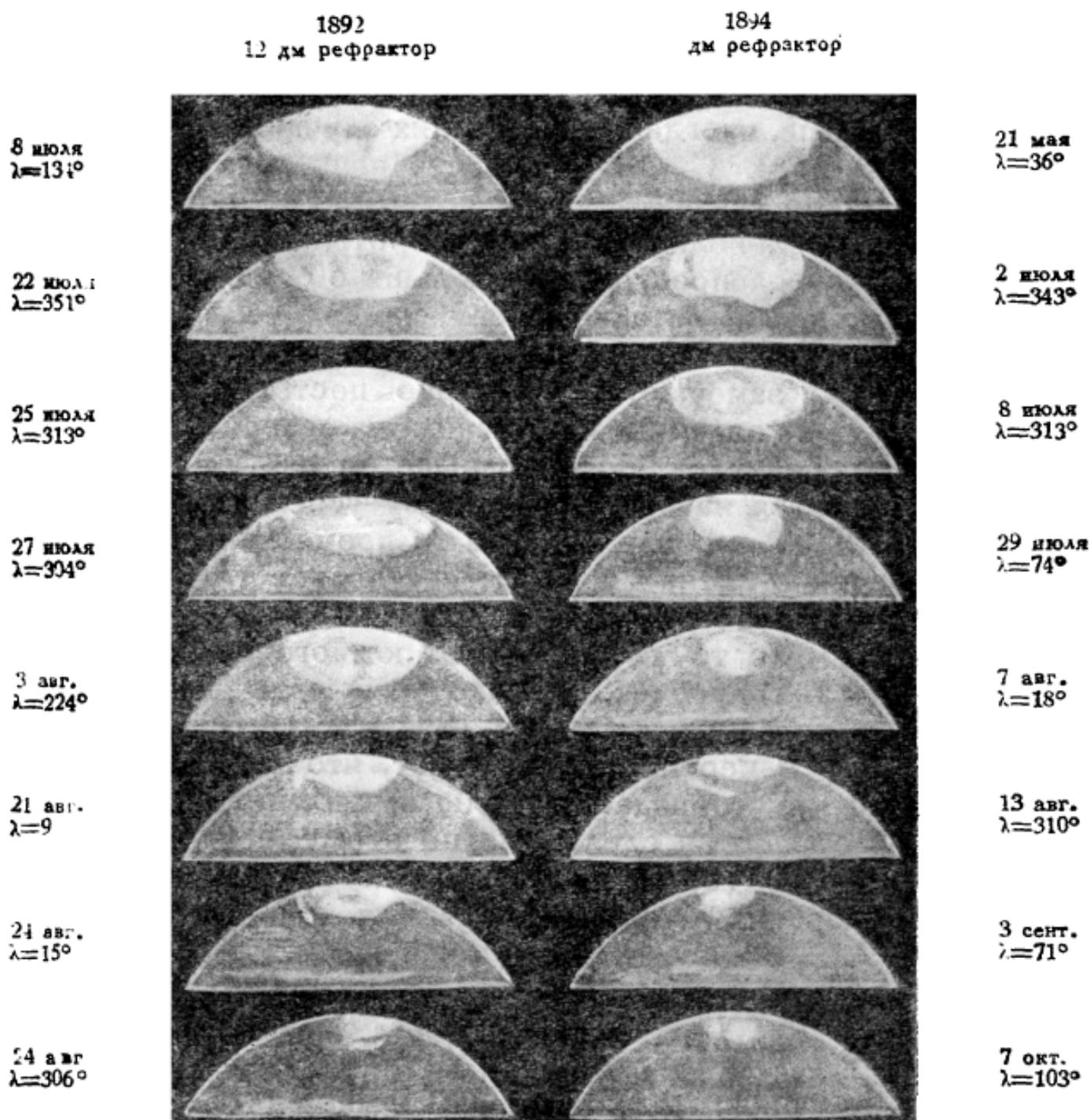
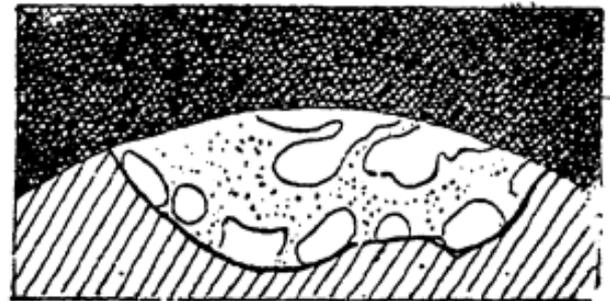


Рис. 20. Таяние южного полярного пятна на Марсе по наблюдениям Барнарда в 1892 г. (слева) и в 1894 г. (справа).

были бы отчетливо видимы, особенно около терминатора где благодаря косому падению лучей всякая неровность должна давать длинную тень. Ловелл специально наблюдал зону Марса, прилегающую к терминатору, но не мог обнаружить никаких возвышенностей. На основании этого он приходит к заключению, что неровностей высотой хотя бы в 1000 м

на Марсе нет. Впрочем, это заключение относится лишь к хребтам и пикам с крутыми, обрывистыми склонами. Плато с пологими скатами трудно заметить с Земли, поскольку они не дадут резких теней, а потому для таких форм рельефа можно допустить высоту и больше 1000 м. Некоторые авторы склонны допускать на Марсе наличие высот, поднимающихся до уровня в 5000 м над окружающей равниной.

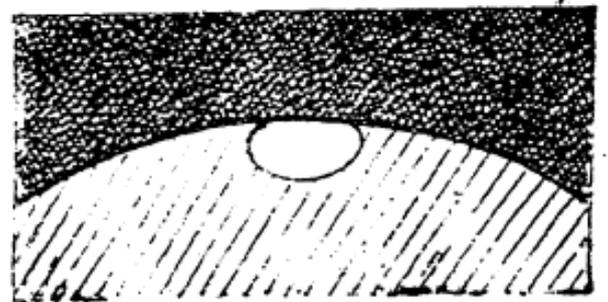
В связи с этим особенно интересным становится то обстоятельство, что поверхность полярного пятна отнюдь не является однородной и монотонной. Напротив, при благоприятных условиях на ней можно рассмотреть менее светлые области и более яркие участки. Эта структура становится особенно резкой в эпоху разрушения пятна. По свидетельству Граффа, белая окраска исчезает не сразу: перед этим местность заметно темнеет, становится сероватой. При этом некоторые участки остаются яркими дольше других, в результате чего по краю полярной шапки образуется как бы ожерелье из небольших обособленных светлых пятнышек, как это показано на рис. 21. По-видимому, эти пятнышки каждый раз (т. е. каждый Марсов год) образуются на тех же самых участках поверхности планеты и связаны с особенностями рельефа на этих участках.



20 Июля



25 Августа



5 Сентября

Рис. 21. Структура тающего полярного пятна по наблюдениям Граффа в 1925 г.

Что такое полярные шапки?

В течение долгого времени все были убеждены, что белые полярные области на Марсе представляют собою пространства, покрытые снеговым покровом, вполне аналогичным тому, который ежегодно одевает поля и степи умеренного пояса нашей собственной планеты. Однако это предположение, такое

простое и естественное, оказалось в противоречии с результатами новейших исследований. Мы уже говорили о замечательном эффекте, открытом Г. А. Тиховым, согласно которому видимая яркость полярных пятен на Марсе меняется с участком спектра, в котором ведется наблюдение. Таким образом, материал, устилающий почву планеты в околополюсных областях, который столь любопытно образуется зимой и исчезает летом, оказался отнюдь не белым, но голубым или синеватым.

В дальнейшем были выполнены фотометрические исследования полярных шапок, которые подтвердили, что образующее их вещество никак нельзя причислить к категории белого. Так, Гец, измеряя яркость по снимкам, полученным на 60-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт Вильсон, нашел для полярных областей значение альbedo 0.26. Барабашев приводит для альbedo в красных лучах значение 0.22. Наиболее подробные данные по этому вопросу мы находим у Сытинской, которая получила числа, приведенные в табл. 8.

ТАБЛИЦА 8

Участок спектра	Длина волны, м μ	Альbedo			
		Южная полярная шапка 1939 г.	Снег	Лед	
				речной	глетчерный
Ультрафиолетовый .	380	0.33	0.87	—	—
Фиолетовый	430	0.30	0.87	0.34	0.42
Зеленый	560	0.28	0.90	0.34	0.75
Красный	630	0.24	0.90	0.32	—
Инфракрасный	730	0.18	0.83	0.26	0.58

Может ли вещество с такими оптическими характеристиками быть снегом? Едва ли. Спектрофотометрические исследования снега в окрестностях Ленинграда, выполненные Криновым, показывают, что снег во всех участках спектра отражает одинаковую долю лучей, примерно равную 90%. Детальное исследование отражательной способности снега выполнил Н. Н. Калитин при помощи специально сконструированного им прибора — альбедометра. Выполняя измерения в узких участках спектра, вырезанных светофильтрами, он получил цифры, приведенные в табл. 9.

Для очень чистого рыхлого снега в некоторых случаях были получены значения альbedo, достигающие до 0.97. Измерения альbedo совершенно свежего, падающего снега, выполненные Шароновым в г. Елабуга в течение зим 1941—1944 гг. дали значение, даже равное 1.0.

ТАБЛИЦА 9

Участок спектра	Ультра-фиолет.	Синий	Зеленый	Оранжевый	Красный
Длина волны	380	450	550	612	660
Альbedo снега:					
Чистого сухого	0.91	0.95	0.94	0.95	0.88
Чистого мокрого (тающего) .	0.70	0.77	0.78	0.80	0.73
Засоренного мокрого (сильно талого)	0.56	0.63	0.65	0.67	0.58

Из всего сказанного мы видим, что снег является одним из самых белых веществ, существующих в природе, и потому полярные области на Марсе должны быть покрыты не им, а чем-то другим. Но чем именно?

Помимо „снеговой гипотезы“, по вопросу о природе полярных шапок в разное время были высказаны различные предположения. Рассмотрим наиболее важные из них.

1. Твердая углекислота. Как известно, двуокись углерода CO_2 при температуре -79°C обращается в белое порошкообразное вещество, которое находит применение в пищевой промышленности для сохранения скоропортящихся продуктов под названием „сухого снега“. В ту эпоху, когда температурные условия на Марсе еще не были выяснены, некоторые исследователи склонялись к мысли, что поскольку Марс дальше от Солнца, чем Земля, температура там всегда должна быть очень низкой. В условиях вечного мороза снег и лед никогда не могли бы таять, и потому полярные шапки, таянием которых мы любуемся во время каждого противостояния, должны состоять из вещества, для которого температура затвердевания много ниже нуля. Вот тут и вспомнили про углекислоту — химическое соединение, способное при температуре ниже 80° замерзнуть и превращаться в снежоподобное белое вещество.

Теперь мы знаем, что температура на Марсе несомненно поднимается и выше нуля, а потому нет никаких причин сомневаться в том, что лед и снег, буде они действительно имеются на этой планете, непременно должны там стаять в теплое время года. Поэтому гипотеза углекислоты отпала сама собой как совершенно ненужная.

2. Соляные корки. В засушливых и пустынных областях земного шара встречаются огромные пространства, сплошь покрытые твердой солью. Издали они кажутся белыми и искристыми, словно снежное поле. В большинстве случаев такой

соляной покров не является постоянным, но в зависимости от погоды или сезона то появляется, то исчезает. Стоит пройти дождю — и тонкий соляной слой быстро растворяется и впитывается в почву. Местность сразу темнеет, приобретая коричневые или серые тона взмокшей грязи. Но вот, опять наступает сухая пора. Соляной раствор по тонким порам поднимается из глубоких слоев почвы на поверхность и, высыхая, оставляет кристаллический налет, так называемые выцветы. Постепенно утолщаясь, этот налет превращается в плотную и крепкую соляную корку. Многие соляные озера в жаркое время года тоже покрываются толстым слоем кристаллической соли, издали похожей на лед.

Было высказано предположение, что полярные области Марса тоже покрыты обильными выцветами каких-то солей, появляющихся в одни сезоны и исчезающих в другие. Однако большая часть солей характерна белым цветом и потому такое предположение тоже находится в противоречии с эффектом Тихова. Кроме того, с точки зрения „солевой теории“ трудно объяснить образование полярных шапок именно зимой и их разрушение летом; скорее следовало бы ожидать обратного.

3. Облака и туманы. Для того чтобы объяснить различие в размерах полярных пятен на снимках, полученных в разных лучах, Райт выдвинул гипотезу, что мы имеем здесь дело с атмосферными образованиями. Облако или слой тумана, состоящие из очень мелких частиц, по закону Рэлея должны отражать синие и фиолетовые лучи сильнее, чем желтые и красные. Поэтому в отраженном свете такое облако должно выглядеть голубым или синеватым. Но это будет так лишь в том случае, если облако является оптически тонким, полупрозрачным. Большая толща самых мелких частиц будет казаться белой.¹ Поэтому можно удовлетворительно объяснить наблюдаемые явления, если допустить, что полярная шапка представляет собою облачный покров, толстый в середине и тонкий по краям. С приближением к краю слой облака становится все прозрачнее, и потому яркость полярного пятна снижается от центра к краям. Но в красных и желтых лучах это снижение идет быстро, а в синих и фиолетовых — медленно. Вследствие этого цвет пятна с приближением к краю становится все более синим. В результате на снимках в синих и фиолетовых лучах полярная шапка будет простирается

¹ Подробности по этому вопросу излагаются в главе об атмосфере Марса.

значительно дальше, чем в красных. Впрочем, Райт предпочитает гипотезу, что центральная часть полярного пятна представляет собою поверхностное образование и состоит из снега, в то время как края ее состоят из тумана или облачных масс, возникающих на границе местности, занятой снегом.

4. Лед. Сплошная ледяная масса глетчеров в горах и айсбергов в полярных морях имеет голубоватый или зеленоватый цвет. Каждый может легко в этом убедиться и у себя дома, разглядывая зимой кабаны льда, привезенные с реки для ледника. Это навело Г. А. Тихова на мысль, что полярные области Марса одеты не снегом, а льдом. Снимки снега и ледяных глыб, полученные на тех же пластинках и через те же светофильтры, которые служили и при съемке Марса, привели к следующим результатам. Снег выглядит ярче песка во всех цветах; что же касается льда, то цветовые свойства его оказались сходными со свойствами полярных пятен Марса, а именно: лед темнее песка в красных лучах, одинаковой с ним яркости в оранжевых и ярче песка в зеленых и, особенно, в синефиолетовых лучах.

Для более детального изучения ледяной теории полярных пятен было бы желательно иметь побольше измерений спектрального альbedo льдов различной природы: речного, морского, горного, арктического. К сожалению, пока таких измерений сделано очень мало. Выше (табл. 8) мы приводим определения спектрального альbedo для речного льда (по Сютинской) и для Цейского ледника на Кавказе, как их получила специальная экспедиция, ездившая туда в 1940 г. под руководством П. В. Григорьева. В графической форме это представлено на рис. 22. Как мы видим, особенного сходства между полярными шапками и изученными образцами льда нет. Может быть изучение других форм льда приведет к более благоприятным заключениям.

Все же гипотеза ледяной природы полярных покровов на Марсе в настоящее время представляется наиболее вероятной, однако лишь будущим исследователям суждено внести этот вопрос исчерпывающую ясность.

В связи с проблемой полярных пятен большой интерес приобретает следующее явление, изученное и описанное многими наблюдателями. По мере того как пятно разрушается и отступает к полюсу, освобождаемая им территория оказывается окрашенной в специфический темносиний цвет, который лишь постепенно исчезает, сменяясь окраской, нормальной для данной местности на планете. В результате, тающее

полярное пятно оказывается окруженным темной каемкой, которая перемещается вместе с его краем по поверхности планеты. Были высказаны сомнения в реальности этого явления; темную каемку приписывали зрительной иллюзии, вызванной контрастом с яркой поверхностью полярной шапки. Нали-

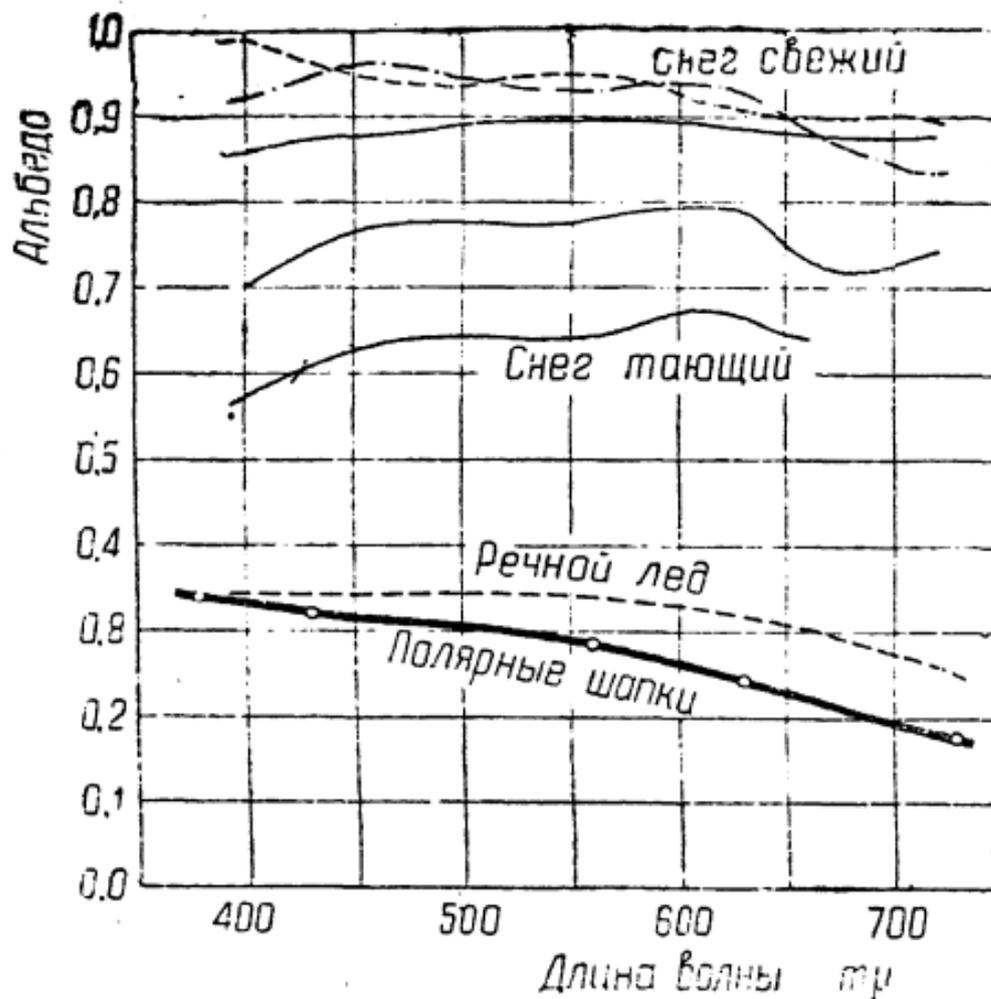


Рис. 22. Ход по спектру альbedo полярной шапки (по Сытинской).

Для сравнения приведены кривые спектрального альbedo для снега и льда.

чие каемки на фотографиях также не считалось достаточно убедительным доказательством, так как явления, аналогичные зрительным иллюзиям человеческого глаза, свойственны и фотографической пластинке (так называемый эффект Эбергарда, вследствие которого темные участки снимаемого объекта, примыкающие к очень ярким деталям, выходят на снимке темнее, чем они являются на самом деле). Однако в ответ на все эти сомнения было указано, что такой каемки не бывает видно при увеличении пятна, хотя условия наблюдения, а вместе с ними и все факторы, вызывающие иллюзии, при этом будут точно теми же. Таким образом, темный бордюр вокруг тающего полярного пятна следует признать реальным явлением.

Повидимому, темная окраска местности, освобождающейся от белого покрова, вызывается продуктами разрушения образующего этот покров материала. Скиапарелли, Ловелл и другие исследователи Марса считали, что мы здесь имеем перед собой талые воды, затопляющие широкое пространство. Это обычно рассматривалось как довод в пользу снеговой (или ледяной) природы шапок. Действительно, твердая углекислота обращается прямо в газ, минуя жидкую фазу. Точно так же весьма мало вероятно, чтобы облака или туман низвергались на поверхность такими массами дождевой воды, чтобы получалось целое наводнение. Напротив, мощный слой снега и льдов, накопившихся за долгую зиму, при быстром таянии может дать много воды.

Если верно, что белое вещество полярных пятен представляет собою замерзшую воду, то мы можем сделать оценку ее возможного количества. Дело в том, что под действием солнечного тепла это вещество исчезает, обращаясь в пар. Но мы легко можем рассчитать, сколько тепла получает за лето единица площади поверхности Марса в полярных областях. Отсюда, пользуясь такими известными величинами, как скрытая теплота плавления льда и скрытая теплота парообразования воды, нетрудно высчитать, чему равно то предельное количество снега, которое может быть растоплено и превращено в пар солнечными лучами на Марсе.

Оказывается, что если бы вся теплота солнечных лучей поглощалась поверхностью полярных шапок и шла на их плавление, то за лето мог бы быть полностью растоплен и обращен в пар слой льда толщиной в два метра. В действительности значительная часть лучей отражается от светлой поверхности шапки и потому не используется для нагревания. Учитывая это, Рассель приходит к выводу, что толщина сплошного слоя льда, который мог бы быть переведен в состояние пара на Марсе, не превосходит нескольких сантиметров. Если это верно, то вещество, устилающее полярные области Марса, следует скорее уподобить инею, чем настоящему снеговому покрову. Во всяком случае содержащийся в нем запас воды не особенно велик: его едва хватило бы на то, чтобы наполнить Ладожское озеро.

Заметим, что для объяснения темного ободка вокруг тающей полярной шапки совсем не обязательно обращаться к мысли о потоке, заливающим всю местность сплошным слоем воды и обрабатывающем ее временно в озеро. Мы хорошо знаем, что пески, глины, разные виды почв и даже горные

породы при намокании заметно темнеют. Для иллюстрации этого в табл. 10 приводим значения альбедо для некоторых земных материалов.

ТАБЛИЦА 10

Материал	Альбедо в состоянии	
	сухом	мокроем
Песок кварцевый белый . .	0.35	0.16
" " желтый .	0.31	0.18
" " красный .	0.10	0.05
Почва супесчаная	0.13	0.06
" суглинистая	0.15	0.06
" чернозем	0.04	0.02
Шоссе	0.32	0.11
Булыжная мостовая	0.20	0.09
Асфальт	0.10	0.06
Бетон	0.17	0.09

Мы видим, что в мокром состоянии поверхность планеты должна отражать примерно вдвое меньше лучей, чем в сухом. Поэтому, явление темного ободка вокруг полярной шапки можно объяснить просто тем, что после таяния льда или снега на Марсе, как и у нас на Земле, некоторое время бывает мокро, вследствие чего устилающее поверхность планеты вещество приобретает темные оттенки.

Существуют ли на Марсе моря и океаны?

Если осматривать земные ландшафты с аэроплана, то моря, озера и прочие водоемы оказываются самыми темными участками местности. Поверхность воды, нередко очень светлая для того, кто смотрит с берега — следствие отражения неба в зеркале водоема — при наблюдении сверху всегда выглядит очень темной, так как проникающие в глубь жидкости лучи света там почти полностью поглощаются.

По свидетельству Лэкиша, много занимавшегося наблюдением с воздуха, чистые глубокие озера в надире (т. е. прямо внизу) кажутся почти черными. Кимбалл и Ганд, измерявшие альбедо разных водоемов с аэроплана, нашли, что для открытого океана оно равно 0.035. Столь же темными представляются озера и моря севера, вода которых особенно сильно поглощает свет благодаря примеси продуктов гниения растительных остатков,

так называемых гумусовых веществ, выносимых из болот реками. Например, для Невской губы Шаронов получил альбедо 0.038. Несколько светлее мутные прибрежные воды в тех местах, где море омывает степные или пустынные области. Примешанные к воде частички песка или глины способствуют отражению света и потому для мелкой зоны южных морей получаются значения альбедо от 0.06 до 0.12. Еще более высокое альбедо имеет вода горных речек и больших рек, протекающих среди лёссовых берегов. Обилие мути делает такие реки светложелтыми или кофейными, но это уже специальный случай.

Все это было известно давно, задолго до того, как стали изучать оптику земных водоемов с помощью современных средств авиации, и потому, когда на Марсе были обнаружены темные пространства и светлые желтые области, то первые были названы *морями*, а вторые *материками*.

В прошлом столетии большинство исследователей склонялось к мнению, что это не только удобные термины, но что указанные выражения соответствуют действительному положению вещей. Например, Скиапарелли был убежден, что темные области на Марсе действительно являются обширными водными пространствами, аналогичными земным морям. Этот же взгляд проводит в своих многочисленных сочинениях известный французский астроном Фламарион.

Правда, такая точка зрения с самого начала встречалась с очень большими затруднениями. Во-первых, поверхность морей Марса отнюдь не является однообразной и однородной, как мы это видим для водоемов Земли. Напротив, на ней легко различить обилие всевозможных деталей: отдельные пятна, полосы, участки с более темной и более светлой окраской. Кроме того, было бы неверно думать, что моря и материки представляют собою два резко различающихся, всегда отчетливо делимых и не похожих друг на друга типа областей. Напротив, на Марсе имеется немало участков, которые по яркости и цвету занимают промежуточное положение, так что в действительности можно найти всевозможные градации, составляющие плавный переход от темных мест к светлым. И как раз моря, а отнюдь не красноватые пространства материков, оказываются наиболее пестрыми и неоднородными.

Во-вторых, хотя темные пятна морей в основном имеют постоянные, неизменные очертания, детали их очень изменчивы. Прежде всего в них происходят ежегодные, каждый Мар-

сов год повторяющиеся перемены окраски. Зимой пространства морей выглядят блеклыми, сероватыми. С наступлением весны, когда начинает таять полярный снег, появляются значительные перемены и в морях. Они все более и более темнеют и выступают на охряно-желтом фоне окружающей суши все резче и резче. При этом их сероватая окраска сменяется зеленовато-синей, голубой или даже изумрудно-зеленой. Эти перемены начинают проявляться от границы тающего полярного пятна, так что сначала темнеют околополярные моря, потом — темные пространства умеренного пояса, а уже после них темный цвет захватывает тропическую и экваториальную зоны планеты.

Темнозеленая и синеватая окраска морей достигает наибольшего развития ко времени солнцестояния, т. е. к середине лета (в данном полушарии). После этого моря опять начинают светлеть. Среди их зеленоватой поверхности появляются коричневатые и желтоватые пятна, как бы плешины, и к осени все опять приходит в то состояние, которое бывает зимой.

Все эти явления не ограничиваются только переменами в яркости: обычно изменяются и очертания темных пятен. Перемены их цвета часто сопровождаются расширением размеров и темная окраска распространяется в разные стороны, захватывая обширные площади соседних светлых, желтоватых областей. К тому же все это при каждом противостоянии происходит по-разному: в одни годы моря темнеют и „разливаются“ очень сильно, в другие — незначительно. В итоге некоторые местности на Марсе заметно меняют свой облик и такие перемены, раз наступив, порою держатся несколько лет подряд, а потом опять получается прежняя картина. Приводимые здесь рисунки (рис. 23) служат иллюстрацией таких случаев.

В эпоху визуальных наблюдений, когда ограничивались зарисовкой контуров различных пятен от руки и последующим сравнением рисунков и набросков, сделанных при разных противостояниях, можно было еще сомневаться, насколько все это реально. В самом деле, не являются ли все эти перемены только ошибками, возникающими от неточной зарисовки тех или иных подробностей?

Однако массовое применение фотографии, которое стало особенно плодотворным за последние годы, полностью подтвердило результаты прежних выводов. Тремплер, например, на основании тщательного сравнения своей великолепной

фотографической карты, построенной по снимкам 1924 г., со старыми фотографиями 1909 г. нашел огромные изменения. Так, граница таких резких и заметных морей, как *mare Cimmerium* и *mare Sirenum* переместилась на целые 10° , т. е. на 600 км. Столь же большие изменения наблюдались в темной области, носящей название Большой Сырт (*Syrtis major*) и в окрестностях *Solis lacus* (рис. 23).

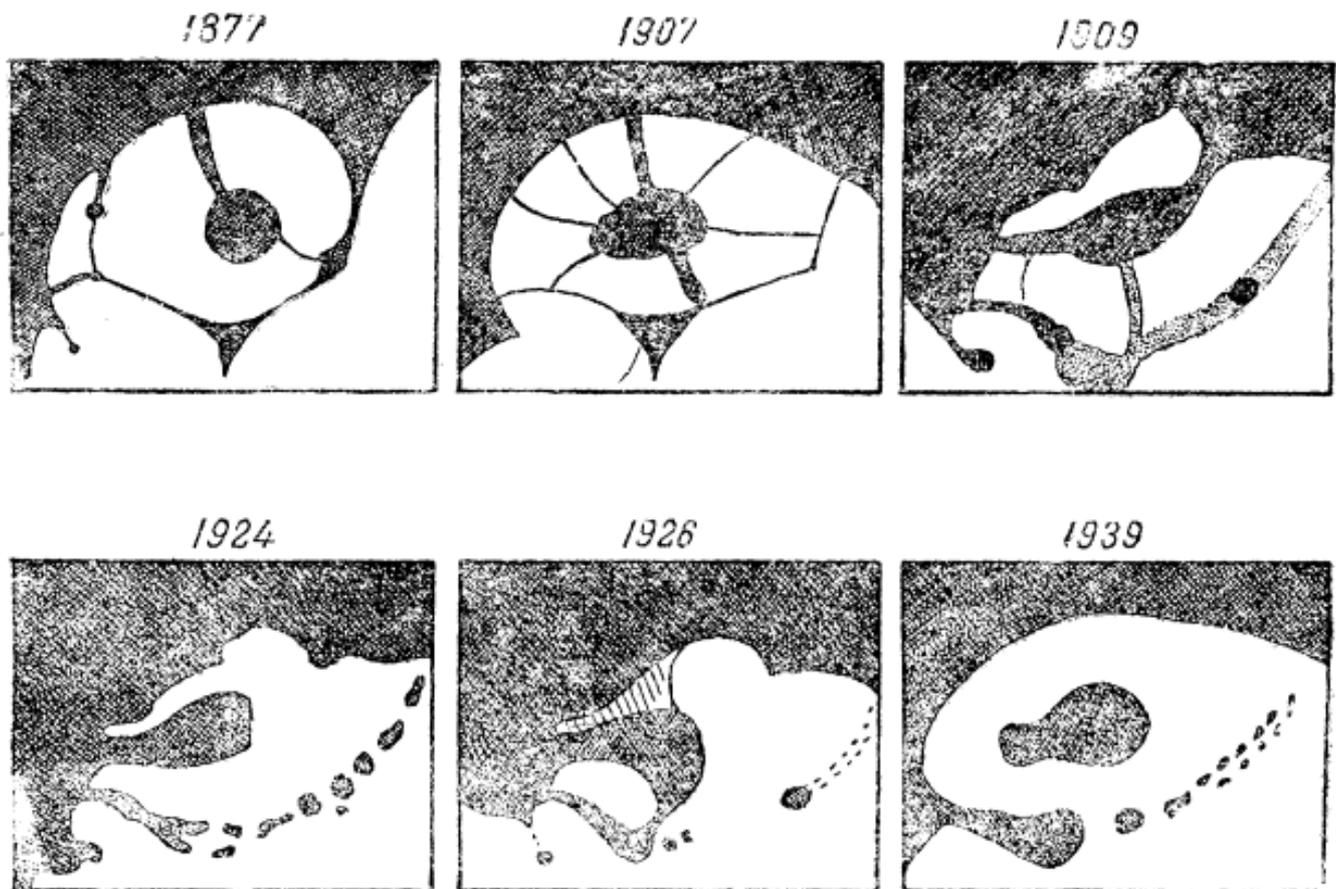


Рис. 23. Изменения области *Solis lacus* на Марсе от одного противостояния к другому (по рисункам и фотографиям).

Значительные перемены обнаружил также сравнение снимков 1924 и 1926 гг. А богатая серия фотографий, снятых сотрудниками Ловелловской обсерватории, выехавших в 1939 г. в Южную Африку, показывает замечательные сезонные перемены многих тонких дегалей.

Итак, перемены в темных областях Марса — реальный факт. Как же согласовать с ним мнение, будто эти области представляют собою настоящие водные просторы?

Сторонники „водяной“ теории темных пятен Марса выдвинули курьезное и невероятное предположение, будто поверхность планеты — исключительно ровная и гладкая, почти лишенная возвышенностей и углублений. При таких условиях

моря будут настолько мелкими, что почти всюду сквозь воду просвечивает дно. Тогда плешины и места с промежуточной окраской можно считать за мели и песчаные банки, где дно покрыто лишь тонким слоем воды, всего в несколько метров толщиной. А более темные пространства — это участки более глубокого моря. Незначительные колебания уровня воды в этом крайне мелком океане вызывали бы огромные изменения видимой картины: при понижении уровня „мели“ становятся островами и превращаются в желтые пятна, а участки средней глубины мелеют и от этого светлеют. Напротив, при повышении уровня вода сразу выходит из берегов и затопляет огромные пространства низменного берега, вследствие чего меняются контуры и размеры темных пятен.

Все это до крайности наивно: как будто самое явление наводнений, охватывающих сотни километров, или существование участков моря с глубиной в 2—3 м и площадью с целое государство сами не нуждаются в объяснении!

В 1894 г. астроном Тэйлор выдвинул еще одно соображение, которое заставило окончательно отказаться от предположения, будто темные пространства на Марсе — настоящие моря. Мы уже упоминали о нем во II главе. Дело в том, что, если бы „моря“ на самом деле были покрыты водой, то в ее шарообразной блестящей поверхности мы должны были бы видеть отражение Солнца в виде яркой точки, похожей на звездочку. Такие блики мы во множестве видим у себя в комнате при солнечном свете или при электрической лампе, когда свет отражается от блестящих выпуклых предметов: графинов, вазочек, самовара или никелированных шаров на кровати. Блик получается еще эффектнее, если в солнечный день издали смотреть на золоченый купол большого здания. На Марсе никогда не наблюдалось ничего подобного. Поэтому никак нельзя допустить, чтобы какие-нибудь части его поверхности, а значит и моря, были покрыты жидкостью.

Но тогда что же представляют собою темные пространства?

Чтобы осветить этот вопрос, Аррениус предложил новую теорию. Среди пустынь Азии и Африки распространены особые образования, которые называются *такырами* или *хевирами*. Голая бесплодная поверхность пустыни здесь представляет собою глину, которая тянется на сотни километров. В жаркое время года снаружи эта глина высыхает и покрывает-

ся трещинами. Но под более или менее толстой твердой корой сохраняется слой вязкой глинистой массы. Стоит пролиться дождю — и намокает вся толща глины, вследствие чего такыр превращается в грандиозное озеро жидкой глины, в трудно проходимое вязкое болото.

Аррениус предполагает, что вся поверхность Марса — сплошная пустыня. Светлые оранжевые области на ней — пески или каменистые пространства, а моря — такыры, похожие на наши. Их темная глинистая поверхность содержит много солей, которые обладают гигроскопичностью и потому жадно поглощают влагу из атмосферы. Весной, когда тает и испаряется полярный снег, потоки богатого влагой воздуха проносятся над хеварами, которые от этого намокают и становятся темнее. С окончанием таяния воздух опять становится суше и хевирсы высыхают. Вполне естественно, что это намокание и высыхание идет неравномерно: в одних местах раньше, в других позже. Это объясняет пятнистый вид и сезонные перемены в окраске морей. В земных пустынях хевирсы на громадном пространстве могут покрываться песком, приносимым ветром, и тогда снаружи они становятся неотличимы от окружающих частей песчаной пустыни. Потом этот тонкий слой песка опять сдувается ветром или поглощается глиной при намокании. Если принять, что это бывает и на Марсе, то можно легко объяснить значительные перемены в очертаниях темных пятен. Наконец, синеватая или зеленоватая окраска, которая несвойственна хевирсам на Земле, но характерна для морей Марса, может происходить от действия сернистых паров, которые поднимаются из недр планеты по трещинам и, вступая в соединение с железными солями и окислами, дают соединения темного цвета.

Проблема растительности на Марсе

Мрачная теория Аррениуса, рассматривающая всю поверхность Марса как сплошную безотрадную пустыню, в которой рыжеватые пески сменяются пространствами размокшей темной грязи, нашла себе мало защитников среди астрономов. Но если моря Марса не вода и не влажная глина, то что же они такое?

Продолжая сравнивать Марс с Землей, мы находим у себя на планете еще один вид покровов, столь же темных, как океаны, но в отличие от них способных к быстрым сезонным изменениям. Это — растительность.

Области Земли, покрытые сплошным ковром трав, кустарников или деревьев имеют очень темную окраску. Так, для лугов альbedo получается равным 0.064, для лиственного леса 0.07, для хвойного 0.04—0.05. К тому же окраска их имеет темнозеленый цвет, который при наблюдении сквозь достаточно толстый слой воздуха становится синеватым или голубоватым. Но стоит наступить осени с ее холодами и заморозками, как цвет растительности резко меняется: луга буреют, а листва на деревьях и кустах желтеет и осыпается. Ландшафт, который был таким темным и зеленым летом, сразу значительно светлеет и приобретает желтые, бурые или коричневые тона, почти не отличимые от лишенных растительного покрова пустынных песчаных, глинистых или каменистых пространств.

Как все это похоже на то, что мы видим на Марсе! Неудивительно, что еще в конце прошлого столетия возникла мысль, что „морья“ этой планеты в действительности представляют собою сушу, покрытую зеленой растительностью, более или менее похожей на нашу, земную. Зимой она мертва и потому моря имеют блеклый, сероватый цвет. С наступлением весны начинается оживление и зеленоватый покров постепенно одезает те части поверхности, которые способны его питать и поить. Поскольку в условиях пустыни главное — вода, растительность пробуждается раньше всего вблизи тающей полярной шапки, этого основного источника влаги на Марсе. От него пары и влага постепенно распространяются в сторону экватора и следом за ним шествует и зеленый растительный покров. Но вот лето перевалило за середину, таяние закончено, источник влаги иссяк. Растительность медленно умирает от засухи, подобно тому как это бывает с травой в наших степях, ежегодно „выгорающей“ во второй половине лета. Окраска морей возвращается к желтым, серым и коричневым тонам, столь свойственным опавшей листве или засохшим травам. В зависимости от обстоятельств местность принимает или цвет окружающей пустыни (если от растений ничего не осталось), или приобретает особый цвет омертвевшей флоры, какой характерен, например, для наших лиственных лесов зимой.

Впрочем, было бы бесполезно рассуждать о том, что представляет собою эта воображаемая растительность на Марсе: густые леса, низкорослую поросль кустарника, сочные луга или просто ничтожную зеленую плесень. Для этого у нас нет никаких оснований.

Какая замечательная теория! И сколько заманчивых перспектив в ней таится! Ведь растения — живые организмы, и, если мы с полной достоверностью могли бы установить, что они произрастают на Марсе, то тем самым было бы получено первое прямое доказательство существования жизни вне Земли. Неудивительно, что теория, рассматривающая темные пространства на Марсе, как области покрытые растительностью, имела шумный успех и приобрела множество сторонников. Было высказано немало остроумных соображений и выполнено много всяких наблюдений для того, чтобы ее подтвердить. В результате этого мнение, что темный цвет морей Марса обусловлен растительностью, стало общепринятым.

Впрочем, фактов, подтверждающих эту теорию, в настоящее время у нас меньше, чем хотелось бы иметь. Резюмируя все что было сказано и написано по этому поводу, мы приходим к выводу, что в пользу этой теории можно привести только следующие три довода.

1. Изменение окраски темных пространств меняется с сезоном именно так, как это происходит на Земле для растительности.

2. Темная окраска может быстро распространяться, занимая широкую территорию, и так же быстро исчезать. Следовательно, это какой-то чисто поверхностный покров, а не глубокое изменение природы местности.

3. В период наибольшего потемнения моря получают зеленую окраску, похожую на цвет земных растений.

Последний факт является особенно важным. Но в своем месте мы указывали, как ненадежны и ошибочны могут быть суждения о цвете при наблюдении в телескоп. Поэтому тут необходимо получить какие-то более достоверные и объективные данные.

Зеленая окраска земных растений происходит оттого, что в них содержится особое красящее вещество, называемое *хлорофиллом*. Его мы встречаем и в длинных листьях тропических пальм, и в коротких иглах наших северных елок и сосен. Он придает зеленую окраску и листве величественного баобаба, и тем крохотным растениям, которые образуют изумрудную корочку мха на камнях или придают речной воде синезеленый оттенок.

Хлорофилл имеет огромное значение в жизни растений: именно он является тем химическим соединением, при посредстве которого происходит усвоение углекислоты из воздуха и ее разложение на углерод, потребляемый для питания,

и кислород, выделяемый обратно в атмосферу. Поэтому всякое растение, которое питается за счет воздуха, непременно должно быть зеленым. Те растения, которые, подобно грибам, совсем лишены хлорофилла, не способны и к усвоению углекислоты, а потому или живут на чужой счет, паразитируя на других живых растениях, или потребляют разлагающиеся остатки мертвых организмов.

Поскольку свет является единственным вестником, доходящим до нас от далеких миров, для того чтобы проверить, насколько верно, что на Марсе есть растительность, подобная нашей, нужно попытаться найти для хлорофилла какие-то более определенные оптические характеристики, чем зеленый цвет.

Если положить зеленые листья растений в спирт, то хлорофилл растворяется и получается жидкость изумрудно-зеленого цвета. Стеклянную кюветку с такой вытяжкой можно поместить перед щелью спектроскопа или спектрографа, и изучать спектр прошедших через нее лучей. Оказывается, что при этом можно обнаружить весьма любопытные явления. Помимо общего значительного поглощения в синей и фиолетовой части спектра и сравнительно высокой прозрачности для зеленых лучей, появляются четыре довольно резко ограниченных полосы поглощения. Одна из них лежит в зеленой части спектра, две — в желтой, а самая темная и заметная — в красной. Эта главная полоса поглощения хлорофилла лежит между фраунгоферовыми линиями солнечного спектра, обозначаемыми буквами *B* и *C* и занимает участок от 658 до 672 μ . Эти же полосы мы увидим в спектре и в том случае, если будем наблюдать солнечные лучи, просвечивающие через тонкий зеленый лист живого растения. Наконец, если исследовать спектр солнечного света, отраженного от зеленых листьев, то в нем тоже появится главная полоса хлорофилла. Правда, она окажется менее отчетливой, чем при наблюдении на просвет.

Не раз делались попытки обнаружить эту полосу в спектре тех или иных планет. В ту эпоху, когда фотографирование в желтых и красных лучах еще не было разработано, и потому спектр предпочитали рассматривать просто глазом, неоднократно появлялись сообщения о темной полосе, обнаруженной в красном конце спектра света, посылаемого Марсом.

Так, Геггинс видел в 1867 г. слабую полосу между *B* и *C*; это наблюдение было подтверждено Фогелем в 1873 г. Маундер в 1877 г. наблюдал очень слабую полосу на 669.6 μ . Эти полосы могли служить указанием на наличие хлорофилла,

но, с другой стороны, их приписывали также парам воды, содержащимся в атмосфере Марса. Однако позднейшие исследования спектра Марса опровергли все эти заключения, и теперь мы с полной уверенностью можем утверждать, что никаких особых линий или полос в спектре Марса обнаружить пока не удалось. Этот вопрос будет подробно разобран в следующей главе.

В 1907 г. сотрудник обсерватории Ловелла — Слайфер опубликовал великолепные снимки спектров больших планет. В спектрах наиболее удаленных членов нашей солнечной системы — Урана и Нептуна — были видны широкие полосы поглощения, в том числе резкая полоса между *B* и *C*, т. е. как раз в том месте, где должна находиться полоса хлорофилла. Позднее такие же полосы были обнаружены в спектре Юпитера и Сатурна.

Это сходство полос в спектрах планет с полосой хлорофилла сразу обратило на себя внимание ряда исследователей различных специальностей. Так, знаменитый русский дарвинист К. А. Тимирязев писал: „Мой привычный глаз был поражен присутствием в спектрах Урана и Нептуна хлорофилла“. Ботаник Бейеринк детально исследовал вопрос и подтвердил тождественность полос в спектрах планет с полосами хлорофилловой вытяжки.

Но откуда на далеких планетах, слабо согреваемых Солнцем и всегда окутанных густыми слоями неведомых нам паров и облаков, мог появиться хлорофилл? Это было по меньшей мере удивительно, и потому вокруг этого вопроса возникла оживленная дискуссия.

Русский физик Арциховский указал, что полоса в красном конце спектра может появиться в результате неравномерного действия красителей — сенсibilизаторов, при помощи которых пластинке сообщается восприимчивость к красному концу спектра. В результате совместного применения нескольких сенсibilизаторов в спектре получается ряд узких участков, воспринимаемых пластинкой с еще более узкими промежутками между ними. Вот эти промежутки и производят на снимке впечатление ложных полос поглощения, в действительности не существующих.

В ответ на это Слайфер опубликовал снимки Луны, снятые на таких же пластинках: на них не было и следа подобных полос. Таким образом, полосы в спектрах планет были несомненно реальны. Но прошло 25 лет прежде, чем была установлена их действительная природа. В 1932 г. физик Вильдт

показал, что из тонких темных линий, составляющих широкую темную полосу между 647 и 726 μ одни принадлежат аммиаку, другие — метану. Таким образом, вопрос был разрешен окончательно, и предположение о хлорофилле отпало.

Но в случае Марса едва ли можно было надеяться обнаружить полосы поглощения в спектре общего света, отражаемого целым полушарием планеты. Ведь темные пространства морей всегда занимают лишь меньшую часть видимой площади диска и потому тонкие оптические эффекты, вносимые ими в свет Марса, должны совсем исчезать благодаря огромной примеси света, отраженного материками. Поэтому для решения таких деликатных проблем, как вопрос о наличии или отсутствии растительности, необходимо отказаться от наблюдений интегрального света планеты и перейти к детальному изучению особенностей отражения света морями.

Первые попытки в этой области принадлежат Г. А. Тихову и основаны на следующих соображениях. Примем, что моря своей специфической окраской обязаны хлорофиллу. Будем снимать Марс через кювету, наполненную спиртовой вытяжкой хлорофилла; тогда снимок получится лишь в тех лучах, которые хлорофиллом не поглощаются, так как поглощаемые этим красителем участки спектра будут задержаны фильтром. В результате моря на таком снимке должны выделяться очень слабо, поскольку те участки спектра, поглощением в которых обусловлена их темная окраска, не будут принимать участия в образовании снимка.

Опыты получения снимков сквозь стеклянный сосуд, содержащий раствор хлорофилла и поставленный перед пластинкой, оказались неудачны. Поэтому в дальнейшем Тихов воспользовался обыкновенным зеленым светофильтром с кривой спектрального пропускания, несколько схожей с тем, что дает хлорофилловая вытяжка. Полученные результаты Тихов находит для гипотезы растительности благоприятными.

Дальнейшее развитие этих работ пошло по линии тщательного изучения спектрального альbedo зеленой растительности. Еще в 1901 г. американский исследователь Вуд сделал одно очень важное открытие. Фотографируя земные ландшафты на изобретенных к тому времени пластинках, чувствительных к инфракрасным лучам, он получил очень странные снимки: трава и деревья на них получались яркobelыми, словно усыпанными снегом (рис. 24). Этот эффект Вуда настолько резок и характерен, что иногда позволяет кинооператорам осуществлять „зимнюю“ киносъемку ландшафта среди роскош-



Рис. 24. Снимок местности в обычных лучах (наверху) и в инфракрасных лучах (внизу).

На нижнем снимке видны далекие горы, совершенно незаметные на верхнем, а растительность вышла белой, как снег (эффект Вуда).

ной тропической растительности. Очевидно, дело тут в том, что инфракрасные лучи очень сильно отражаются окрашенными хлорофиллом частями растений, а это и придает последним сходство с самым белым веществом природы — со снегом.

Г. А. Тихов, а потом его ученик Е. Л. Кринов предприняли массовые исследования спектральной отражательной способности различных растительных покровов: лугов, кустарников, отдельных деревьев и целых лесных насаждений при различных условиях. Оказалось, что ход кривой отражения по спектру очень характерен и сводится к следующему. В фиолетовых и синих лучах растительность отражает всего от 3 до 5% лучей. От 510 μ начинается резкое повышение отражательной способности, которое дает максимум на 555 μ , после чего отражательная способность опять плавно снижается. За счет этого максимума в зеленых лучах мы и видим листву зеленой. В красной части спектра, примерно на 660 μ кривая дает глубокий минимум. Это и есть знаменитая полоса поглощения хлорофилла, о которой мы столько говорили выше. Далее, примерно от 700 μ начинается резкий подъем кривой и в инфракрасной части спектра наиболее сочные формы свежей зелени, как, например, трава лугов или молодая листва черной смородины, отражают до 80% лучей. т. е. действительно имеют значение альбедо, близкое к альбедо снега. Приведенные на рис. 25 кривые наглядно иллюстрируют сказанное.

В природе можно найти много зеленых предметов и помимо растений. В частности, многие мелкие животные, живущие среди травы и листьев, как, например, лягушки, кузнечики и гусеницы имеют яркозеленый цвет, который делает их совсем незаметными на фоне растительности. Эта мимикрия часто бывает настолько совершенной, что невозможно распознать неподвижно сидящее животное даже на расстоянии в 2—3 м, так похожа его окраска на окружающий фон. Но дело сразу меняется, если заменить наблюдение глазом фотографической съемкой в инфракрасных лучах: на полученном снимке лягушка или кузнечик выделяется резким черным пятном среди белой, как снег, травы. Это происходит потому, что защитная окраска животных ограничивается подражанием кривой отражения растительности лишь в видимом участке спектра и не дает того резкого повышения альбедо в инфракрасных лучах, которым обуславливается эффект Вуда. Поскольку мы знаем, этот эффект представляет собою особенность, свойственную исключительно хлорофиллу и никакие другие зеленые материалы и красители им не обладают.

Отсюда вытекает простой способ сразу убедиться в том, могут ли моря Марса быть сплошными покровами свежей, окрашенной хлорофиллом, растительности или нет. Для этого

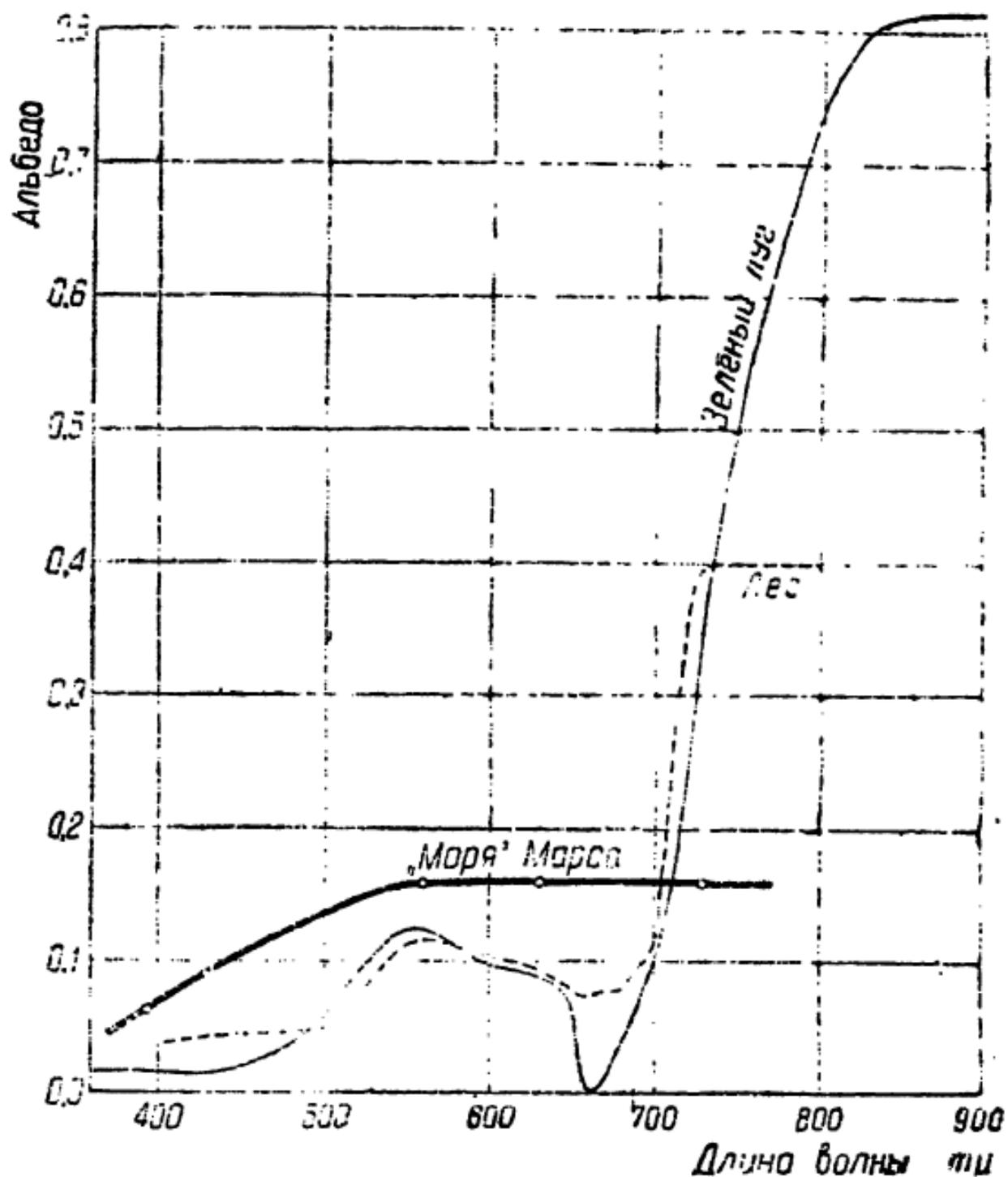


Рис. 25. Ход по спектру альбедо морей (по Сытинской).

Для сравнения приведены кривые спектрального альбедо земной растительности (по Кринову).

надо только получить снимки планеты в инфракрасных лучах. Если моря — растительность, то должен получиться отчетливый эффект Вуда, и темные области на инфракрасных снимках будут выглядеть белыми или, во всяком случае, более светлыми, чем песчаная поверхность материков.

Результаты такого испытания оказались отрицательными: мы уже упоминали, что, согласно работам Райта, впервые осуществившего инфракрасную съемку Марса, контраст между морями и материками непрерывно возрастает с длиной волны, так что не только не получается никаких признаков Вуд-эффекта, но, наоборот, в инфракрасных лучах моря получают еще темнее, чем в желтых и красных. Это полностью подтверждается и абсолютными измерениями альbedo для морей. Так, по Сытинской, мы имеем числа, приведенные в табл. 11.

ТАБЛИЦА 11

Участок спектра	Длина волны м μ	Альbedo морей Марса
Ультрафиолетовый	380	0.064
Синий	430	0.092
Зеленый	560	0.159
Красный	630	0.161
Инфракрасный	730	0.159

Графически это представлено на рис. 25. Таким образом, кривая хода альbedo по спектру для морей получается совсем непохожей на то, что дает земная растительность. Вместо максимума в зеленых лучах на ней получается слабо выраженный максимум в красном, т. е. как раз там, где у хлорофилла лежат полосы поглощения, а главное — нет столь характерного для хлорофилла повышения альbedo в инфракрасном участке спектра. В сущности говоря, темные области Марса нельзя даже назвать зелеными, скорее они являются коричневыми.

Итак, поиски Вуд-эффекта на Марсе привели к отрицательным результатам. Но можно ли это рассматривать как доказательство полного отсутствия растительности на этой планете? Конечно, нет. Можно только утверждать, что в момент получения снимков на Марсе не оказалось обширных пространств, покрытых сомкнутым покровом зеленой растительности, в точности совпадающей по оптическим качествам с земной. Но если бы снять наши степи в инфракрасных лучах, то мы тоже не получили бы Вуд-эффекта, так как редкая растительность там не образует сомкнутого покрова и к тому же нередко является сероатой. Если моря Марса похожи на наши степи и полу-

пустыни (а это предположение кажется наиболее вероятным), то и там редкая поросль не может покрыть всей почвы и обусловить те оптические явления, которые столь характерны для сочной зелени умеренного пояса Земли. Кроме того, было бы полезно выполнять более детальное исследование инфракрасных снимков Марса и поискать, не наблюдается ли на этой планете эффект Вуда на небольших, особых участках или не появляется ли он только на короткое время наиболее пышного расцвета листвы.

Интересные соображения по разбираемому здесь вопросу были высказаны в одной из последних работ Тихова. Естественно думать, что эффект Вуда не может быть случайностью, но должен иметь какое-то назначение в жизнедеятельности растений. Сравнивая кривые Кринова, Тихов пришел к выводу, что отражение лучей в инфракрасной части спектра получается более высоким для растительности южных широт, чем для флоры полярных областей. Это наводит на мысль, что роль этого эффекта состоит в защите растения от чрезмерного перегревания бесполезными с точки зрения питания тепловыми инфракрасными лучами. Но если так, то на Марсе, где температура значительно ниже, чем на Земле и потому растение должно страдать скорее от недостатка тепла, нежели от его избытка, Вуд-эффект был бы не только бесполезен, но и вреден. Поэтому вполне естественно предположить, что он там и не смог выработаться, так что растительность на Марсе совсем лишена этой характерной особенности земных растений.

Глава IV

АТМОСФЕРА МАРСА

Доказательства существования газовой оболочки на Марсе

Для наших суждений о природе Марса важнейшее значение имеет вопрос об атмосфере на этой планете. Ибо там, где нет газовой оболочки, не может быть и жизни. Да и не только жизни. Там не может быть ни ветра, ни облаков, ни дождей, ни туманов, ничего из того комплекса явлений, которые мы объединяем общим термином „погода“. Там не может быть и жидкой воды, так как вода, не сдерживаемая давлением атмосферы сверху, должна немедленно обратиться в пар и улетучиться. Там нет никаких звуков, поскольку звук передается от звучащего предмета к уху наблюдателя тоже через воздух. Мир безжизненных камней и песков, безмолвная пустыня, где никогда не шелохнется ни одна песчинка, где никогда не пронесется ветерок и ни один звук не нарушит окружающего безмолвия, — вот что представляет собою поверхность небесного тела, совершенно лишенного атмосферы. Пример такого ландшафта мы можем наблюдать на Луне. Там жгучие лучи Солнца озаряют унылую картину совершенно пустынных равнин и гор, где мертвая поверхность скал никогда не разнообразится ни влагой ни растительностью и даже тучка или облачко не оживляют этого закастневшего в своем однообразии ландшафта.

На Марсе дело обстоит иначе. Атмосфера там есть. Правда, это не та мощная и туманная газовая оболочка, которую мы наблюдаем на гигантских планетах солнечной системы — на Юпитере, Сатурне, Уране, Нептуне. На этих планетах газовый слой настолько высок и в нем всегда плавают столь многочисленные и плотные слои и прослойки каких-то облачных

масс, что самую поверхность небесного тела мы вообще не можем увидеть и погому вынуждены ограничить свое наблюдение регистрацией перемен в окраске и расположении облачных образований. На Марсе нет и той умеренной плотности атмосферы, ароматы которой мы, жители Земли, с таким удовольствием вдыхаем в лесу, в поле и на морском берегу. Нет, атмосфера Марса представляет собою довольно тонкую, жидковатую оболочку газа, почти всегда прозрачную и мало заметную для внешнего наблюдателя. По каким же приметам мы убеждаемся в ее существовании?

Можно указать по меньшей мере пять признаков, которые доказывают наличие атмосферы на той или иной планете.

Во-первых, случается, что при своем видимом перемещении по небу планета проходит перед какой-нибудь звездой и эту звезду от нас на время закрывает. Когда диск планеты постепенно надвигается на звезду, то бывает такой промежуток времени, когда звезда видна сквозь слой газа, окружающий эту планету. Проходя через этот газ, лучи от звезды испытывают преломление, несколько отклоняются от своего прямого пути и вследствие этого звезда немного смещается со своего нормального положения. В результате этого явления, называемого *рефракцией*, звезда скрывается за диском планеты позже, а появляется из-за него раньше, чем это было бы при отсутствии атмосферы.

Незначительная по своей высоте и плотности атмосфера дает уже чувствительный эффект рефракции, а потому наблюдения покрытий звезд представляют собою очень тонкий критерий для суждения о наличии или отсутствии атмосферы на небесном теле. Например, в отношении Луны такие наблюдения с полной несомненностью доказывают, что там наверное нет атмосферы, которая составляла хотя бы $1/100\,000$ долю атмосферы Земли.

Но большой лунный диск довольно часто покрывает звезды и потому для Луны таких наблюдений сделано очень много. Напротив, маленький диск Марса очень редко проходит между Землей и какой-нибудь достаточно яркой звездой. Поэтому мы до сих пор не имеем достоверных наблюдений рефракции на Марсе.

Во-вторых, в атмосфере происходит рассеяние света, благодаря которому солнечные лучи распространяются из освещенного полушария планеты в неосвещенное. У себя на Земле мы наблюдаем этот эффект в качестве зари и сумерок: когда Солнце закатится за горизонт и его прямые лучи к нам больше

не попадают, небо довольно долго остается светлым и на нем краски зари сменяют одна другую. Это происходит оттого, что световые лучи, передаваясь от одной молекулы воздуха к другой, распространяются далеко за пределы зоры, непосредственно освещенной солнечными лучами и создают по утрам и вечерам сумеречное освещение земли и неба. Для наблюдателя, рассматривающего планету извне, эффект сумерок проявляется в том, что граница освещенного и неосвещенного полушарий планеты, называемая терминатором, сдвигается в сторону темной зоны (так что светлой оказывается несколько более половины тела планеты), и кроме того, становится несколько размытой, так что свет плавно и постепенно переходит в темноту.

Все это мы видим на Марсе. Терминатор там всегда бывает несколько размазанным, нерезким. Кроме того, точные измерения, выполненные Ловеллом и другими, обнаруживают, что сумеречное освещение можно проследить по крайней мере до расстояния в 10° от терминатора (считая по дуге поверхности планеты). Из этого следует, что высота слоя газа, достаточно плотного, чтобы производить заметное рассеяние света, составляет на Марсе 0.01 радиуса планеты или 30 км. Для Земли из наблюдений сумерок получается высота атмосферы в 70 км. Из этого было бы, однако, неверно делать заключение, что количество воздуха (или иного газа) на Марсе лишь вдвое меньше, чем на Земле. Благодаря тому, что сила тяжести на Марсе меньше, плотность атмосферы там убывает с высотой не так быстро, как на Земле, и потому равная масса газа дает на Марсе меньшую плотность у поверхности, но большую на значительных высотах.

Третий способ доказать присутствие атмосферы на планете состоит в наблюдении деталей поверхности около края диска. Как видно из рис. 26, деталь, которая расположена у края, видна нам через гораздо большую толщу атмосферы *AB*, чем в центре диска, где луч на пути к наблюдателю проходит лишь тонкий слой воздуха *CD*. Поэтому, подвигаясь вследствие вращения планеты к краю диска, деталь поверхности должна становиться все менее отчетливой, поскольку увеличивается глубина мутноватого слоя газа между ней и наблюдателем. Этот эффект весьма отчетливо выступает на Марсе, о чем мы уже говорили, обсуждая открытия Тихова.

Четвертым признаком существования атмосферы следует считать появление облаков или туманов, из-за которых эта атмосфера в некоторых местах становится непрозрачной или

полупрозрачной. На Марсе это проявляется в том, что некоторые пятна или другие детали, обычно видимые очень резко, временами становятся мутными, едва различимыми, иногда даже пропадают совсем, скрытые мутной пеленой мглы, заполнившей газовую оболочку в данной области планеты. В других, правда редких, случаях образуются настоящие облака, имеющие вид белых или желтых пятен или появляющиеся в виде выступов

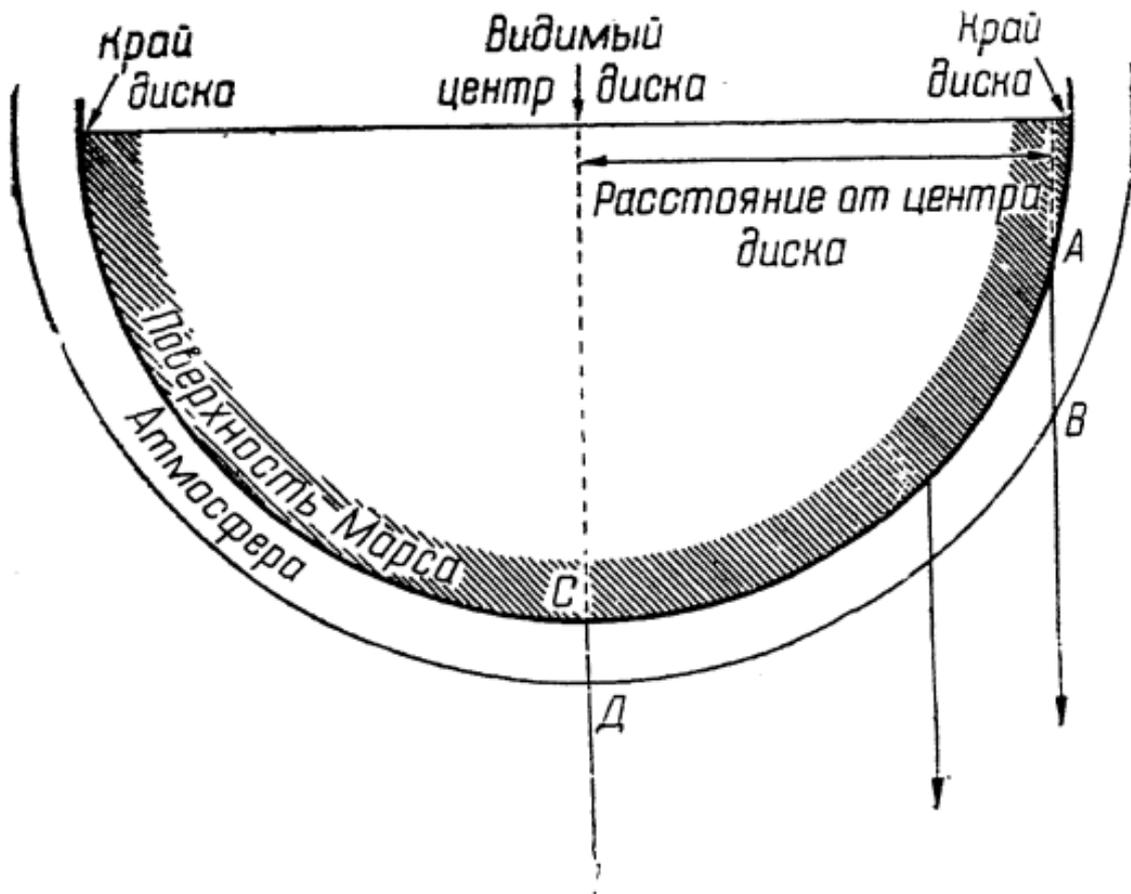


Рис. 26.

Глубина слоя атмосферы, сквозь который мы видим поверхность планеты, возрастает с приближением к краю диска.

на терминаторе. Подробному описанию этих интересных явлений дальше будет посвящен специальный параграф.

В качестве пятого довода в пользу наличия атмосферы обычно приводят сезонные перемены полярных пятен, детально описанные в предыдущей главе. Очевидно, что снег или лед, образующий эти пятна, может осадаться только из паров, входящих в состав какой-то газовой оболочки, обволакивающей планету. Даже если отдать предпочтение взглядам Аррениуса и признать белый материал этих пятен за соль, то и тогда его появление и исчезновение в зависимости от времени года нельзя объяснить без участия атмосферы, поскольку тут должны действовать явления намокания и испарения.

Можно было бы привести еще много других соображений, говорящих в пользу того, что Марс окружен атмосферой. Однако, для того чтобы убедиться в этом факте, достаточно и тех, которые перечислены выше. Но, коль скоро факт существования этой атмосферы установлен окончательно, возникает другая задача, гораздо более трудная. Необходимо суметь оценить количество газов, образующих эту воздушную оболочку, выяснить то давление, которое она оказывает на поверхность планеты и которое показывал бы помещенный там барометр.

Наконец, чрезвычайно важно установить ее химический состав. Есть ли в ней кислород, столь необходимый для жизни? Имеется ли инертный азот, составляющий основную массу атмосферы Земли?

Дать ответ на такие вопросы — задача далеко не легкая. Наблюдая Марс с Земли, мы, строго говоря, можем пытаться изучать только оптические свойства атмосферы другой планеты. Например, можем определять ее прозрачность или способность рассеивать световые лучи того или иного цвета. И уже по этим оптическим признакам, т. е., следуя путем несколько косвенным, судить о массе, плотности и давлении атмосферы. Как все это осуществляется на практике, будет изложено в следующих параграфах.

Воздушная дымка на Земле и на Марсе

Если в ясный летний день подняться на возвышенность и оглядеть расстилающийся вокруг широкий пейзаж, то убегающая вдаль местность будет казаться подернутой полупрозрачной голубой пеленой. Это — так называемая „воздушная дымка“, действие которой становится тем заметнее, чем меньше прозрачность воздуха и чем дальше от нас разглядываемый участок панорамы.

Например, близкие ёлки выглядят почти черными, особенно если они стоят против Солнца. Зато лес, отстоящий на 5—6 километров, кажется подернутым нежной голубоватой вуалью. Еще более удаленные гривы хвойного леса выглядят совсем синими, а поросшие сосной холмы, тянущиеся по горизонту километрах в двадцати от нас, едва намечаются в виде прозрачных нежных силуэтов, постепенно сливающихся с светло-голубым фоном неба.

Эта картина постепенного посветления лесов, гор и вообще темных предметов ландшафта по мере того, как увеличивается

их расстояние до наблюдателя, хорошо известна художникам-пейзажистам, которые называют ее „воздушной перспективой“ и искусно пользуются ею, чтобы создавать на своих полотнах ощущение „глубины“, т. е. отделять далекий задний план картины от близкого переднего. Для фотографа, стремящегося получить отчетливый снимок далеких гор, которые он так хорошо видит, тот же эффект является источником огорчений и разочарований: из-за него дали, вполне ясно различимые глазом, нередко совсем не выходят на снимке, исчезая в голубом сиянии воздуха, к которому фотографическая пластинка гораздо восприимчивее, чем человеческий глаз. Неудивительно, что фотографы объявили решительную войну эффекту воздушной дымки.

Причиной появления воздушной дымки является свойство воздуха (и вообще всякого газа) рассеивать проходящие через него световые лучи. В ясный день толща воздуха, расположенная между наблюдателем и далеким предметом, бывает пронизана солнечными лучами. Каждая частица, всякая молекула воздуха рассеивает какую-то долю проходящих мимо нее лучей во все стороны, а в том числе и в сторону наблюдателя. Этот отражаемый частицами газа свет и создает ту световую вуаль, которую мы видим на фоне далеких частей панорамы. Таким образом, воздушная дымка — это как бы кусочек неба, наложенный на фон далеких земных предметов.

Согласно классической теории Рэлея, частички столь малых размеров, какими являются молекулы газа, рассеивают световой луч тем сильнее, чем ближе его длина волны лежит к фиолетовому концу спектра. Математически это выражается тем, что коэффициент рассеивания для меньшего объема газа меняется обратно пропорционально четвертой степени длины световой волны. Это значит, что, например, крайние фиолетовые лучи, для которых длина волны составляет 400 м μ , рассеивают в $2^4=16$ раз сильнее, чем крайние красные лучи, для которых длина волны составляет 800 м μ . Этим объясняется как голубой цвет дневного неба, так и синие тона воздушной дымки.

Если рассеивающие частицы имеют более крупные размеры, то рассеивание всех лучей происходит с одинаковой силой. Собрание таких частиц будет иметь вид облака белого цвета. Например, обычные наши облака выглядят белыми именно потому, что образующие их водяные капельки или ледяные кристаллы имеют по сравнению с молекулами довольно крупные размеры.

В пасмурную погоду мы видим небо белым или серым, потому что над нами оказывается мощный слой из крупных рассеивающих частиц. Но далекие леса и в такую погоду резко синеют на горизонте, ибо пелена прозрачного воздуха, расположенного под облаками, попрежнему рассеивает преимущественно синие и фиолетовые лучи. Зато, чуть только начнется образование мглы или тумана и приземные слои воздуха тоже начнут заполняться крупными частичками — водяными каплями, пылинками или элементами дыма, так сейчас же воздушная вуаль теряет свои нежные голубые тона и становится безжизненно серой.

Из сказанного ясно, что если при чистом, свободном от частичек тумана воздухе мы хотим отчетливо рассмотреть далекие предметы ландшафта, то нам необходимо избавиться от лучей фиолетового конца спектра, которые, сильно рассеиваясь в воздухе, дают яркую синюю дымку. Для этой цели полевые бинокли и зрительные трубы обычно снабжаются желтыми стеклами-светофильтрами. Если, надев такое стекло на окуляр трубы, рассматривать далекую панораму, то все вредные синие и фиолетовые лучи будут задержаны и поглощены стеклом и потому видимость значительно улучшится. Еще лучших результатов можно добиться при помощи фотографии. Всякий фотограф-любитель хорошо знает, что дали следует снимать на чувствительных к красным лучам панхроматических пластинках, а перед объективом камеры при этом надо ставить желтый светофильтр. Но фотография допускает съемку и в инфракрасных лучах, совсем невидимых для глаза. Тут иногда удается получать удивительные эффекты. Бывает, что далекую гору глазом не видно, так как она скрыта ослепительным сиянием рассеянного в воздухе света, а на инфракрасном снимке она отчетливо выступает со всеми деталями.

Когда Тихов открыл, что резкость и контрастность морей на снимках Марса возрастает с переходом к красному концу спектра, то это естественно навело на мысль, что причиной этого является воздушная дымка, которая на Марсе, как и на Земле, должна скрадывать детали преимущественно в синих и фиолетовых лучах. Такой вывод подтверждался еще тем, что резкость деталей поверхности снижалась по мере того, как данная деталь при вращении планеты приближалась к краю диска. Это явление всего проще объяснить тоже влиянием атмосферного света. В самом деле, как видно из рис. 26, чем ближе расположен участок поверхности Марса к видимому

краю диска, тем больше толщина слоя воздуха, через который мы видим поверхность планеты.

Когда Райт, продолжая исследования Тихова, обнаружил, что в фиолетовых и ультрафиолетовых лучах детали поверхности совсем не видны, то он сделал из этого вывод, что Марс обладает весьма обширной и плотной атмосферой. Сравнивая снимки Марса с фотографиями земных местностей, полученных в тех же участках спектра, Райт пришел к выводу, что земной воздух дает вуалирующий эффект той же силы, какая проявляется на снимках Марса, если расстояние до снимаемого участка ландшафта составляет 18 миль, т. е. 33 км. Но вся земная атмосфера, если ее собрать в слой однородной плотности, будет иметь высоту только в 7 км.¹ Таким образом получается, что атмосфера Марса в несколько раз превосходит земную.

Этот вывод произвел среди ученых сенсацию, ибо все то, что мы знаем об атмосфере Марса на основании прежних наблюдений, заставляло, напротив, предполагать, что атмосфера эта является крайне разреженной и гораздо менее мощной, чем на Земле. Однако Райт в подтверждение своего мнения привел еще другой аргумент.

Мы уже упоминали, что диаметр Марса, измеренный по снимкам, полученным в разных участках спектра, получается различным. Именно, в фиолетовых или синих лучах диаметр Марса неизменно получается больше, чем в красных и инфракрасных. Цифры табл. 17 показывают этот *Райт-эффект* в количественной мере.

ТАБЛИЦА 12

Участок спектра	Диаметр Марса		Увеличение по сравнению инфракрасным (км)
	Угловой (для расстояния 1 астр. едн.)	линейный (км)	
Ультрафиолетовый	9.27	6716	297
Фиолетовый	9.13	6615	196
Желтый	9.17	6644	225
Инфракрасный	8.86	6419	—

¹ В действительности плотность газа в атмосфере убывает с высотой и, постепенно разрежаясь, атмосфера незаметно переходит в пустоту мирового пространства. Поэтому для атмосферы невозможно указать какую-то определенную границу. Однако можно расчетом найти ту толщину, какую имел бы слой воздуха, окружающий земной шар, если бы плотность

Райт объясняет открытый им эффект тем, что для инфракрасных лучей атмосфера Марса очень прозрачна, а потому в этих лучах мы снимаем и измеряем твердую поверхность планеты. Фиолетовые лучи, напротив, сильно рассеиваются атмосферой и дают эффект воздушной дымки. Поэтому на снимках в этих лучах мы измеряем диаметр газовой оболочки, окружающей планету, который естественно получается больше. Разность дает удвоенную высоту атмосферы Марса, вернее толщину того ее слоя, который обладает достаточной плотностью чтобы, создавать воздушную дымку надлежащей яркости.

Из чисел, приведенных выше, следует, что если все эти рассуждения правильны, то плотная часть атмосферы Марса должна иметь колоссальную высоту в 100 км или даже больше. Таким образом, измерения диаметров как будто подтверждают выводы о плотной и высокой атмосфере на Марсе.

Спор об атмосфере Марса

То удивительное различие диаметров, которое Райт обнаружил на снимках, полученных в разных участках спектра, многие склонны были считать нереальным. Ведь речь идет здесь о различиях, измеряемых всего несколькими десятками долями дуговой секунды! Достаточно самых ничтожных посторонних влияний, также меняющихся с участком спектра, и в измерениях появятся погрешности, которые приведут к ложному выводу, будто диаметр на разных снимках не вполне одинаков.

Указывалось, что дрожание изображения вследствие неспокойствия воздуха или ничтожная нерезкость изображения, вызванная недостатками стекол инструмента, может быть различной для лучей разного цвета. Другие указывали, что распространение почернения на пластинке за пределы изображения, называемое *фотографической иррадиацией* и происходящее главным образом благодаря рассеянию света в мутной среде неотфиксированного светочувствительного слоя, также будет зависеть от длины волны световых лучей. Все такие влияния и эффекты вполне могли бы создать то очень небольшое различие в диаметрах изображений на разных снимках, на котором Райт основывает свои выводы.

в нем везде была равна тому значению, которое имеет место у поверхности Земли. Высота такой однородной или приведенной атмосферы получается равной 6.99 км.

В ответ на эту критику Райт повторил свои измерения во время противостояния 1926 г. и, несмотря на ряд предосторожностей, получил те же самые результаты. Далее, известный специалист в области астрономической фотографии — Росс поставил ряд интересных опытов. Он снимал, кроме Марса, еще Юпитер и Венеру, а также искусственные модели планет, устроенные в виде ярко освещенных дисков и шаров, установленных на достаточном расстоянии от его телескопа. Для Марса эффект Райта у него получился очень резко, в то время как для других планет, а также и для искусственных моделей, он обнаружен не был. Из этого как будто следует тот вывод, что различие в диаметрах изображений Марса является реальным.

С другой стороны, В. Г. Фесенков, рассматривая вопрос теоретически, пришел к выводу, что такая большая разность диаметров, какую нашел Райт, вообще не может получиться даже и для очень плотной и высокой атмосферы, если только плотность в ней следует обычному для газа распределению с высотой над поверхностью планеты. Поясним отчего это получается.

Пусть небольшой клочок газа, ярко освещенного солнечными лучами, плавает перед совершенно черным фоном. Поскольку синие лучи рассеиваются в нем гораздо сильнее, чем красные, он непременно будет казаться голубым или синим. Нечто подобное мы и видим в действительности, когда смотрим на тонкую струйку легкого дыма, проходящую перед черным отверстием слухового окна: дым кажется нам синеватым. Но этого не будет, если из трубы поднимается густой столб дыма, ибо тот же газ или тот же аэрозоль, взятый в большой массе, уже теряет свою характерную окраску, вызванную различием в коэффициенте рассеяния.

Чтобы понять, отчего это происходит, представим себе тонкий, но глубокий слой газа (рис. 27), который освещается Солнцем по отношению к наблюдателю сбоку. Яркость этого слоя, как ее видит наблюдатель, получается от света, рассеянного в слое на разных глубинах. Разделим мысленно всю толщу газа на ряд тонких слоев, перпендикулярных направлению на наблюдателя. Первый, наружный слой, рассеивая солнечные лучи по закону Рэлея, будет иметь синий цвет. Следующий за ним второй слой тоже рассеивает по закону Рэлея и имеет такой же синий цвет. Но на пути к наблюдателю рассеянные в нем лучи проходят через первый слой и в нем рассеиваются. При этом синие лучи опять рассе-

иваются сильнее, чем красные, и потому на пути в первом слое расходуются больше. Поэтому свет от второго слоя, достигший наблюдателя, будет чуть-чуть менее синим, чем свет от первого слоя. Лучи, рассеянные в третьем слое, проходят на пути к наблюдателю уже два слоя — первый и второй. Поэтому в них количество синих лучей уменьшается еще больше, и их цвет будет еще менее синим. Поток лучей, доходящих до наблюдателя из глубоких частей толщи, проходит так много слоев, что синие лучи почти полностью рассеиваются по пути и потому выходит наружу уже не голубой, а красный свет.

Таким образом, яркость глубокого слоя освещенного газа, составляется как из богатого голубыми лучами света, рассеян-

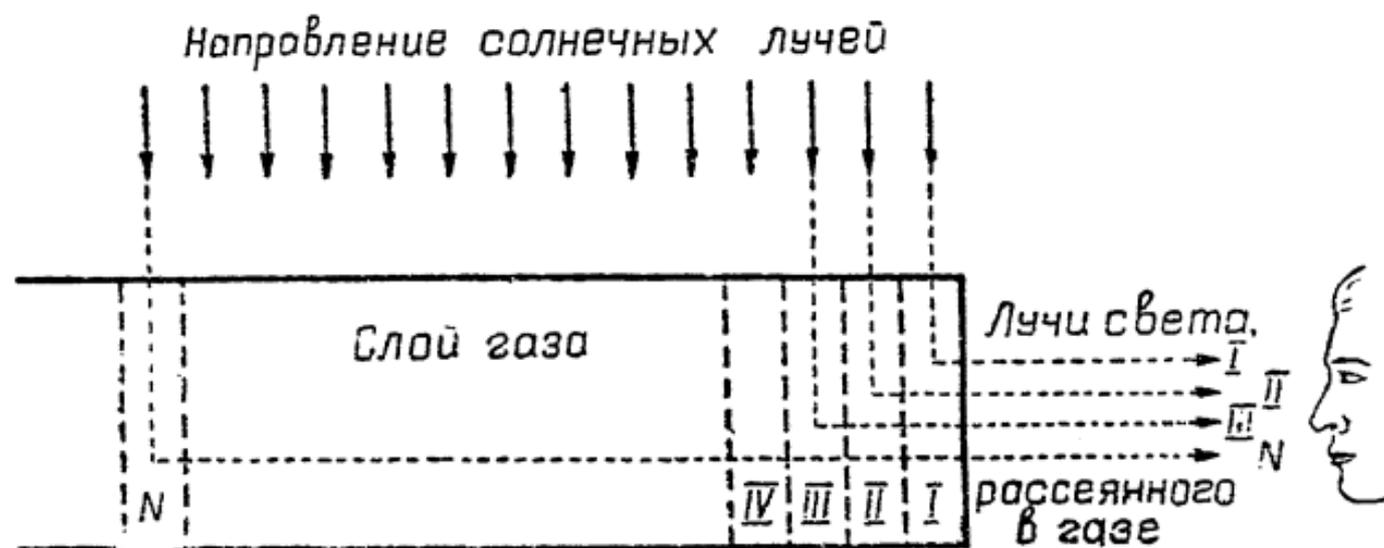


Рис. 27.

ного в поверхностных слоях, так и из состоящего в основном из красных лучей света, достигающего из глубины. Каким же будет при таких условиях цвет этого облака: голубым или красноватым?

Математическое исследование вопроса показывает, что если облако имеет настолько большую толщину, что его можно считать непрозрачным, то цвет его будет белым. Говоря точнее, соотношение между красными, синими, зелеными и всякими другими лучами солнечного спектра в отраженном от такого облака световом потоке будет точно таким же, как в том пучке солнечных лучей, который это облако освещает.

Эту зависимость между цветом и толщиной рассеивающего свет облака (следовало бы сказать — оптической толщиной) мы можем наблюдать в природе на очень многих явлениях. Возьмем для примера тот же дым: его струйка кажется нам синеватой только до тех пор, пока она очень легка и прозрачна. Но как только из трубы повалит густой дым, так сейчас же

пропадает и его синева. Еще лучше это видно на примере дневного неба. В ясную погоду над головой оно бывает темно-синим, но с приближением к горизонту эта синева ослабевает, как бы разжижается белым и у самого горизонта небо почти всегда имеет белесый цвет, в котором голубоватый оттенок едва заметен. Дело здесь в том, что когда мы переводим взор от зенита к горизонту, то наш луч зрения на пути к черной темноте мирового пространства встречает все более и более толстый слой атмосферы, что и придает рассеянному в толще воздуха свету все менее и менее синий цвет.

Пусть теперь мы имеем перед собой планету, окруженную толстой и плотной атмосферой, рассеивающей свет по закону Рэля (рис. 28). Чем ближе к твердой поверхности тела планеты, тем больше та толща атмосферы, которую пересекает луч нашего зрения. В самом деле, из рисунка мы видим, что луч, касающийся поверхности, проходит в атмосфере самый длинный путь AA , луч, удаленный от планеты на отрезок ab , проходит в газе меньший путь BB , и, наконец, луч, идущий недалеко от границы воздушного слоя, проходит в газе совсем короткий отрезок CC .

Если атмосфера планеты достаточно плотна, то слои атмосферы, прилегающие к ее поверхности, будут для такого луча, как AA , практически непрозрачны и потому будут белыми. Голубой оттенок появится, лишь начиная с некоторого расстояния от края планеты, например, начиная с луча BB . И только для крайнего луча D , испускаемого самым наружным слоем атмосферы, синяя окраска достигает своей предельной глубины и насыщенности.

Из сказанного следует, что разность диаметров Марса на снимках, полученных в различных участках спектра (например ультрафиолетовом и инфракрасном) определяется не всей толщей атмосферы, на нашем рисунке представленной отрезком ad , но только некоторой внешней зоной этой атмосферы, например, представляемой отрезком bd или даже отрезком cd . В. Г. Фесенков вычислил, чему же равна эта голубая зона для газовой атмосферы, находящейся в аэростатическом равновесии при разных предположениях относительно мощности этой атмосферы. Оказалось, что во всех случаях она получается не более 0.01 радиуса планеты, что составляет всего 34 км. Таким образом, никак не должна получиться разность радиусов в 100 км, найденная Райтом.

Чтобы объяснить эффект такой величины, пришлось бы допустить, что атмосфера Марса крайне прозрачна, но на

высоте около 100 км над поверхностью планеты в ней плавают слой какой-то мглы, рассеивающей преимущественно

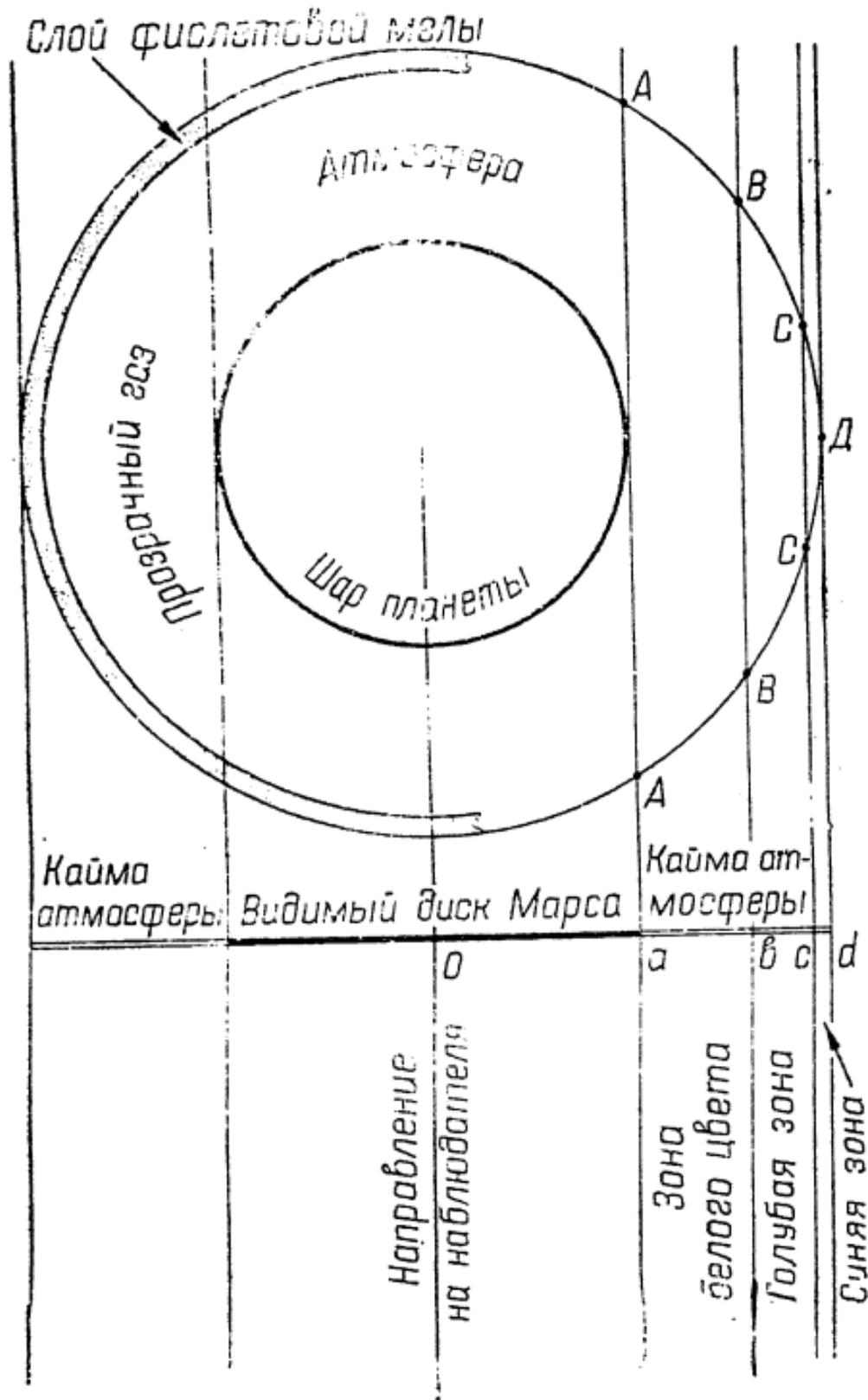


Рис. 28.

синие и фиолетовые лучи. Вот такая фиолетовая „скорлупа“ (мы ее изобразили схематически в левой половине рис. 28), охватывающая шар планеты, находясь на значительном от него расстоянии, могла бы дать голубую кайму любой ширины,

потому что ее оптическая толщина и для лучей, проходящих около поверхности, была бы небольшой. Но очень трудно объяснить, каким образом составляющие такой слой частицы могут удерживаться на такой большой высоте. Поэтому подобное предположение нужно признать лишенным всякого вероятия.

Фотометрические работы, выполненные в СССР позднее, позволили весьма просто объяснить эффект Райта, как чисто кажущееся явление, происходящее от фотографической иррадиации. Дело в том, что в фиолетовых лучах яркость на краях диска Марса оказывается примерно такой же, как и в центре (рис. 15). Поэтому на правильно выдержанных снимках край диска получается очень ярким. Но иррадиация зависит именно от яркости края изображения: чем ярче край, тем дальше распространяется почернение негатива за пределы действительного изображения. Поэтому на фиолетовых снимках иррадиация будет очень значительной. Напротив, на красных и инфракрасных изображениях мы видим быстрое падение яркости от центра к краям. Поэтому если подбирать выдержку так, чтобы середина диска получалась отчетливой, то края будут иметь небольшую яркость, а потому и иррадиация будет на красных снимках сравнительно небольшой. Вот эта разница в величине иррадиации полностью объясняет как самый эффект Райта, так и то, что этот эффект не был получен в опытах Росса. Дело в том, что ни другие планеты (Юпитер, Венера), которыми занимался этот исследователь, ни тем более его искусственные диски не обладали тем различием потемнения к краю диска в разных участках спектра, которым замечателен Марс, а потому и величина иррадиации для них не менялась от цвета.

Итак, мнение Райта о том, что открытая им разность диаметров изображений Марса доказывает наличие на этой планете высокой и плотной атмосферы, оказалось ошибочным.

То же самое можно сказать и про изменение контраста между материками и морями с переходом от одного участка спектра к другому. Если его приписывать только вуалирующему действию атмосферы, как это делает Райт, то очень трудно, даже почти невозможно, дать такую теорию этого явления, которая соответствовала бы сколько-нибудь вероятным предположениям о строении атмосферы и природе поверхности Марса. И, напротив, все легко и просто объясняется, если принять, что сама окраска поверхности Марса такова, что разница в яркости между морями и материками

снижается к фиолетовому концу спектра. В самом деле, материки — красные, а это значит, что альbedo покрывающего их материала быстро растет к красному концу спектра. Моря — серые или зеленоватые. Из этого следует, что для них альbedo меняется по спектру несильно. Поэтому, чем дальше в красную часть спектра, тем больше различие в отражательной способности между морями и материками и тем чернее кажутся моря на светлом фоне материков.

Впрочем, одними особенностями цвета объяснить ход контраста по спектру тоже нельзя. В самом деле, в фиолетовых и ультрафиолетовых лучах мы совсем не различаем никаких деталей поверхности, кроме полярных пятен. Чтобы объяснить это особенностями цвета, пришлось бы допустить, что для этих лучей вся поверхность Марса сплошь обладает совершенно одинаковым альbedo, что, конечно, совершенно невероятно. Равным образом, с точки зрения „цветовой“ гипотезы невозможно объяснить те колебания видимости деталей, которые изо дня в день происходят в синих лучах; мы уже упоминали, что в этом участке спектра, согласно наблюдениям Росса, моря то видны, то нет. Но было бы очень странно, если бы причиной этого были бы быстрые колебания альbedo, охватывающие почти целое полушарие планеты сразу.

Таким образом, мы приходим к следующему важному выводу. Изменение контраста между материками и морями на диске Марса вдоль спектра происходит от совместного действия двух причин. Во-первых, разница между альbedo морей и материков действительно снижается (и притом довольно сильно) с переходом к фиолетовому концу спектра. Во-вторых, яркость света воздушной дымки возрастает к фиолетовому концу спектра. Это оказывает тем большее влияние, что общее альbedo поверхности Марса в сторону фиолетовых лучей снижается. В результате, та сравнительно небольшая разница в яркости между морями и материками, которая определяется различиями их альbedo, в фиолетовых лучах скрадывается и замывается вуалирующим действием атмосферной дымки, так что детали поверхности становятся совсем невидимы.

Определение плотности атмосферы фотометрическим путем

Итак, совместным влиянием цветовых особенностей поверхности и действием атмосферы контрасты яркости между морями и материками на Марсе в фиолетовом свете совершенно

скрадываются. Действием атмосферы объясняется и тот известный нам уже факт, что потемнение к краю диска, столь заметное в красных и инфракрасных лучах, в синем, а особенно в фиолетовом и ультрафиолетовом участках спектра становится мало заметным, так что края диска кажутся почти столь же яркими, что и середина (рис. 15). Дело в том, что хотя ближе к краю лучи Солнца вследствие косо́го падения дают и меньшую освещенность, но зато глубина газа, рассеивающего свет в направлении наблюдателя, там больше, а потому и яркость возникающей от рассеяния в этом газе дымки выше. Это и делает край диска почти столь же ярким, как и середина.

Возникает вопрос, нельзя ли воспользоваться всеми этими явлениями для оценки мощности атмосферы Марса оптическим путем. Очевидно, для этого надо иметь надлежащую фотометрическую теорию планетных атмосфер. Иными словами, необходимо вывести такие формулы, которые позволяли бы вычислить яркость воздушной дымки в зависимости от условий освещения и свойств атмосферы или, наоборот, по измеренной яркости дымки определять физические особенности того слоя газа, который эту дымку производит.

Это — старая и большая проблема, которой усиленно занимаются уже с прошлого столетия. Но трудности математического порядка, которые возникают здесь перед исследователем, настолько велики, что и сейчас еще их полностью преодолеть не удалось.

Дело в том, что каждый элемент газовой среды получает свет трех типов. В первую очередь, его освещают прямые лучи Солнца. Рассчитать ту яркость дымки, которая от этого получается, довольно просто. Правда, для этого надо знать так называемую *индикатриссу рассеяния*. Под этим именем понимается диаграмма, изображающая распределение рассеянного света по направлениям. Ряд индикатрисс изображен на рис. 29. В центре диаграммы предполагается элемент объема рассеивающего газа, а пучок солнечных лучей падает на него в направлении, показанном длинной стрелкой. Солнечные лучи рассеиваются в газе во все стороны, однако в разных направлениях с различной силой. На диаграмме для каждого направления откладывается отрезок, по длине пропорциональный силе рассеяния в данную сторону. Кривая линия, проведенная через концы всех отрезков, наглядно показывает, как распределяется рассеянный свет по разным направлениям. Мы видим, что, например, для чистого газа (1) получается симметричная

фигура бисквитообразной формы, так что в этом случае вперед и назад рассеивается одинаковое количество света, в то время

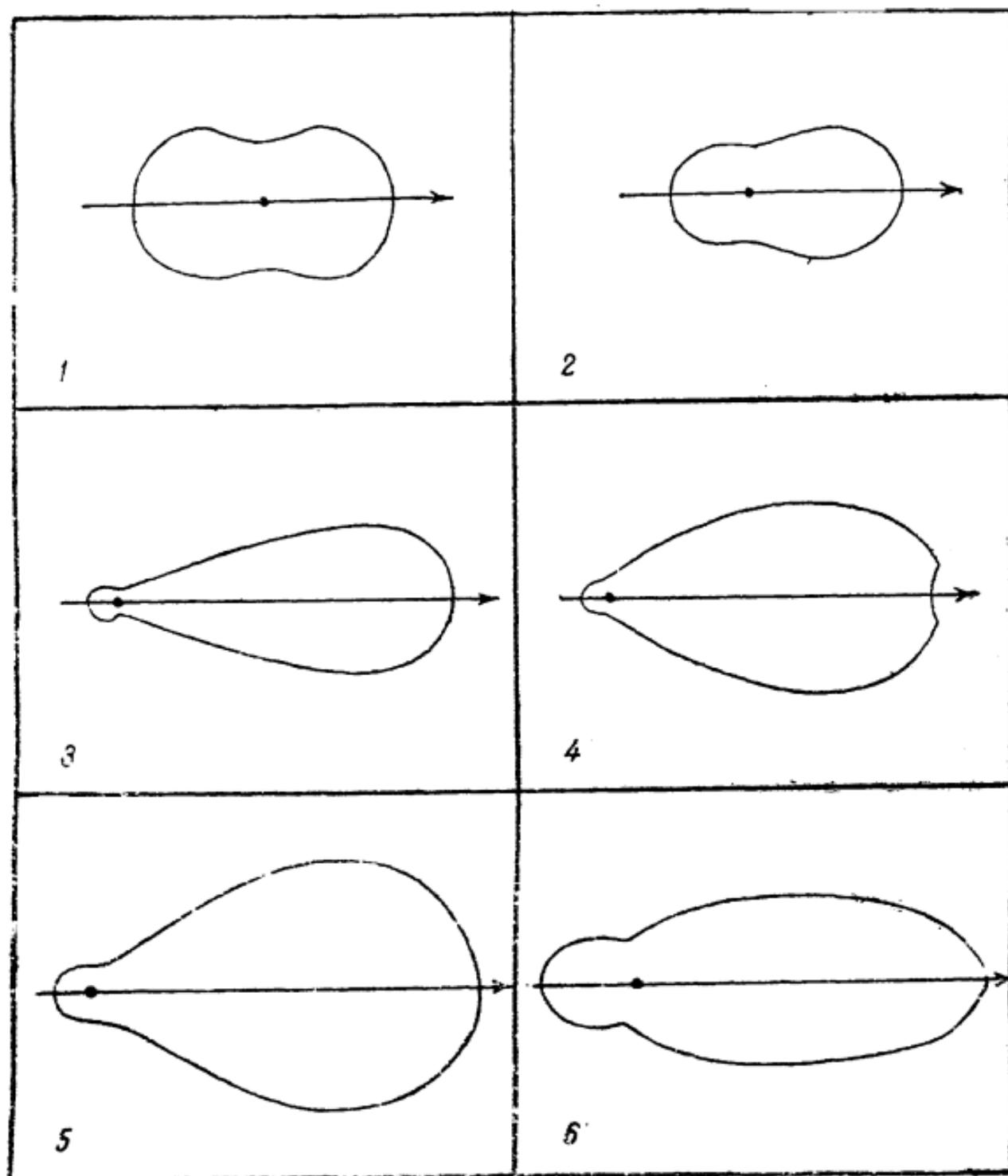


Рис. 29. Индикатриссы рассеяния.

1—Закон Рэлея; 2—4—теоретические расчеты В. В. Шулейкина для рассеивающих частиц равного размера; 5—по измерениям Минаэрта в приземном слое воздуха; 6— по распределению яркости на небесном своде (В. В. Соболев).

как в бок рассеивается меньше. Если рассеивающим материалом являются крупные частицы, плавающие в воздухе, как, например, пылинки, водяные капли или кристаллики льда, то получается индикатрисса, сильно вытянутая вперед. На рисунке

приведены несколько таких индикатрисс, полученных В. В. Шулейкиным путем расчета на основании теории Ми (2—4). Наиболее вытянутой оказывается индикатрисса, полученная для земной атмосферы из наблюдений распределения яркости по дневному небу (б). Как указал В. Г. Фесенков, происхождение такой индикатриссы в настоящее время не может быть объяснено теоретически.

Пройдя атмосферу, солнечные лучи достигают поверхности планеты и отражаются обратно. Таким образом, вторым источником освещения атмосферы является свет, отраженный поверхностью.

Далее, свет рассеянный в какой-нибудь точке заполненного газом пространства попадает на соседние частицы газа и отражается ими вторично. Дважды отраженный луч может снова попасть на частицу газа и отразиться в третий раз, потом в четвертый, пятый, десятый раз. Такое многократное рассеяние луча в атмосфере составляет явление *рассеяния высших порядков* или *эффект самоосвещения* атмосферы, который следует рассматривать как третий источник освещения газовой толщи. Расчет яркости, которая им создается, оказывается делом исключительной сложности. Еще в 1887 г. известный русский физик, профессор О. Д. Хвольсон, показал, что точное решение задачи приводит к интегральному уравнению довольно сложного вида. Над исследованием этого уравнения трудились многие отечественные и зарубежные ученые.

За последние годы в этой области были достигнуты особенно большие успехи. Благодаря трудам наших выдающихся теоретиков: В. А. Амбарцумяна, В. А. Фока, Е. С. Кузнецова и других, были найдены новые точные и приближенные решения задачи рассеяния света в мутной среде.

Применение теории рассеяния света к атмосфере Марса выполнялось многими авторами. Так, Менцел, анализируя теоретически изменение контрастов с участком спектра, находит, что количество газа над единицей площади поверхности составляет 18% от того, что есть на Земле. Это значит, что ртутный барометр показывал бы там давление 137 мм (против 760 мм у нас). Но так как сила тяжести на Марсе составляет 0.38 от земной, то вес столба газа, а с ним и давление, которое он оказывает на поверхность планеты, там будет соответственно меньше и потому барометр-анероид, измеряющий именно силу давления (упругость газа, а не его массу), показывал бы только $137 \times 0.38 = 52$ мм.

Строго говоря, фотометрическое исследование диска планеты может дать только оптическую характеристику атмосферы, например так называемый *коэффициент прозрачности*. Напомним, что последний представляет собою ту долю лучей, которая доходит до поверхности планеты от светила, стоящего в зените, т. е. прямо над головой. В этом случае пучок лучей падает на поверхность планеты перпендикулярно (отвесно) и поэтому проходит в атмосфере самый короткий путь. Если при таких условиях яркость светила, как она видна с поверхности планеты, обозначить через I , а действительное, т. е. не ослабленное атмосферой значение яркости — через I_0 , то для коэффициента прозрачности p мы будем иметь такое выражение

$$p = \frac{I}{I_0}.$$

Для земной атмосферы значение p в зависимости от условий погоды и степени чистоты воздуха заключается в пределах от 0.7 до 0.9 (лучи середины видимого спектра), будучи в среднем близким к 0.8.

Барабашев и Семейкин, по наблюдениям 1933 г., получили значения для коэффициента прозрачности атмосферы Марса, приведенные в табл. 13.

ТАБЛИЦА 13

Участок спектра	Длина волн λ , μ	p
Синий	461	0.427
Желтый	563	0.905
Красный	649	0.983

Данные по красным и желтым лучам дают для давления атмосферы у поверхности значение 97 мм по ртутному барометру или 37 мм по анероиду. Но в синих лучах получается ненормально низкое значение прозрачности. В 1939 г. эти исследования были повторены, причем были получены такие числа

	p
Красные лучи	0.951
Синие лучи	0.860

Это как раз такое соотношение, какого следует ожидать согласно теории Рэлея, если атмосфера Марса состоит из

чистого газа. Для давления атмосферы это дает значения 450 мм (ртутный барометр) и 170 мм (анероид).

Во время того же противостояния 1939 г. Шаронов получил для давления атмосферы на Марсе число 90 мм.

Снимки Марса, полученные в 1939 г. экспедицией Ленинградского университета в Ташкенте, были подвергнуты детальному фотометрическому анализу. Сытинская вычисляла значения прозрачности атмосферы сначала с учетом рассеяния только прямых лучей Солнца, т. е. без учета самоосвещения и света, отраженного поверхностью. Потом Фесенков обработал тот же материал, учитывая свет, отраженный поверхностью, но пренебрегая рассеянием высших порядков. Наконец, Сытинская повторила свои вычисления, учитывая как отражение от поверхности, так и самоосвещение. Результаты, зависящие от той индикатриссы, которая была принята при расчете, сведены в табл. 14.

ТАБЛИЦА 14

Автор		Фесенков		Сытинская		
		Рэдея	вытянутая	Рэдея	вытянутая	
Учет	отражение поверхностью	есть	есть	нет	есть	есть
	самоосвещение	нет	нет	нет	есть	есть
Участок спектра (длина волны в мμ)	380	—	—	0.81	0.86	0.89
	430	0.88	0.82	0.84	0.90	0.93
	560	0.95	0.90	0.90	0.95	0.97
	630	0.97	0.93	0.92	0.97	0.97
	730	0.98	0.95	0.95	0.98	0.98

Как видим, результат расчета довольно сильно зависит от тех предположений, которые делаются относительно индикатриссы рассеяния в атмосфере. Полученный ход прозрачности по спектру здесь не удовлетворяет закону Рэдея, согласно которому коэффициент ослабления света, равный $-\lg p$ должен меняться обратно пропорционально четвертой степени длины световой волны. Из этого можно сделать то заключение, что атмосфера Марса, несмотря на свою разреженность, довольно

сильно засорена какими-то крупными частицами, например пылинками, водяными капельками или ледяными кристалликами. Если это так, то результаты расчетов, выполненные для вытянутой индикатриссы, вероятно, будут ближе к истине, чем сделанные в предположении рассеяния по Рэлею.

Сытинская делает попытку отделить в общем ослаблении ту часть, которая вызывается рассеянием света на молекулах газа от той, которая обуславливается действием более крупных частиц.

Считая, что давление атмосферы определяется только количеством молекул газа, она получает для воздушного давления у поверхности Марса значение 123 мм по ртутному барометру или 46 мм по барометру анероиду.

Те числа, которые были приведены выше, конечно, нельзя считать особенно надежными, но все же они позволяют утверждать, что атмосфера Марса является более прозрачной, и более разреженной, чем атмосфера Земли. Поэтому взгляды, согласно которым Марс окружен высокой и мало прозрачной газовой оболочкой, надо признать находящимися в противоречии с фотометрическим анализом явлений, наблюдаемых на диске этой планеты.

Облака и ветры на Марсе

Если посмотреть на Землю с какой-нибудь другой планеты, например с Луны, то мы отнюдь не увидим на ней столь знакомых нам по урокам географии очертаний океанов и материков. Вместо этого на диске планеты перед нами окажется причудливый и непонятный узор, составленный из белых и темных пятен, медленно меняющих свою форму и расположение. Эти пятна — не что иное, как облака, застилающие около половины видимого полушария Земли и имеющие резко белый цвет. Лишь в тех темных на вид промежутках, где атмосфера свободна от облачных прослоек, мы смогли бы различить мутные очертания воды и суши, сильно затушеванные голубоватой вуалью воздушной дымки.

На Марсе мы не находим ничего подобного. Рассматривая его диск в телескоп, мы всегда отчетливо видим на нем рыжеватые пространства материков и темные области морей. А это значит, что белых облачных покровов на этой планете нет. Однако образования, которые до некоторой степени можно уподобить нашим земным облакам, там, хотя и редко, но все же появляются.

Чаще всего это выражается в том, что те или иные области, обычно богатые различными деталями, заволакиваются каким-то желтоватым покровом и потому становятся невидимы. Такие случаи отмечаются и описываются почти при каждом противостоянии планеты. Правда, тут все же остается повод для сомнений: плохая видимость деталей диска может происходить от разных причин, не только от помутнений на Марсе.

В других случаях облака появляются у терминатора и имеют вид светлых выступов, вдающихся в ночную, не освещенную часть Марса (рис. 30). Это легко объясняется тем, что облачные массы плавают довольно высоко в атмосфере и потому Солнце освещает их уже тогда, когда для поверхности оно скрыто еще под горизонтом. Ведь и у нас на Земле облака бывают ярко освещены солнечными лучами довольно долго после того, как солнечный диск скрылся за горизонтом. Измерив длину выступа, нетрудно рассчитать и высоту облака над поверхностью планеты. Например, для громадного выступа, который Ловелл и Слайфер наблюдали 25 мая 1903 г., была получена высота в 27 км. Это облачное образование простиралось в длину на 480 км и двигалось со скоростью 25 км в час.

Изучение таких явлений представляет исключительный интерес, так как дает нам возможность исследовать направление и скорость воздушных течений на Марсе. Чаще всего скорость перемещения облаков заключается между 15 и 30 км в час.

В некоторых случаях удавалось подметить, что путь их не прямой, а изогнутый. Это позволяет предположить, что ветры на Марсе, подобно потокам воздуха в земных циклонах, уклоняясь под влиянием вращения планеты от прямолинейного направления, образуют в атмосфере громадные вихри, подобные нашим циклонам.

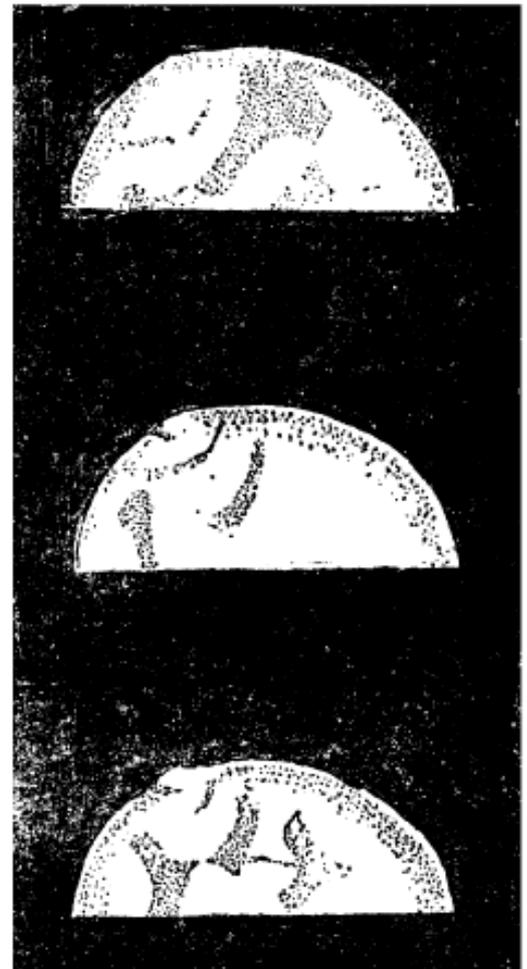


Рис. 30. Облачный выступ на терминаторе Марса, по наблюдениям 1924 г.

За последние годы облака описываемого типа не раз удавалось фотографировать. Подобно прочим деталям поверхности они хорошо выступают на снимках, полученных в желтых или красных лучах, но не видны на изображениях, полученных в лучах фиолетовой или ультрафиолетовой части спектра. Из этого следует, что характерной особенностью этих облаков является их красновато-желтый цвет. Эта окраска, практически совпадающая с оттенками материков, подтверждается также визуальными оценками их цвета.

Так как обычные облака, состоящие из сгущающегося в капельки водяного пара, всегда имеют чисто белый цвет, то облачные массы на Марсе, очевидно, не могут состоять ни из водяных капель, ни из снежинок. Ловелл предполагает, что они представляют собою тучи пыли, поднятой с поверхности планеты ветром. Если это верно, то появление желтых облаков на Марсе свидетельствует о пыльной буре, разыгрывающейся в данной местности.

Такой взгляд на природу желтых облаков оспаривается Райтом, который считает, что собрание пыли таких размеров не могло бы подниматься на высоту порядка 30 км над поверхностью планеты и так долго плавать над ней. Для объяснения желтой окраски облаков Райт выдвигает другое предположение. Именно, он считает, что облака эти представляют собою конденсирующийся пар и подобно земным облакам имеют в действительности белый цвет. Но атмосфера Марса, которая, по воззрениям этого исследователя, имеет очень большую высоту, обладает способностью сильно поглощать (не только рассеивать) синие и фиолетовые лучи, хорошо пропуская красные. Поэтому белое облако, наблюдаемое сквозь ее толщу, и кажется желтоватым.

Повидимому, кроме желтых облаков на Марсе наблюдаются и небольшие облачные покровы белого цвета. Они или образуются по краям тающих полярных пятен, или же в виде ярко белых блесков украшают области, прилегающие к терминатору планеты.

Впрочем, относительно явлений такого рода еще можно спорить, что именно они означают: атмосферные образования облачного типа или же какой-то твердый светлый налет на самой поверхности Марса. Такой налет мог бы быть инеем (так думает большинство исследователей) или выцветами солей (взгляд Аррениуса).

Совсем особый вид атмосферных образований представляют собою те изменчивые белые пятна, которые были открыты

Райтом на фиолетовых и ультрафиолетовых снимках. Ни глазом, ни на снимках в желтых или красных лучах их совсем не видно (рис. 31). Следовательно, это ни в коем случае не облака.

Образования эти чаще всего появляются около терминатора, где они собираются в крупные белые пятна, видом и очертаниями очень напоминающие полярные шапки. В других случаях они тянутся в виде вытянутых полос или узких серпов вдоль терминатора или же окаймляют края диска. Реже они выступают в виде округлых светлых пятен в средних частях видимого полушария планеты.

Пятна Райта очень непостоянны. Их характер и расположение на диске изо дня в день бывает совсем различным. И они довольно быстро перемещаются по поверхности планеты. Их изменения иногда происходят настолько быстро, что даже на протяжении одной ночи облик этих образований может претерпеть существенные перемены. В 1926 г. Райт пытался даже воспользоваться киносъемкой для регистрации таких явлений, впрочем, без особого успеха. Зато на снимках, полученных во время этого противостояния, ему удалось обнаружить, кроме светлых образований, еще какие-то темные пятна столь же непостоянных очертаний.

Что же представляют собой пятна Райга? Наиболее вероятное предположение состоит в том, что — это местные помутнения атмосферы, нечто вроде легкой, едва заметной мглы, по временам появляющейся в газовой оболочке Марса. Эта мгла должна состоять из очень мелких частичек, поперечник которых того же порядка, что и размеры молекул газа. Только в этом случае можно объяснить то, что их видно в фиолетовых и ультрафиолетовых лучах, ибо только весьма малые элементы среды дают рассеяние, следующее закону Рэлея. А видимость помутнений именно в фиолетовых лучах происходит скорее всего оттого, что частички мглы сильно отражают лучи фиолетового конца спектра и слабо рассеивают все прочие лучи. То, что пятна Райта появляются преимущественно в экваториальном поясе планеты и притом почти всегда там, где на Марсе раннее утро или вечер, заставляет предполагать, что они вызываются какими-то продуктами конденсации, выделяющимися в морозной атмосфере и испаряющимися в теплые околополуденные часы. Вероятнее всего, что эти помутнения представляют собою мельчайшие элементы влаги. Быть может, та морозная мгла, которая стелется у нас по земле в очень холодные безоблачные зимние ночи и придает

восходящему солнцу багрово-красный цвет, является некоторой аналогией тому, что мы видим на Марсе.

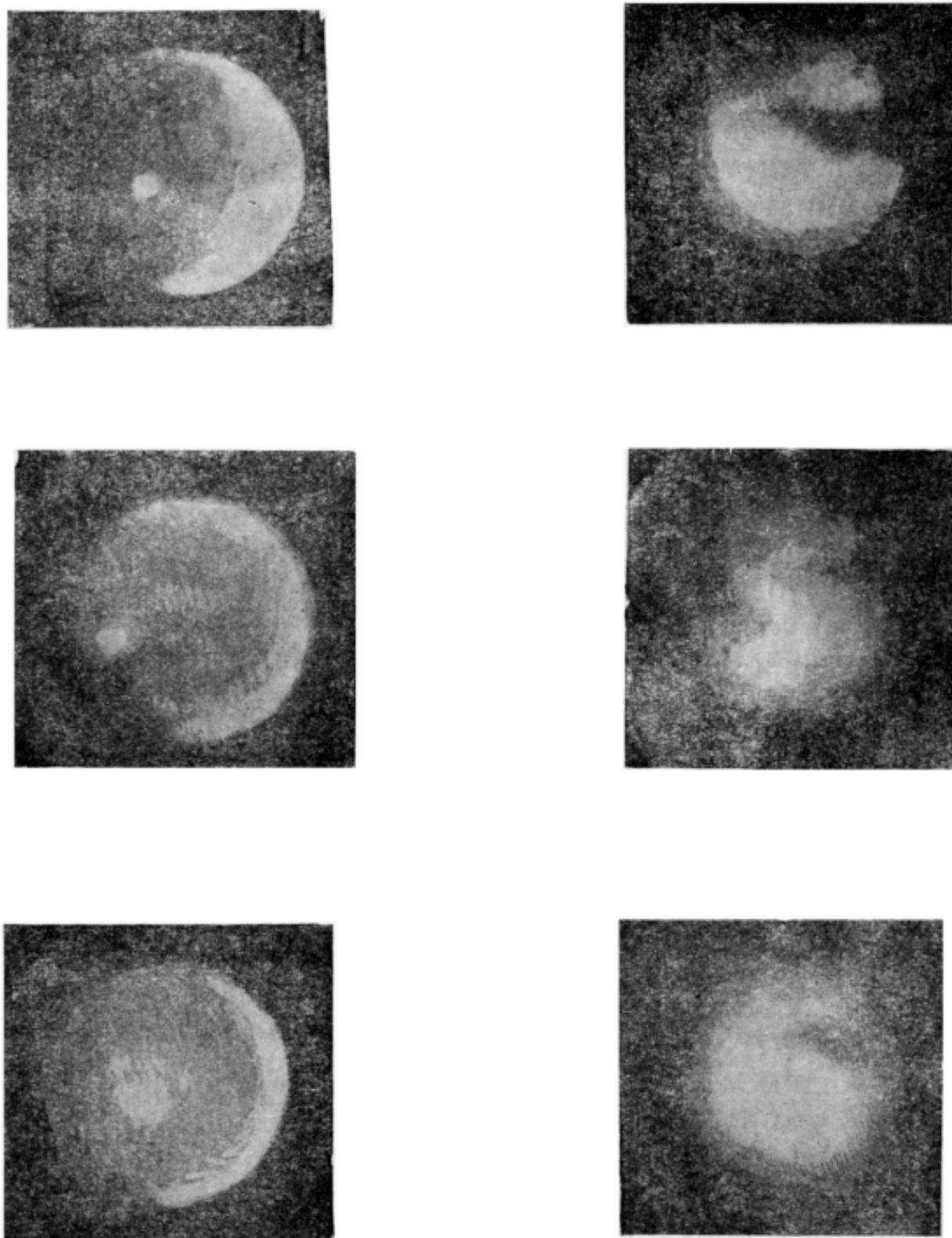


Рис. 31. Облачные образования, открытые Райтом.

Хорошо видимы на снимках, полученных в ультрафиолетовых лучах (слева) и совсем не видимы в желтых и красных лучах (справа).

Фотометрически феномен Райта был изучен Сытинской, которая нашла, что в области пятен яркость диска только

за 5—10% выше, чем в других местах. Этому соответствует сравнительно небольшое изменение прозрачности атмосферы. А поскольку пятна концентрируются у вечернего и утреннего терминаторов, то их появление означает, что на Марсе прозрачность атмосферы имеет довольно резко выраженный суточный ход.

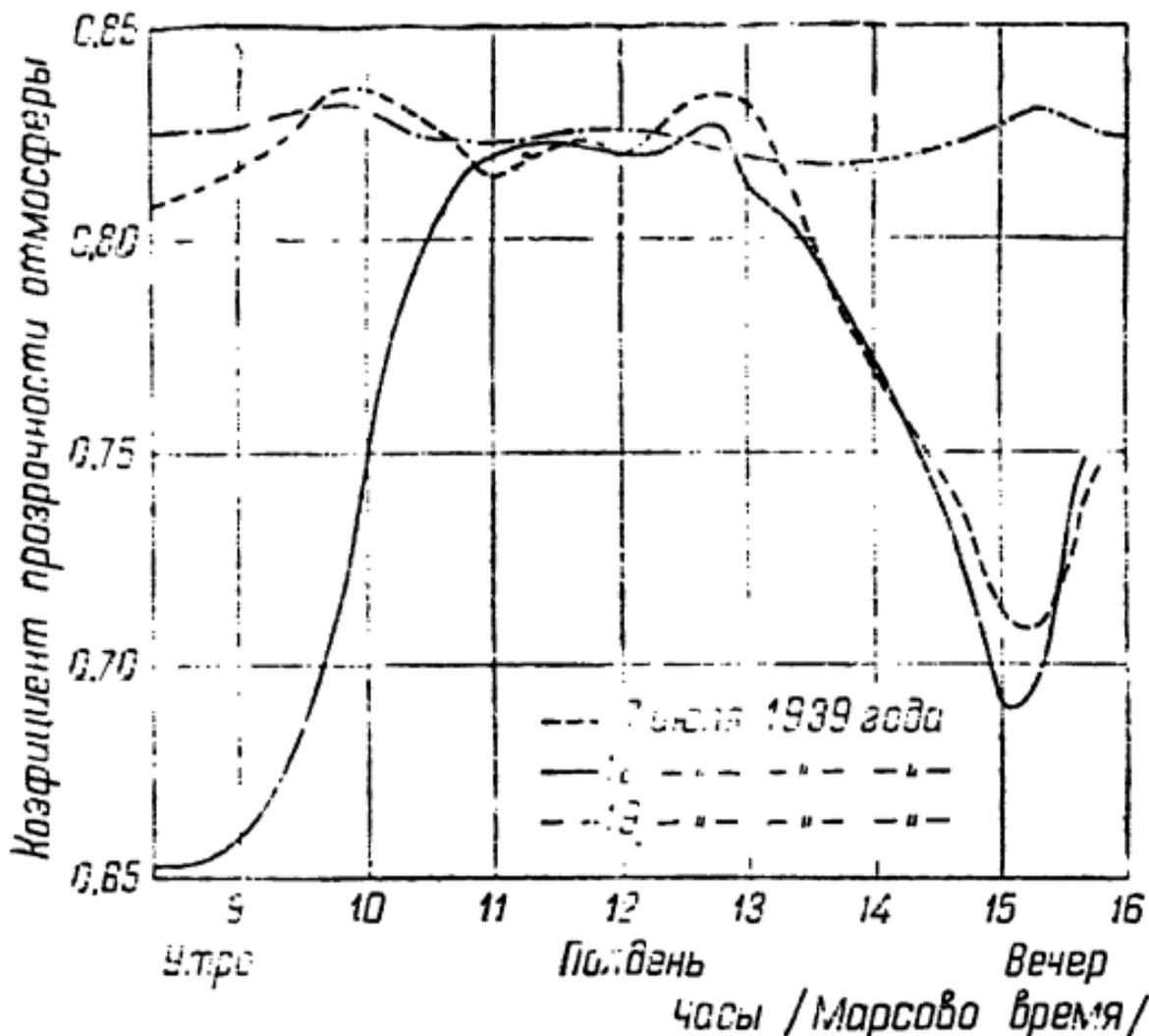


Рис. 32. Суточный ход прозрачности атмосферы на Марсе в фиолетовом участке спектра (по Сытинской).

19 июля прозрачность была постоянной; 7 июля утром была нормальной, а к вечеру произошла помутнение; 12 июля помутнения наблюдались и утром и вечером, так что только в полдень атмосфера прояснялась.

Именно, начиная от восхода Солнца, прозрачность атмосферы увеличивается, и в послеполуденные часы воздух становится наиболее прозрачен. Позднее атмосфера опять мутится и ее прозрачность падает. На рис. 32 даны кривые суточного хода прозрачности для некоторых дней наблюдений, причем часы, по которым построен график, дают Марсово время, считаемое от полуночи на этой планете.

Химический состав атмосферы Марса

Нашими сведениями по химии небесных тел мы обязаны спектральному анализу. Этот могущественный метод научного исследования позволяет выполнять тончайший химический анализ атмосферы Солнца, он сообщает нам о составе отдаленнейших звезд и туманностей. Но в отношении планет он дает довольно мало.

Отражение света от твердой или облачной поверхности планеты не вносит в спектр никаких новых линий или резких, узких полос. Оно только меняет соотношение в яркости отдельных участков спектра, поскольку одни лучи отражаются от поверхности сильнее, другие — слабее. Этим мы и пользовались в главе III, когда изучали природу материков, морей и полярных шапок Марса. Но это далеко еще не химический анализ материала. Потому что спектральный метод изучения химического состава основан на исследовании и измерении узких черных линий в спектре, называемых *фраунгоферовыми линиями*. А эти линии в спектре Марса — точно такие же, что и в спектре Солнца, потому что свет, испускаемый планетой, есть не что иное, как отраженные солнечные лучи.

Новые линии или узкие полосы может вносить в спектр только атмосфера, которую лучи проходят дважды: на пути от Солнца к поверхности и после отражения от поверхности на пути к Земле. В своем месте мы уже говорили, что в спектре некоторых планет, как, например, у Юпитера и Сатурна, мы легко находим ряд новых темных полос, которых в спектре Солнца нет. Они получаются вследствие поглощения определенных узких участков спектра теми газами, которые содержатся в атмосфере этих планет. Сравнивая эти полосы с тем, что нам известно из лабораторных экспериментов, мы можем сказать, какие же это газы. Например, в случае больших планет солнечной системы дополнительные линии указывают на наличие там метана или болотного газа CH_4 и аммиака NH_3 . Что же дает такой метод исследования в отношении Марса?

Исследования Марса при помощи спектроскопа начались с середины прошлого столетия, когда Геггинс, Миллер, Фогель, Фламарион, Жансен и другие тщательно изучали спектр Марса, пытаясь отыскать в нем какие-нибудь новые линии, вызванные действием атмосферы планеты. Результаты получались неопределенные: наблюдателям то казалось, что они видят такие линии, то, напротив, не находят их. В конце кон-

цов все согласились с тем, что каких-либо собственных линий или полос спектр Марса не содержит.

Однако этот вывод, полученный на основании довольно примитивных наблюдений глазом еще не исчерпывал вопроса и вот почему. С самого начала предполагалось, что в атмосфере Марса содержатся те же самые газы, из которых состоит и наша земная воздушная оболочка. В первую очередь это должны были быть азот, кислород и водяной пар. Но азот не дает в доступной для наблюдения части спектра ни одной линии, а потому нечего было и думать искать его спектроскопическим путем. Кислород и водяной пар, напротив, дают в спектре вполне заметные, легко наблюдаемые линии. Но именно потому, что эти газы входят в состав земной атмосферы, обнаружить их на Марсе оказалось исключительно трудно.

Дело в том, что на пути к земному наблюдателю лучи всякого светила проходят сквозь толщу земной атмосферы. При этом содержащиеся в ней кислород и водяной пар поглощают часть лучей, вследствие чего в спектре появляются темные полосы поглощения. Эти атмосферного происхождения линии называются *теллурическими* — от латинского названия Земли — *Tellus*. В отличие от тех линий, которые принадлежат атмосфере светила, например, Солнца или звезды, линии эти усиливаются по мере того, как светило опускается к горизонту. Причина здесь, конечно, в том, что чем ниже расположено светило на небе, тем длиннее тот путь, который его лучи проходят в земном воздухе. Кроме того, полосы, происходящие от водяного пара, меняют свою интенсивность с условиями погоды: чем больше влаги в атмосфере, тем чернее становятся эти полосы.

Если в атмосфере Марса содержится кислород или водяной пар, то вызываемые ими линии появятся как раз в тех местах спектра, где лежат теллурические линии, вызванные газами земной атмосферы. Поэтому присутствие этих линий в атмосфере Марса ровно ничего не доказывает. Указанием на наличие кислорода или водяного пара на Марсе могло бы быть только усиление теллурических линий по сравнению с тем, что мы видим в спектре Солнца. Это заставило направить исследования спектра Марса по новому пути.

Для того чтобы установить, усиливаются ли теллурические линии атмосферой Марса или нет, стали тщательно сравнивать спектр Марса со спектром Луны, расположенной на той же высоте над горизонтом. Луна отражает те же солнечные лучи, что и Марс, но атмосферы на ней нет. Поэтому

теллурические линии в спектре ее лучей представляют влияние земной атмосферы в чистом виде.

Сначала пытались выполнять сравнение при помощи визуального наблюдения в спектроскоп, что, конечно, было очень неточно, потому что спектры Луны и Марса приходилось рассматривать поочередно. С 1879 г. в этом деле стала применяться фотография. Геггинс получил на одной и той же пластинке спектры Марса и дневного неба, причем никакой разницы между ними не оказалось. В дальнейшем сравнение спектров Луны и Марса делалось много раз, но результаты получились противоречивые. Так, Кэмпбелл и Фогель в 1894 г., а также Килер и Маршан в 1895 г. не смогли обнаружить никакой разницы в линиях, в то время как Слайфер в 1908 г. нашел линии водяного пара в спектре Марса более интенсивными и на основании этого сделал тот вывод, что атмосфера Марса обладает значительной влажностью. Физик Вери подверг спектрограммы Слайфера тщательному измерению и подтвердил этот результат. Полосы водяного пара и кислорода в спектре Марса оказались в 2.5 раза интенсивнее, чем в спектре Луны. Из этого выходило, что атмосфера Марса содержит больше влаги, чем земная.

Для того чтобы проверить этот важный результат в возможно более благоприятных условиях, Кэмпбелл во время следующего великого противостояния Марса в 1909 г. предпринял специальную экспедицию на вершину горы Витней (самый высокий пункт в США, расположенный на 4420 м выше уровня моря). Слой атмосферы, лежащий над этим местом значительно тоньше, а потому и теллурические линии будут соответственно слабее, благодаря чему гораздо легче подметить влияние атмосферы Марса, особенно если оно невелико. Сравнение спектра Марса со спектром Луны, выполненное весьма тщательно и с соблюдением всех необходимых предосторожностей, на этот раз не обнаружило никакого различия в интенсивности линий как водяного пара, так и кислорода. Это означало, что если эти газы и имеются на Марсе, то лишь в очень небольшом количестве. Последующая оживленная дискуссия по этому вопросу, в которой приняли участие многие астрономы, не прибавила, однако, ничего нового.

Причина расхождений несомненно кроется в том, что надежно обнаружить небольшое различие в черноте спектральных линий очень трудно. Луна и Марс — светила слишком различные по виду, яркости и цвету, а потому в такое сравнение входит множество посторонних влияний, обнаружить и учесть которые

часто бывает невозможно. Кроме того, сильно вредит земная атмосфера. Луну часто приходится наблюдать в другие часы ночи или в другой стороне неба, и потому количество паров, от которого зависят полосы в ее спектре, может быть не таким, как для Марса.

В конце XIX в. Кэмпбелл предложил новый способ исследования состава атмосферы Марса. При известном расположении Марса и Земли на их орбитах расстояние между этими планетами быстро меняется: Марс или приближается к нам, или удаляется от нас. Скорость такого приближения и удаления может доходить до 19 км в секунду. Но мы знаем, что если светило приближается к наблюдателю, то все линии его спектра сдвигаются в сторону фиолетового цвета, а если удаляется — то в сторону красного. Это так называемый принцип Доплера — Физо, которым в современной астрономии так широко пользуются для изучения движения звезд и других светил по лучу зрения.

Когда Марс быстро приближается к Земле или удаляется от нее, то линии в его спектре тоже будут казаться сдвинутыми. А теллурические линии, вызванные газами нашей атмосферы, при этом остаются на своем нормальном месте. Поэтому, если атмосфера Марса дает такие же линии в спектре этой планеты, что и атмосфера Земли, то в дни, когда скорость Марса по отношению к нам будет наибольшей, эти линии должны раздвоиться. Вместо одной линии будет видно две: одна, земная, на своем обычном месте, другая — марсова — сдвинутая соответствующим образом.

Кэмпбелл пытался применить такой метод исследования в 1896 г., но не мог прийти к окончательному решению, так как его аппараты были для этого недостаточно совершенны. Сдвиг линий должен получиться очень незначительный и нужен спектрограф с очень большой дисперсией, чтобы его обнаружить. В 1905 г. такие исследования повторил Ловелл, но результат оказался отрицательным: ни раздвоения линий, ни хотя бы их расширения заметить не удалось. То же получилось и в 1910 г., когда наблюдения опять выполнял Кэмпбелл, но при помощи более мощной аппаратуры.

В 1925 г. Адамс и Сент-Джон снимали спектр Марса при помощи большого 6-призмового спектрографа, установленного на 60-дюймовом телескопе обсерватории Маунт Вильсон. Марс в это время приближается к Земле со скоростью 18 км в секунду. Изучение полученных спектрограмм показало, что линии кислорода и водяного пара явно расширены и притом

именно в ту сторону, куда было нужно. Правда, линии Марса выходили слабее земных: их интенсивность для водяного пара составляла только 9% от соседней теллурической линии, а для кислорода — 37%. Из этого можно было сделать вывод, что количество водяного пара в атмосфере Марса составляет приблизительно 5% от того, что имеется на Земле, а кислорода — 15%. Это, конечно, весьма немного, но все же, казалось, что великая проблема была решена и наличие важнейших газов в атмосфере Марса доказано. Однако заключение это оказалось преждевременным.

В 1933 г. Адамс и Денхем продолжили спектроскопические исследования планет, начатые в предыдущие годы. Они получили обширную серию снимков Марса как в ту пору, когда он приближался к Земле, так и при его удалении от нас. Расчеты показали, что при использованной аппаратуре — дифракционный спектрограф с большой дисперсией — кислородная линия *B* непременно должна была бы раздвоиться. Однако никаких следов раздвоения обнаружить не удалось. Из этого приходится сделать тот вывод, что количество кислорода на Марсе не составляет и 1% от того, что есть в земной атмосфере.

В 1937 г. Адамс и Денхем повторили свои исследования. На этот раз они тщательно изучали область спектра около 720 м μ , где сосредоточено большое количество линий водяного пара. Самое тщательное исследование, выполненное как при помощи микроскопа с микрометром, так и на саморегистрирующем микрофотометре, не обнаружило никаких следов влияния атмосферы Марса. Не оказалось не только ожидавшегося раздвоения линий, но и хотя бы самого незначительного их расширения.

Но ведь атмосфера Марса несомненно существует! Чем же объяснить то, что все попытки обнаружить ее влияние на спектр остаются безрезультатными? Дать ответ на этот вопрос сейчас не представляется возможным. Мы имеем здесь перед собой одну из тех загадок, разрешение которых принесут лишь будущие исследования.

Климат Марса

В течение долгого времени вопрос о той температуре, которую имеют поверхность почвы и приземные слои атмосферы на Марсе, был предметом различных догадок и теоретических рассуждений. С самого начала было признано почти всеми,

что на Марсе должно быть холоднее, чем на Земле, поскольку расстояние этой планеты от Солнца больше, а следовательно, тепла на нее поступает меньше, чем на Землю. Но в вопросе о том, насколько именно холоднее, мнения расходились. Одни исследователи склонялись к предположению что Марс является царством вечного мороза, где температура, близкая хотя бы к точке замерзания воды, никогда и нигде не достигается. Другие, напротив, предполагали, что по своим тепловым условиям Марс отличается от Земли не особенно сильно.

Математический расчет может дать вполне достоверное представление о температуре тела, согреваемого солнечными лучами, если точно установлены необходимые оптические и тепловые свойства этого тела.

Возьмем для примера абсолютно черную поверхность, расположенную перпендикулярно к солнечным лучам в полной пустоте. Такая поверхность получает за единицу времени, например, за одну минуту или секунду, количество лучистой энергии, равное E/R^2 , где R есть расстояние этой поверхности от Солнца, выраженное в астрономических единицах, а $E = 1.35 \times 10^6 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \text{сек.}}$ выражает количество энергии, получаемое от Солнца за одну секунду каждым квадратным сантиметром площади, расстояние которой до Солнца равно единице. Поскольку поверхность эта абсолютно черная, ее альbedo для любых лучей будет равно нулю, и потому вся эта энергия полностью ею поглощается и идет на нагревание. Но с повышением температуры будет усиливаться и излучение f поверхности в мировое пространство. Как известно, для черной поверхности излучение с каждого сантиметра определяется формулой Стефана

$$f = \sigma T^4,$$

где T — абсолютная температура, а σ — постоянный коэффициент, равный 5.72×10^{-5} .

По истечении некоторого времени температура освещенной Солнцем поверхности перестает повышаться, и останавливается на таком значении T , при котором расход тепла путем излучения будет в точности равен приходу, определяемому поглощением солнечных лучей. Когда такое равновесие достигнуто, то мы получим

$$\frac{E}{R^2} = \sigma T^4$$

или

$$\frac{1.35 \times 10^6}{R^2} = 5.72 \times 10^{-5} T^4,$$

откуда легко можем вычислить температуру T

$$T = \frac{392^\circ}{\sqrt{R}}.$$

Для того расстояния от Солнца, на котором находится Марс, это дает $T = 316^\circ$ абсолютной шкалы или 43° С. С другой стороны, легко вычислить некоторое среднее значение температуры T_c для черного шара, нагреваемого Солнцем и равномерно испускающего лучистую энергию всей своей поверхностью. Для нее будем иметь

$$T_c = \frac{T}{\sqrt{2}} = \frac{277^\circ}{\sqrt{R}}.$$

Для Марса это дает: $T_c = 222^\circ = -51^\circ$ С. Можно ожидать — и практика это подтверждает, — что действительная температура различных точек поверхности планеты будет лежать между значениями T и T_c или близко к ним. Например, для Земли ($R=1$) будет: $T_c = +4^\circ$ С, $T = +119^\circ$ С, в то время, как действительное среднее значение температуры нашей планеты принимается равным $+14^\circ$.

Теория позволяет исследовать и разные другие случаи, например температуру поверхности, на которую солнечные лучи падают наклонно, или распределение температуры по поверхности черной и лишенной атмосферы планеты, которая вращается вокруг оси с заданной скоростью. Однако результаты таких расчетов, порою, довольно сложных и кропотливых, заведомо не будут соответствовать действительной температуре на той или иной реально существующей планете. Это происходит оттого, что те упрощенные предпосылки, которые кладутся в основу таких вычислений, не соответствуют действительности, всегда более сложной и разнообразной.

Например, вещество, устилающее поверхность планеты, никогда не является черным и даже, наоборот, чаще встречаются покровы с весьма высоким альбедо (снег, облака). Благодаря этому значительная (во многих случаях даже большая) часть радиации сразу отражается обратно в пространство и не исполь-

зуются на нагревание. Может показаться, что это должно повести к значительному понижению температуры планеты. Однако в действительности это не так. Дело в том, что, согласно известному закону Кирхгофа, способность к лучеиспусканию должна быть пропорциональна способности к поглощению. Поэтому планета, окрашенная в светлые тона, поглощает солнечных лучей мало, но зато и мало отдает тепла в мировое пространство. В результате она может оказаться как холоднее черного тела, так и теплее его. Окончательный итог влияния окраски зависит от хода кривой альbedo по спектру, потому что падающая и испускаемая энергия относятся к совсем различным спектральным областям: как известно, максимум интенсивности энергии солнечных лучей приходится на середину видимого спектра, в то время как для той энергии, которая излучается слабо нагретой поверхностью планеты, он лежит в области далеких инфракрасных лучей.

Поэтому если альbedo в видимых лучах ниже, чем в далеких инфракрасных, то способность планеты к поглощению будет выше, чем к испусканию, и потому ее температура окажется выше, чем для абсолютно черного шара. Если же, наоборот, альbedo в видимом участке спектра выше, чем в инфракрасном, то планета будет холоднее черного шара.

Далее, большое влияние на температуру имеет атмосфера. Благодаря развивающимся в ней ветрам и воздушным течениям, она сглаживает разницу в температуре между различно нагреваемыми местами, делая день менее жарким, ночь — менее холодной. Далее, она вызывает некоторое общее увеличение температуры, способствует потеплению планеты. Это так называемый *тепличный эффект*, вполне аналогичный тому, который дают стеклянные рамы в парниках и теплицах на наших огородах.

Для того чтобы ранней весной успешно выращивать рассаду различных растений, ее помещают в парниках, т. е. в ящиках, покрытых сверху большими стеклами. Хотя никакого отопления в таком парнике не устроено, молодая зелень в нем успешно развивается под влиянием одних солнечных лучей, благополучно перенося ночные заморозки, столь губительные для растений, посаженных в открытом грунте. Происходит это оттого, что стекло парниковой рамы прозрачно для видимых лучей и потому солнечная радиация сквозь него хорошо проходит, нагревая внутренность парника. Но для инфракрасных лучей стекло непрозрачно, и потому излучение земли и листьев растений наружу выходить не может. Получается как бы

ловушка для теплоты: внутрь парника солнечные лучи проходят свободно, а выбраться из него обратно не могут.

Совершенно такое же действие оказывает газовая оболочка, окружающая планету: сквозь нее солнечные лучи проходят почти свободно, но инфракрасное излучение, испускаемое самой нагретой поверхностью планеты в значительной мере задерживается. В результате оказывается, что достаточно плотная атмосфера может повысить температуру планеты на $20—25\%$ по сравнению с температурой черного тела, лишенного газовой оболочки.

При расчете температуры такой планеты, как Марс, необходимо принимать во внимание и особенности отражения света от ее поверхности, и тепличный эффект ее атмосферы. При этом приходится делать те или иные предположения относительно природы вещества, устилающего поверхность или образующего эту атмосферу. Поэтому неудивительно, что разные исследователи приходили к различным результатам. Так, Ловелл получил для среднего значения температуры Марса $+9^\circ$, Аррениус ст -8 до -17° , Пиккеринг -7° . Наиболее детальные вычисления были выполнены Миланковичем, который нашел верхнюю границу в -3° для экватора и в -52° для полюсов.

Совершенно новая эпоха в деле исследования температуры Марса и других планет началась тогда, когда техника *радиометрии* — искусства измерения лучистой теплоты — достигла настолько высокого развития, что позволила измерять тот ничтожный тепловой поток, который получается на Земле от звезд и планет. Приборы, которые теперь применяются для наблюдений такого рода, чаще всего работают на принципе *термоэлектрического эффекта*. Как известно, этот эффект состоит в следующем: если спаять концами две проволочки, сделанные из различных металлов, например железную и висмутовую, так, чтобы получилось кольцо, и если нагреть место одного спая, оставляя другой спай холодным, то по кольцу побежит электрический ток. Сила этого тока будет тем больше, чем выше разность температуры на местах спайки. Можно, разрезав одну из проволок в каком-нибудь месте, включить в цепь гальванометр (рис. 33) и, измеряя идущий в кольце ток, определять степень нагревания одного из спаев. Прибор, позволяющий измерять температуру таким путем, называется *термоэлементом*. Если место спайки в нем покрыть черной краской (например сажой) и направить на него пучок лучей, то лучи поглощаются, нагревают точку

соединения, и стрелка гальванометра отклоняется. По величине этого отклонения можно судить об интенсивности лучей, падающих на термоэлемент. Такой способ измерения давно применяется для изучения лучей Солнца. Но там задача сравнительно проста, потому что солнечные лучи греют очень сильно. Совсем другое дело — измерение того ничтожного тепла, которое доходит до нас от планеты.

Термоэлемент, предназначенный для измерения таких маленьких и слабых объектов, как звезды и планеты, должен сочетать в себе огромную чувствительность с микроскопическими размерами. Те приборы, которыми сейчас работают на американских обсерваториях, имеют приемную поверхность диаметром всего в 0.1 мм и столь высокую чувствительность, что изменение температуры этой поверхности на одну миллионную долю градуса уже отмечается прибором. Оба спая — нагреваемый и холодный — помещаются в специальном баллоне, из которого выкачан воздух (рис. 34). На одном конце этого баллона устроено окошечко, закрытое пластинкой, сделанной из чистой, прозрачной каменной соли. Такое неудобное и непрочное вещество (во влажном воздухе соль мокнет) здесь взято потому, что именно соль — хлористый натрий, в отличие от стекла и даже кварца, обладает способностью одинаково хорошо пропускать все лучи спектра, включая самую далекую инфракрасную область.

Весь прибор устанавливается в фокальной плоскости телескопа. Лучи от светила беспрепятственно проходят через соляную пластинку и образуют изображение в той плоскости, где расположены оба спая термоэлемента. При измерении лучей от планеты телескоп направляют так, чтобы изображение изучаемой местности пришлось на один спай, в то время как другой спай приходился бы против участка неба

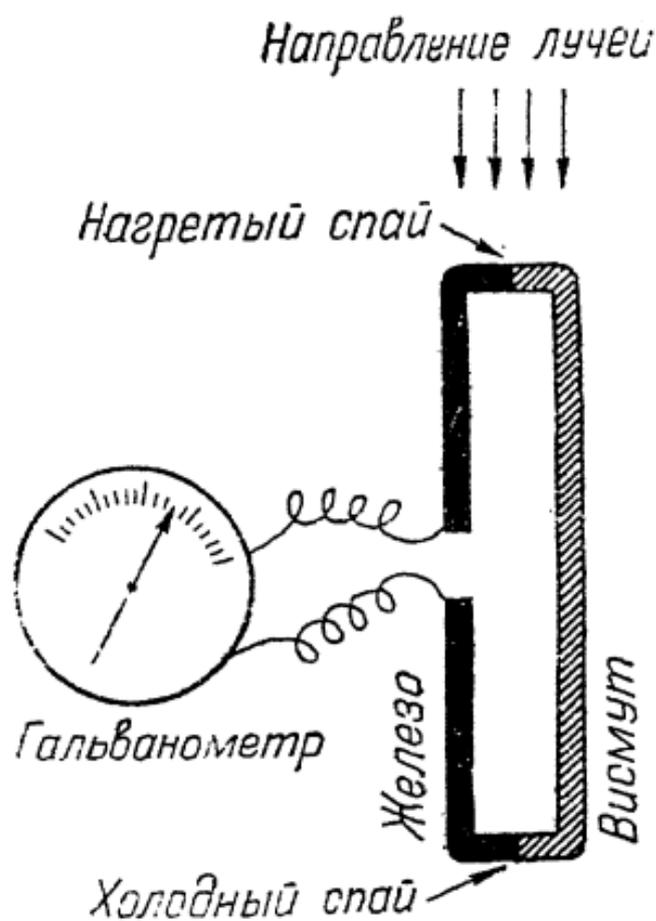


Рис. 33. Схема термоэлемента.

рядом с планетой. Это легко сделать, потому что наблюдатель, глядя в окуляр телескопа сквозь заднее окошко баллона, содержащего термоэлемент, видит в поле зрения изображение планеты и оба спая, имеющие вид черных шпичек (рис. 35).

При указанных выше условиях первый спай получает тепло от диска планеты и от расположенных на его фоне слоев земной атмосферы, а второй — только от атмосферы. Поэтому разность температуры спаев, которой определяется электри-

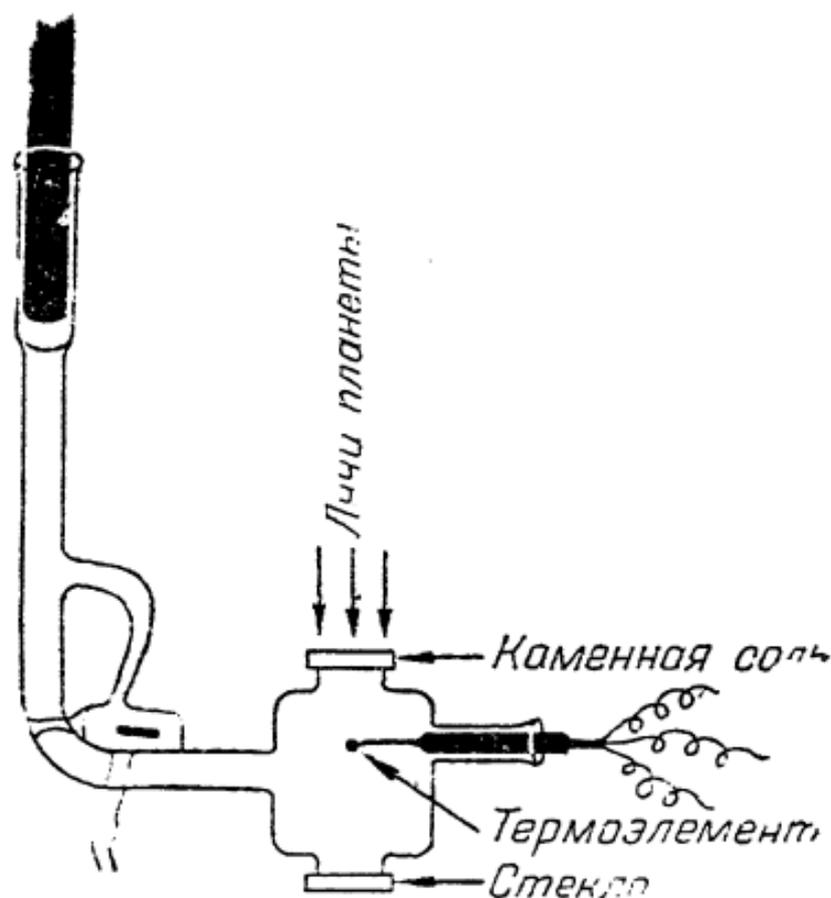


Рис. 34. Баллон с термоэлементом, при помощи которого Никольсон и Петтит измеряли температуру на Марсе.

ческий ток, регистрируемый гальванометром, будет получаться исключительно за счет лучей планеты, сила которых и измеряется прибором. Располагая приемник против разных участков диска Марса, можно сравнивать лучи, испускаемые разными местностями на планете.

Поток лучей, идущий к нам от планеты и измеряемый термоэлементом, состоит из двух частей. Первую и главную часть составляют лучи Солнца, отраженные от поверхности небесного тела. Вторую часть составляют лучи, испускаемые самой нагретой поверхностью планеты. Для того чтобы их разделить, пользуются тем, уже указанным выше обстоятельством, что лучи Солнца в основном лежат в видимом участке спектра, а лучи, испускаемые планетой, — в далекой инфра-

красной части (рис. 36). Чистая дистиллированная вода хорошо пропускает видимые лучи, но полностью поглощает инфракрасные. Поэтому, если проделать измерение два раза: сначала непосредственно, а потом, поместив перед термоэлементом

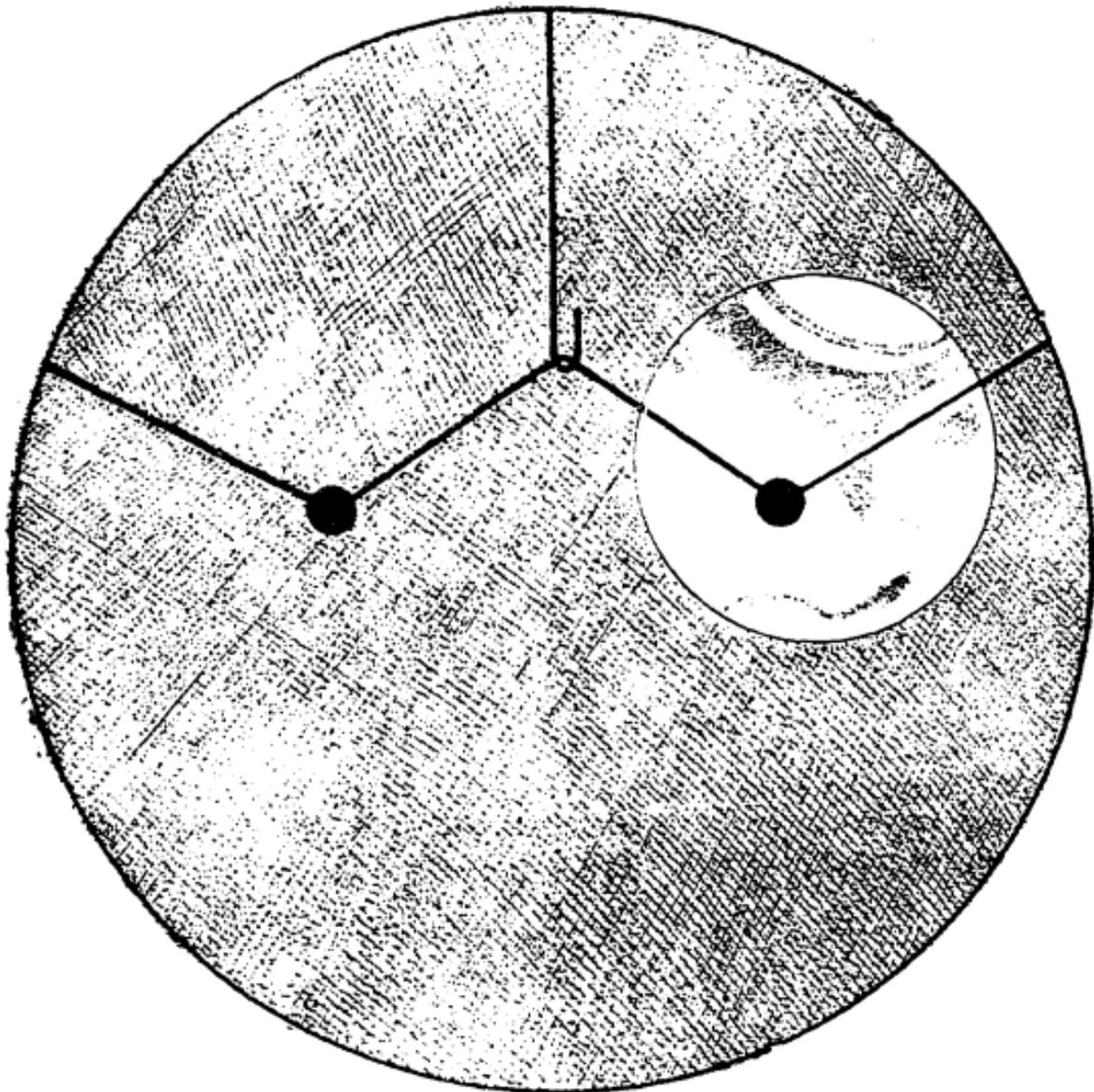


Рис. 35. Поле зрения телескопа с термоэлементом.

Один спай проецируется на диск планеты другой — на небо рядом с ним.

стеклянную кювету с водой, то при первом измерении получится общая сумма лучей как отраженных, так и испускаемых, а при втором измерении будут зарегистрированы только одни отраженные лучи, потому что радиация планеты будет полностью задержана водой. Разность дает лучи, испускаемые самой планетой. Но, зная количество лучей, испускаемых определенным участком нагретой поверхности, можно при помощи закона Стефана определить и его температуру.

Правда, это далеко не просто. Во-первых, закон Стефана относится к абсолютно черной поверхности, а альbedo поверхности планеты нулю не равно. Во-вторых, влияние на результаты измерения оказывает как атмосфера планеты, так и атмосфера Земли, сквозь которую на пути к прибору проходят измеряемые лучи и которая по-разному ослабляет разные части спектра. Наконец, Солнце посылает вместе с видимыми лучами также и инфракрасные, которые тоже отражаются от поверхности планеты и примешиваются к тем лучам, которые испускаются ею самой.

Метод определения температуры планеты из радиометрических наблюдений был разработан известным астрономом Рэсселем. Его применение требует введения различных пред-

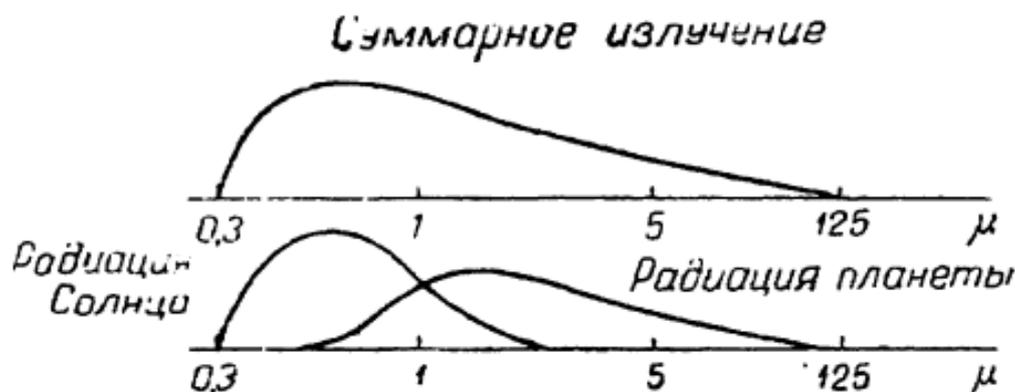


Рис. 36. Распределение энергии по спектру для суммарной радиации, поступающей от планеты, для отраженной солнечной радиации и для собственного излучения планеты.

положений об оптических свойствах поверхности и атмосферы изучаемой планеты. Поэтому получаемые значения температуры носят до некоторой степени гипотетический характер. Все же они, повидимому, достаточно близки к истине.

В первый раз радиометрические наблюдения Марса были поставлены Кобленцем в 1922 г. Это была репетиция перед обширными исследованиями этого рода, с большим успехом выполненными во время великого противостояния 1924 г., когда измерения Марса при помощи особо чувствительных термоэлементов были поставлены в двух местах сразу.

На обсерватории Ловелла во Флагстаффе этим занимались Кобленц и Лампланд. Их наблюдения обнаружили как суточные, так и годовые колебания температуры на Марсе, а также огромные различия в тепловых условиях на разных широтах. Так, на экваторе Марса около полудня температура составляет от $+5$ до $+20^{\circ}$. Максимум наступает не в самый полдень, но, как и у нас, он несколько смещен на послеполуденные

часы. С приближением Солнца к закату температура быстро падает и к наступлению ночи доходит до 0° . На протяжении ночи температура продолжает понижаться и к рассвету доходит до -45° , после чего опять начинает повышаться. В северном (зимнем) полушарии планеты держались ровные температуры порядка от -70 до -80° . В южном полушарии в эпоху наблюдений было лето. Весною в окрестностях южного полюса тоже держалась очень низкая температура, порядка -60° . Но по мере приближения летнего солнцестояния там быстро становилось теплее и в зоне непрерывного летнего дня температура достигла значений от $+10$ до $+15^{\circ}$. Именно в это время наблюдалось интенсивное таяние полярной шапки.

Измерения для светлых и темных областей обнаруживают постоянную разницу: моря оказываются теплее материков, причем это различие в некоторых случаях доходит до 30° . Кобленц считает, что это находится в согласии с гипотезой, что моря покрыты растительностью. Если последняя образует сплошные заросли степных трав или дерновины мхов и лишайников, как в земных тундрах, то благодаря высокой поглощательной способности и малой теплопроводности покрытые ею пространства должны нагреваться сильнее, чем голые каменистые или песчаные пространства материков.

Аналогичные наблюдения были поставлены и на обсерватории Маунт Вильсон, где Никольсон и Петтит воспользовались величайшим в мире (в то время) 100-дюймовым телескопом-рефлектором. Там для температуры в центре диска было найдено среднее значение $+7^{\circ}$, а в зимней полярной области -68° , что находится в полном согласии с выводами, полученными в Флагстаффе. Менее согласны выводы относительно суточного хода: наблюдения на Маунт Вильсон дает симметричную кривую температуры с максимумом в полдень.

В 1926 г. Кобленц и Лампланд повторили свои измерения и нашли температуры от -40 до $+23^{\circ}$, т. е. того же порядка, что и в 1924 г. Но во время противостояния 1933 г. были получены менее высокие температуры, а именно в той точке диска, для которой Солнце находилось в зените, температура оказалась равной всего 0° . Это различие несомненно реально и является следствием значительной вытянутости орбиты Марса, благодаря которой в 1924 г. расстояние этой планеты от Солнца было меньше, чем в 1933 г.

Таким образом, прямые измерения температуры полностью подтверждают давно высказывавшееся мнение, что климат на Марсе значительно холоднее, чем на Земле. Тем не менее,

это далеко не тот климат вечного мороза, о котором писали некоторые исследователи в прежнее время. Теперь можно считать окончательно установленным, что тепловые условия на Марсе хотя и суровы, но не только допускают таяние полярных снегов и льдов в летнюю часть года, но и достаточно благоприятны для развития растительности.

Годовой ход температуры на Марсе с его переходами от сильных зимних морозов к сравнительно теплomu лету, несколько напоминает климат тундры. Огромная же разность температуры между днем и ночью не имеет аналогии на Земле. Она указывает, во-первых, на сравнительно невысокую теплоемкость горных пород, образующих поверхность Марса и, во-вторых, на крайне незначительный тепличный эффект атмосферы. Последнее находится в полном согласии с выводами о незначительной плотности атмосферы Марса. Как известно, на земных высокогорных равнинах и плоскогорьях тоже наблюдается очень большая разница между температурой дня и ночи. Сильная жара днем там иногда сменяется ночью морозом, так что вода замерзает. Но, конечно, эти тепловые контрасты гораздо меньше, чем на Марсе. Это и понятно: на самых высоких горных вершинах нашей планеты плотность атмосферы все же значительно больше, чем на Марсе. Климатом, вполне похожим на тот, который мы находим на этой планете, у нас обладали бы горные плато, возвышающиеся над уровнем моря по крайней мере на 15 000 м, т. е. достигающие стратосферы, а таких высот на Земле не существует.

Таким образом, мы приходим к заключению, что Марс обладает стратосферным климатом: крайне разреженная и сухая атмосфера покрывает на нем бедные влагой пустынные ландшафты. Поверхность почвы, не защищаемая от солнечных лучей облаками, на протяжении дня довольно хорошо согревается лучами Солнца, которое хотя и выглядит меньше, чем на Земле, но зато почти всегда сияет на совершенно ясном небе и светит сквозь очень прозрачный воздух. Зато ночью после заката Солнца пески и камни, покрывающие поверхность Марса, быстро отдают тепло в мировое пространство, и потому даже в экваториальной зоне планеты каждую ночь они промерзают до очень низких температур.

Может ли существовать и развиваться при таких условиях растительность? Из земных растений лишь очень немногие могли бы выдержать подобный режим. Но все же кое-какие представители земной флоры, вероятно, могли бы жить в полярных зонах Марса, где в течение долгого летнего дня темпе-

ратура все время держится выше нуля. Тем легче себе представить, что растительность на Марсе могла приспособиться к специфическим условиям этой планеты, научиться пользоваться теплыми часами дня и не бояться ночных морозов.



Глава V

КАНАЛЫ

Открытие Скиапарелли

Во время великого противостояния Марса 1877 г. итальянский астроном Скиапарелли сделал открытие, которому суждено было стать отправным пунктом для одной острой и доныне спорной проблемы астрономии. Внимательно рассматривая диск Марса в девятидюймовый телескоп Миланской обсерватории, он заметил на нем ровные и правильные линии, которые пересекали красноватые пространства материков по разным направлениям, следуя, повидимому, дугам больших кругов (рис. 37). Вид этих линий был таким правильным, образуемая ими сеть на планете казалась настолько геометричной, что сравнение с какими-либо природными земными образованиями было бы невозможно. Такие детали земного ландшафта, как реки, трещины, каньоны, овраги или горные хребты хотя и обладают иногда весьма значительным протяжением, однако никогда не бывают прямолинейными. Только те сооружения, которые человек искусственно создает своим целеустремленным разумным трудом, как, например, дороги или каналы, могут сравниться с той картиной, которая оказалась на диске Марса. Поэтому Скиапарелли назвал открытые им образования *каналами*, что, впрочем, следует рассматривать как чисто условный термин, такой же как „материки“ и „моря“.

Необходимо, однако, заметить, что более или менее прямые и узкие полоски на Марсе неоднократно видели, по крайней мере, за целое столетие до Скиапарелли. Просматривая рисунки прежних наблюдателей, мы на многих из них можем распознать детали такого именно типа, правда, гораздо менее

отчетливые и не столь многочисленные, как их потом изображал знаменитый миланский астроном. Повидимому, уже Вильям Гершель смог заметить и зарисовать некоторые из них. По мнению Антониади, составившего сводку наблюдений каналов, выполненных до Скиапарелли, за столетие перед ним было отме-

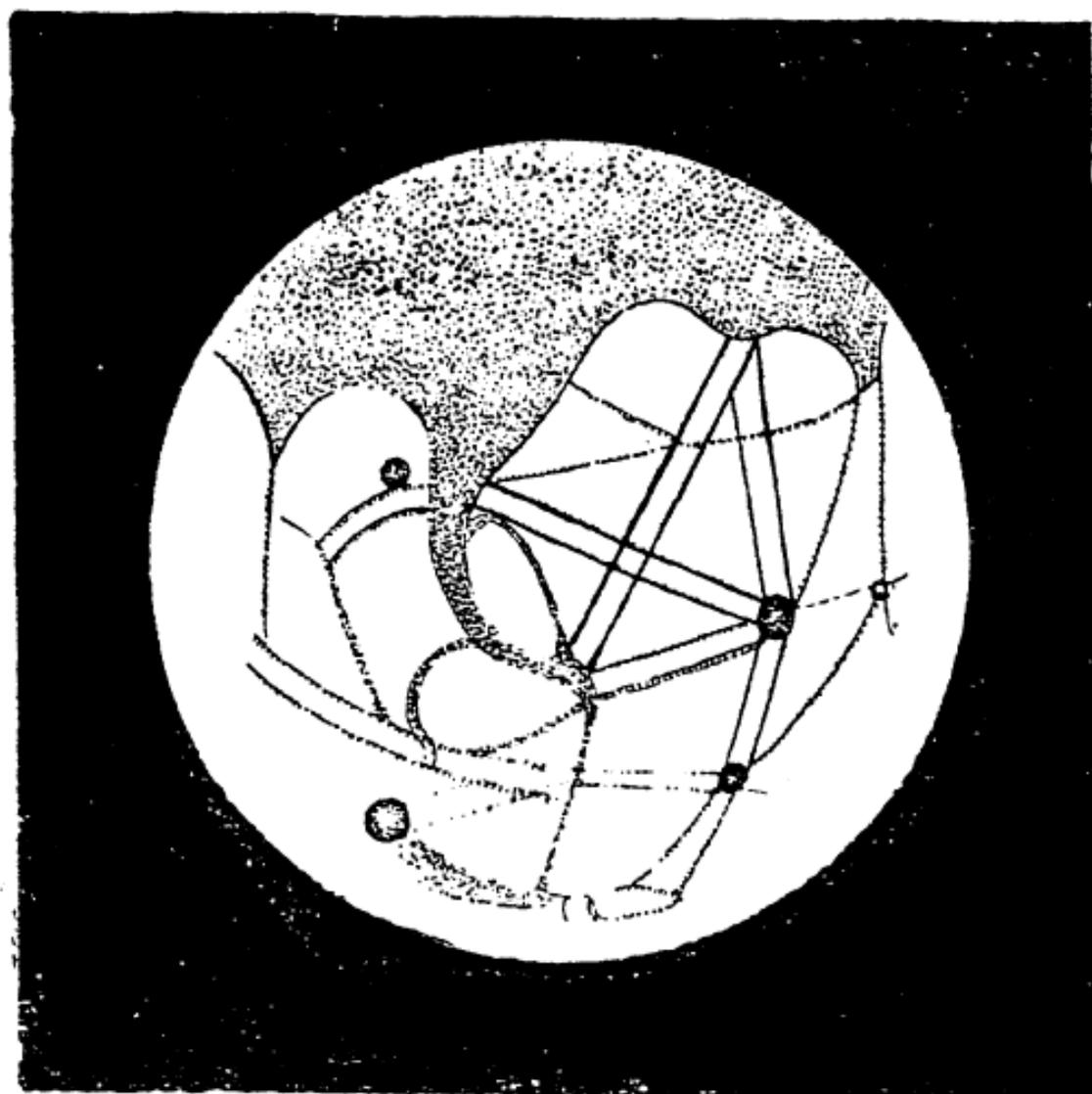


Рис. 37. Марс по Скиапарелли.

На рисунке изображены одиночные и двойные каналы.

чено и занесено на эскизы и рисунки не менее шестидесяти линейных, сильно вытянутых образований на Марсе. И уже в 1859 г. Секки впервые применил в своих работах по ареографии термин „каналы“, точнее итальянское слово *canali*, которое имеет несколько другой смысл, так как означает „проливы“ или „протоки“, и, таким образом, отнюдь не предполагает обязательно искусственное происхождение называемых им объектов.

Но никто из прежних наблюдателей не отметил какой-либо противоестественной правильности полос на Марсе; никто

не придал им также какого-нибудь особого значения. И только Скиапарелли первым обратил внимание на исключительную геометричность и правильность линий на Марсе, придающих этой планете совершенно специфический, лишь ей одной свойственный, облик, почему именно ему и приписывается открытие этой группы деталей.

Скиапарелли тоже не сразу пришел к своим заключениям. В 1877 г. он изображал еще каналы, как не особенно правильные, нередко извилистые полоски. Однако по мере развития его исследований, эти полоски принимали у него все более и более геометрический характер. В 1879 г. он их видел менее широкими и более правильными. В 1881 г. они изображены уже вполне прямолинейными, вполне точно следующими дугам больших кругов. В 1888 г. Скиапарелли нанес на карту таких линий очень много, причем написал о них следующие слова: „Эти каналы образуют сеть, покрывающую всю планету. Всякий канал упирается обоими своими концами или в море, или в озеро, или в другой канал, или в пересечение нескольких других каналов“.

К концу своих занятий Марсом и его каналами Скиапарелли зарегистрировал и нанес на карту 113 образований этого типа, причем для всех он придумал соответствующие названия, отчасти представляющие имена главнейших земных рек. Так, появились на Марсе Ганг, Инд, Нил, Аракс и другие термины нашей земной географии.

На карте, изображенной на рис. 8, приводятся главнейшие каналы вместе с их названиями.

Поразительна длина каналов: некоторые из них тянутся на 3000—4000 км, даже до 5000 км, т. е. охватывают на поверхности планеты дугу до 90°; другие имеют протяжение не более 300—500 км. Разнообразна и ширина каналов: у самых широких она достигает до 300 км, что соответствует ширине Балтийского моря; в то же время наиболее узкие не шире 30 км, а Ловелл позднее утверждал, что видит каналы, имеющие всего 2 км ширины. Но характерной особенностью каждого канала является то, что на всем своем протяжении он имеет совершенно одинаковую ширину. Другая особенность — это тенденция сходиться по нескольку вместе в общих узловых пунктах. Во многих точках пересечения сходится по 4—6 каналов, в некоторых до 17 каналов. Такие узловые точки обычно бывают отмечены черными кружками или узелками, называемыми *озерами* или *оазисами*. На их существование впервые обратил внимание В. Пиккеринг в 1892 г.

В 1881 г. Скиапарелли сделал еще одно удивительное открытие. В это противостояние многие из каналов, которые он до того видел как одиночные линии, оказались двойными: канал такого типа представлял собою две параллельные линии, тянущиеся на всем протяжении рядом, подобно рельсам железной дороги. Такое удвоение обнаруживали не все каналы, а только некоторые, и притом не все время, а лишь в некоторые определенные периоды. Скиапарелли пришел даже к выводу, что удвоение представляет собою сезонное явление: оно начинается спустя три месяца (земных) после летнего солнцестояния (на Марсе) и продолжается 4—5 месяцев; затем исчезает и снова появляется после весеннего равноденствия и опять продолжается 4—5 месяцев. Такому периодическому раздвоению подвергаются всегда одни и те же, так сказать, избранные каналы, числом около 50.

Во всех этих явлениях, а особенно в геометрической правильности каналов, Скиапарелли видел неразрешимую и глубокую загадку. Он много раз возвращался к обсуждению возможных объяснений сетки линий на Марсе, сопоставлял ее с геометрически правильной формой кристаллов, радиолярий, некоторых раковин, но в конце концов в 1895 г. опубликовал статью, в которой впервые была высказана мысль, что каналы Марса могут быть настоящими ирригационными сооружениями, построенными какими-то разумными существами, обитающими на этой планете.

Исследования Ловелла

Со времени Скиапарелли началась эпоха интенсивного изучения Марса и наблюдаемых на нем явлений. После каждого противостояния астрономические журналы заполнялись множеством рисунков и описаний таинственной сети каналов, покрывающих эту планету. Все наблюдатели неизменно видели каналы (или, по крайней мере, наиболее крупные из них) на тех же самых местах, из чего можно было заключить, что это действительно какие-то постоянные образования на поверхности Марса. Но в отношении вида и характера их мнения расходились. В то время как одни исследователи настаивали на исключительной резкости и правильности этих узких линий, якобы напоминавших чертеж, сделанный карандашом или даже рейсфедером, другие описывали их как сероватые, неопределенные полоски, похожие на струйки дыма, более или менее прямо пересекающие диск планеты.

В. Пиккеринг в 1892 г. обнаружил подобные каналам полосы и на темной поверхности морей, что было подтверждено Дугласом в 1894 г.

Особенно обширны исследования каналов, выполненные американским астрономом Ловеллом. Он долго искал местность, климатические условия которой были бы достаточно благоприятны для наблюдений такого рода. Наконец, он остановился на Флагстаффе, пункте, расположенном на высоком плоскогорье в сухой пустыне Аризоне на дальнем западе Американского материка. Там он и построил свою знаменитую обсерваторию.

Эта обсерватория, снабженная 26-дюймовым телескопом, была предназначена специально для наблюдений за Марсом. Уединившись в ней вместе со своими помощниками: Слайфером, Лампландом и другими, Ловелл более двадцати лет жизни отдал исследованию Марса и его каналов.

Результатом этой работы было открытие множества новых каналов: в 1908 г. Ловелл насчитывал их 522, после противостояния 1909 г. — почти 700, а теперь их известно более 1000 (рис. 38). Были подробно изучены различные закономерности, относящиеся к расположению и сочетаниям каналов. Но наиболее важным своим открытием Ловелл считает обнаруженные им сезонные перемены в условиях видимости каналов.

Вообще говоря, канал бывает виден не всегда. В том полушарии, где в данное время свирепствует зимняя стужа, каналы, как правило, не видны. Они начинают показываться лишь с наступлением весеннего тепла, да и то не сразу, а только после того, как начнется интенсивное таяние полярной шапки.

Дело происходит так. Как было сказано выше, у отступающей к полюсу границы полярного пятна образуется темная каемка. Вот от этой каемки и начинается как бы расти вся система каналов. Сначала появляются каналы, непосредственно примыкающие к полярному снегу. Потом — лежащие дальше от него. За ними следуют каналы умеренного пояса, затем — проходящие по тропической зоне. Наконец, становятся видны каналы и экваториального пояса планеты. Следуя такому правилу, сложная и запутанная сеть каналов как бы постепенно расплзается по планете; отправляясь от полюсов, она достигает экватора, пересекает его и даже заходит в противоположное полушарие. Вслед за этим приходит время ее постепенного исчезновения, которое

тоже начинается от полюса и, постепенно спускаясь по параллелям к экватору, как бы стирает образовавшийся на планете рисунок. Все это происходит именно так, как если бы какое-то вещество (хочется сказать — талая вода), образуя-

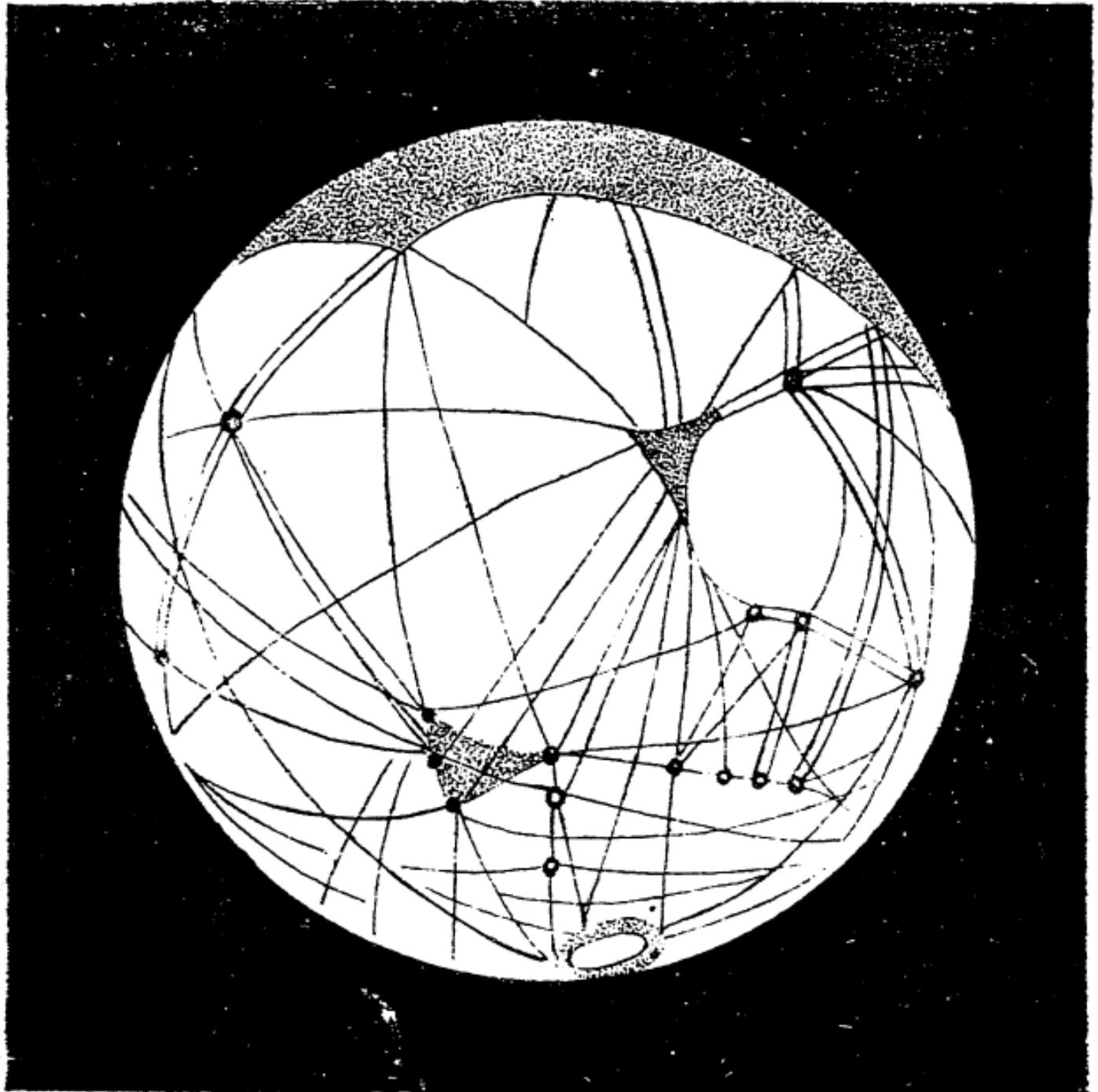


Рис. 38. Марс по Ловеллу.

На рисунке изображена целая сеть каналов, сходящихся в оазисах.

щееся при разрушении полярной шапки, на время заполняет узенькие жилки каналов, проходя по ним волной от полюса к экватору. А через полгода навстречу этой волне катится другая, идущая от противоположного полюса и также достигающая экватора. Поэтому каналы экваториальной зоны пла-

неты, получая импульсы попеременно то от одного, то от другого полюса, видны практически все время, тогда как каналы околополярных и умеренных зон — лишь в эпоху таяния соответствующего полярного пятна.

Все эти явления были подвергнуты Ловеллом детальному статистическому исследованию. Оказалось, что от момента появления первых каналов у ободка полярных пятен и до их оживления у экватора проходит в среднем 52 дня. За этот срок волна потемнения невидимых до того линий продвигается от широты 72° до широты 0° , т. е. проходит расстояние в 4250 км. Это соответствует скорости распространения 82 км в день или 3.4 км в час.

Но что же это за темная материя, за движением которой по линиям каналов мы можем следить с нашей удаленной от Марса наблюдательной станции? И что вообще означает вся эта странная линейчатая картина, которую мы видим на Марсе? Результаты своих многолетних исследований и изысканий Ловелл завершил изложением стройной и увлекательной теории, объясняющей те явления, которые были замечены в системе каналов. Сущность этой теории состоит в следующем.

Как мы видели выше, климат на Марсе очень сух. Воды там мало. На протяжении многих тысяч километров там тянутся мертвые ржавые пустыни. Но темные пространства морей сохранили кое-какую влагу, и потому их одевает растительность. Однако эта флора — не единственное проявление жизни на Марсе. Кроме безмоленных и неподвижных растений там существуют еще и организмы типа животных. И эти воображаемые существа стоят на очень высоком уровне умственного развития. Во всяком случае, они не ниже нас, людей, а, скорее, даже выше.

На умирающем от жажды мире жизнь дается нелегко и потому этим воображаемым обитателям приходится вести трудную борьбу с засухой. Масштабы этой деятельности настолько грандиозны, ее проявлением явилась оросительная система каналов такого масштаба, что мы даже с Земли можем следить за ее непрерывной работой.

Единственные места на Марсе, где скопится много воды, хотя, правда, в твердом виде, — это полюса. Весной лед тает, наступает разлив, но в сухом воздухе вода быстро испаряется. Невидимым паром проносится она над обожженной пустыней и снова неподвижно оседает на другом полюсе. Вот тут-то, по краям полярных пятен, население Марса

и завладевает влагой, направляя ее в свою искусственную систему каналов.

Однако, то темное, что мы видим распространяющимся по линиям этих каналов, вовсе не сама вода. Ширина линий на Марсе слишком велика, чтобы можно было думать, будто они и есть те артерии, которые несут воду. Напротив, естественно предполагать, что действительный канал мы вообще не видим. То темное, что длинными прямыми полосами тянется по поверхности Марса — это растительность, покрывающая широкую территорию по обеим сторонам от такого воображаемого канала.

На Земле подобную картину представляет долина реки Нил. Ежегодно разливаясь, эта река орошает широкую полосу местности по своим берегам, которая после разлива покрывается зеленеющими посевами. Наблюдатель, рассматривающий нашу планету с другого небесного тела, не мог бы, конечно, увидеть самую ленту реки, но он ежегодно замечал бы появление на ее месте узкой темной полоски, какой должна представляться нильская долина на желтом фоне окружающей пустыни. Как раз это и происходит ежегодно на Марсе.

Пока воды в канале нет — местность кругом мертва и пустынна. Но после того, как влага, распространяющаяся по каналам от полюсов, дойдет до данного пункта, на окружающей территории начинается развитие растений. Почва покрывается зеленым ковром и перед взором земного астронома появляется темная линия, ранее невидимая. Естественно, что эта темная окраска распространяется по системе каналов следом за водой со значительным опозданием (недели на 2—3), но движется от полюсов к экватору в общем с той же скоростью, что и порождающая ее вода.

Нечто подобное описанному происходит и на Земле. И у нас каждую весну тают „полярные шапки“, захватывающие, кстати сказать, и Ленинград, и Москву, и всю северную половину Европы, — вообще всю ту часть материков, где зимой держится устойчивый снеговой покров. И у нас весной наступает буйная зелень, застилая отвоєванные у снега пространства. Но между Землей и Марсом тут есть глубокая разница: у нас зеленая волна катится от экватора к полюсам; на Марсе же, наоборот, она движется от полюсов к экватору. И понятно почему: на Земле зимой недостает только Солнца, и с возвращением его весной сразу начинается жизнь. На Марсе же тепла мало; там нужно еще, чтобы растаял.

полярный снег и своей живительной влагой наполнил спавшее зимою зерно.

А какая разница в масштабе! У нас зелень широко расстилается по суше, покрывая ее почти сплошным ковром. На Марсе же она с трудом пробирается по узеньким тропинкам каналов и то созданных искусственно, трудом живущих там существ.

Что касается оазисов, в которые сходится по несколько каналов, то по Ловеллу, это какие-то важные центры деятельности обитателей планеты, быть может нечто, аналогичное нашим городам. Удавалось заметить, что зимой, когда каналы исчезают, на месте оазиса остается маленькая точка. Вот это и есть самый „город“ — „населенный центр“. Летом вокруг него на широком пространстве расстилается покрытая растительностью местность, так что получается порядочное пятнышко.

Интересно отметить следующее. На Марсе создание такой громадной сети оросительных каналов было возможно потому, что на этой планете нет гор. Но если поверхность там действительно является совершенно гладкой и идеально нивелированной, то непонятно, что же заставляет там течь воду на такие громадные расстояния. У нас на Земле тоже есть немало оросительных каналов. В нашей стране за последние годы были построены гигантские ирригационные сооружения. Достаточно вспомнить большой Ферганский канал имени И. В. Сталина, имеющий протяжение свыше 300 км.

Но поверхность нашей планеты не является гладкой и ровной. Сообразуясь с естественным рельефом местности, каналы у нас всегда проводят так, чтобы их русло имело надлежащий уклон и этим обеспечивало бы течение воды с нужной скоростью. Прямолинейный характер каналов на Марсе доказывает (если только это действительно каналы), что там нет местных неровностей. А это означает, что гнать воду по каналам приходится искусственно, при помощи каких-то машин, построенных для этого все теми же обитателями планеты.

Такова теория Персиваля Ловелла, одного из крупнейших знатоков Марса первой четверти нынешнего столетия. Читателю может показаться, что она блестяще разрешает трудную проблему каналов. К сожалению, это далеко не так. Ибо самые основы, из которых она исходит, оказываются предметом всевозможных сомнений.

Спор о существовании каналов

Мы уже говорили, что разные наблюдатели описывают каналы весьма различно и что многие характеризуют их как довольно неопределенные расплывчатые полосы, приблизительно прямолинейные, но не заключающие в себе ничего такого, что указывало бы на их искусственное происхождение. Но существование даже такого бледного и условного подобия геометрически правильных линий Скиапарелли многими было поставлено под сомнение. Уже Грин — этот замечательный наблюдатель Марса конца прошлого столетия — утверждал, что на месте каналов Скиапарелли он видит лишь смутные и неопределенные тени. И уже в 1879 г., т. е. через два года после открытия Скиапарелли, он выразил мнение, что каналы далеко не являются такими, какими их изображал миланский исследователь, но представляют в действительности лишь границы весьма слабых, почти невидимых пятен.

С тех пор мнение о том, что каналы Марса или хотя бы их исключительная геометричность, на которой так настаивали Скиапарелли и его последователи, являются лишь обманом зрения, своеобразной иллюзией, получало все более широкое распространение.

Так, Деннинг в 1886 г. указал, что каналы представляются ему как крайне бледные тени с явными градициями в яркости и рядом неправильностей, разрывов и сгущений. Астроном Юнг, наблюдавший в телескоп с объективом в 23 дюйма, сообщил, что ему вообще не удалось распознать на Марсе каналы, изображенные на рисунках и картах Скиапарелли. Правда, при слабых увеличениях нечто подобное каналам как будто замечалось, но при более сильном увеличении на этом месте оказывались размытости с неопределенными контурами. Еще более резкую позицию занял Барнард, наблюдавший на 36-дюймовом рефракторе Ликской обсерватории. В 1895 г. он решительно не мог заметить на континентах Марса той сетки правильных линий, о которой писал Скиапарелли.

К этому заключению присоединился Черулли, который в 1898 г. выразил основанное на собственных наблюдениях мнение, что каналы в действительности представляют собою сочетания неправильных пятен, которые благодаря несовершенству человеческого зрения сливаются в длинные ровные полосы. В подтверждение этой теории он указывает, что будто бы на лунном диске, наблюдаемом в бинокль со сла-

бым увеличением, также видны прямые линии, представляющие собою, конечно, чистую иллюзию. На основании этого Черулли утверждал, что все каналы Марса в действительности представляют собою лишь собрания как-то разбросанных пятен и других мелких деталей, которые, однако, лежат на пределе видимости и потому вызывают у наблюдателя ощущение прямых линий, в действительности не существующих. К такому мнению присоединились и некоторые другие исследователи.

Особенно оживленные споры и дебаты по вопросу о каналах разгорелись в связи с великим противостоянием 1909 г. Мы уже упоминали, что именно во время этого противостояния Ловелл и его сотрудники открыли около двухсот новых каналов и детально изучали старые. Множество наблюдателей, правда, вооруженных менее мощными телескопами, изображали на своих рисунках каналы и сообщали подробные их описания. Но в то же время многие выдающиеся астрономы, работавшие с наиболее могущественными инструментами того времени, решительно примкнули к лагерю лиц, отрицающих существование этих деталей.

Одним из главных противников каналов явился Антониади. Сначала он наблюдал в сравнительно слабый телескоп (9 дюймов) и при этом видел и зарисовывал каналы в большом числе. Но потом в его распоряжение был предоставлен большой 33-дюймовый рефрактор Медонской обсерватории. С этим могущественным инструментом в минуты спокойствия изображений можно было различить на Марсе множество тончайших деталей. В частности, многие моря представлялись составленными из множества темных пятен и узелков. И как раз при таких условиях прямые линии каналов исчезли или, вернее, распались на множество более тонких и неправильных, вполне естественных по своему виду, деталей. Так, в одних случаях это были узкие черные извилистые черточки, в других — неправильные широкие мутные полосы, в третьих — края полутонов, размывости, сочетания бесформенных пятен и т. д. (рис. 39). Результаты своих обстоятельных наблюдений Антониади резюмирует следующими положениями.

1. Истинный вид планеты Марс естествен и похож на вид Земли и Луны.

2. При хороших условиях наблюдения нет никакого следа геометрической сети каналов.

3. Континентальные области планеты разнообразятся бесчисленными черными пятнами весьма неправильной формы и

интенсивности, спорадические группировки которых с явно выраженной тенденцией к собиранию в полосы, дают в небольшие инструменты начало системе каналов Скиапарелли.



Рис. 39. Марс по Антониади.

Никаких каналов на рисунке нет.

И далее он пишет: „Если под каналами Марса понимать прямые линии, то каналы, конечно, не существуют. Если же под каналами понимать неправильные естественные сложные полосы, то каналы существуют“.

К такому же выводу пришел Фрост, наблюдавший Марс при помощи 40-дюймового рефрактора Йеркской обсерватории

и сообщивший это свое мнение по телеграфу следующей лаконичной фразой: „Йеркский телескоп слишком силен для каналов“. С еще более мощным, а именно, 60-дюймовым телескопом работал основатель и директор обсерватории Маунт Вильсон — Хэл. Он написал: „Я мог видеть на диске планеты громадное количество очень сложных деталей — гораздо больше, чем на каком бы то ни было из рисунков, которые мне приходилось видеть. Несмотря на очень хорошие изображения, не было заметно никаких признаков тонких прямых линий или геометрического строения“.

Все эти сообщения дали основание астроному Кома-Сола сделать следующий вывод: „Это противостояние, по моему мнению, можно рассматривать, как окончательный разгром теории о геометрической сети каналов“. Мнения такого рода поддерживались не только прямыми наблюдениями, но и специальными опытами, а также и теоретическими соображениями. В этом отношении особенно много сделал английский астроном Маундер.

Критикуя мнения сторонников каналов, Маундер указывал, что изображения на их рисунках часто грешат против элементарных правил перспективы: канал, который считается дугой большого круга на поверхности шара, у края диска изображается прямой линией, хотя он должен там иметь вид дуги; в других случаях, его хотя и рисуют искривленным, но не так, как этого требуют условия перспективы. Однако наиболее убийственными для теории каналов были опыты, поставленные Маундером совместно с Эвансом в одной школе в Англии. Были изготовлены изображения Марса с приблизительными контурами морей, заливов, с главнейшими оазисами и некоторыми кривыми линиями, но без каналов. Изображения эти дали срисовывать ученикам на уроках рисования. Школьники эти никогда ничего не слыхали ни про Марс, ни про его каналы. Результаты получились следующие.

Те дети, которые сидели на первых скамейках и видели оригинал вполне ясно, изобразили его таким, каким он был в действительности. Сидевшие на задних скамейках видели оригинал плохо и нарисовали лишь общие смутные очертания. Но те, которые сидели посередине, дружно изобразили на своих рисунках прямые линии, которых не было на оригинале, и притом как раз на тех местах, где наблюдатели Марса изображают обычно каналы. Именно для этих учеников изображение Марса имело такой же угловой поперечник, какой оно имеет при настоящих наблюдениях в телескоп,

а мелкие детали на нем лежали на границе между видимостью и невидимостью.

Такие опыты были повторены несколько раз и с тем же результатом. В качестве примера здесь (рис. 40) приводятся

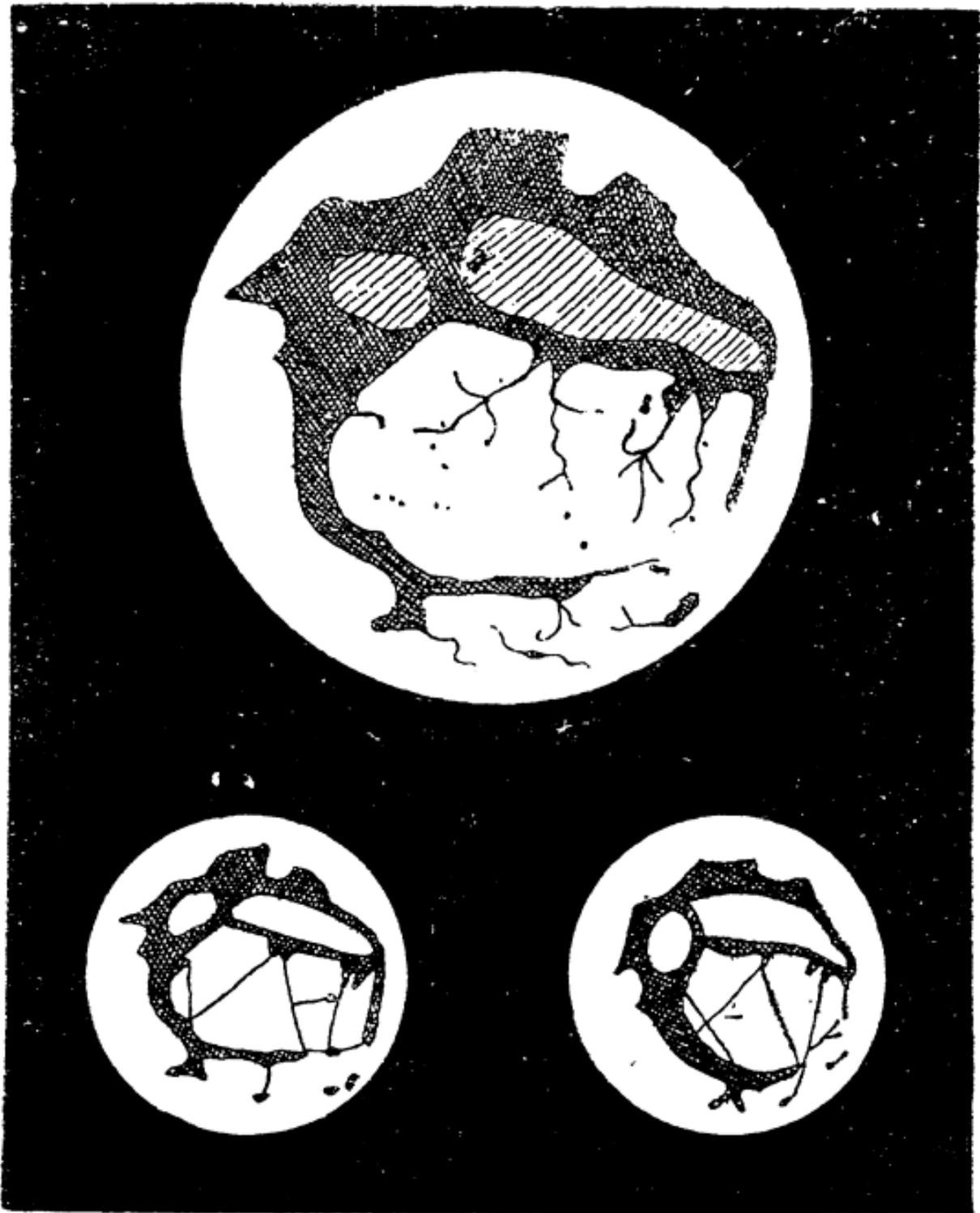


Рис. 40. Опыты Маундера против реальности каналов.

Наверху — оригинал, внизу — рисунки учеников.

некоторые из ученических зарисовок. Этим исследованием с несомненностью было доказано, что иллюзии, вызывающие впечатление прямых линий, действительно возникают в сознании наблюдателя при известных условиях (рис. 41).

В ответ на все это Ловелл и его сторонники выдвинули свои возражения. Так указывалось, что если дети школьного возраста могут не отличать кажущегося от действительного и наносить на свои рисунки несуществующие линии, то этого никак нельзя сказать про опытных и осторожных наблюдателей, которые сами все время находятся настороже относительно возможных ошибок и иллюзий. Ловелл указывает, что в деле изучения таких тонких деталей, как каналы, огромное значение имеют опыт и сноровка. Между тем многие астрономы, отрицающие существование каналов, не занимались

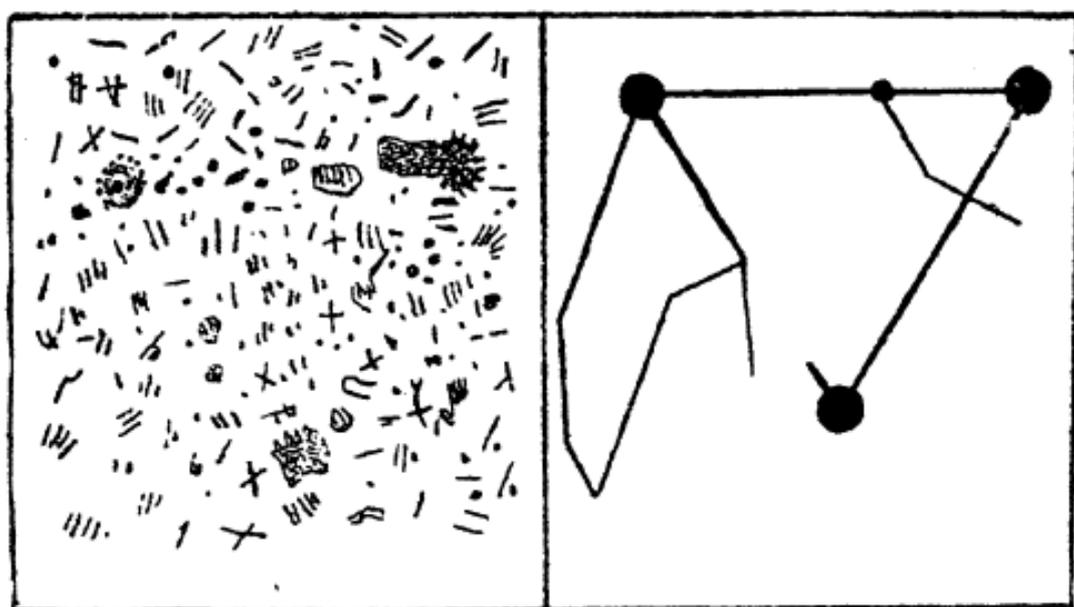


Рис. 41. Опыт Пиккеринга против реальности каналов. Если смотреть на рисунок с далекого расстояния, то в левой половине появляется фигура того же вида, что и в правой половине.

специально исследованиями Марса и приступили к этому делу без надлежащей тренировки, а потому и не смогли различить каналы, несмотря на большую силу использованных телескопов.

Впрочем, телескоп самого Ловелла далеко не так мал, ибо имеет диаметр объектива в 24 дюйма. К тому же не все наблюдатели, изучавшие Марс в более мощные трубы, примкнули к выводам Антониади и его единомышленников. Например, Н. Н. Калитин, наблюдавший Марс в 30-дюймовый рефрактор Пулковской обсерватории, отчетливо видел многие каналы (рис. 42). Этот свой успех в сравнении с Антониади он объясняет применением красного светофильтра. При наблюдении сквозь такой фильтр изображения планеты казались гораздо спокойнее, чем без фильтра, а моря, каналы и другие подробности выделялись более резко.

С другой стороны, некоторые указывали, что в большинстве случаев видимость деталей на планетах в очень большой телескоп должна быть не лучше, а хуже, чем в инструмент средних размеров. Это мнение основано на том, что если направить

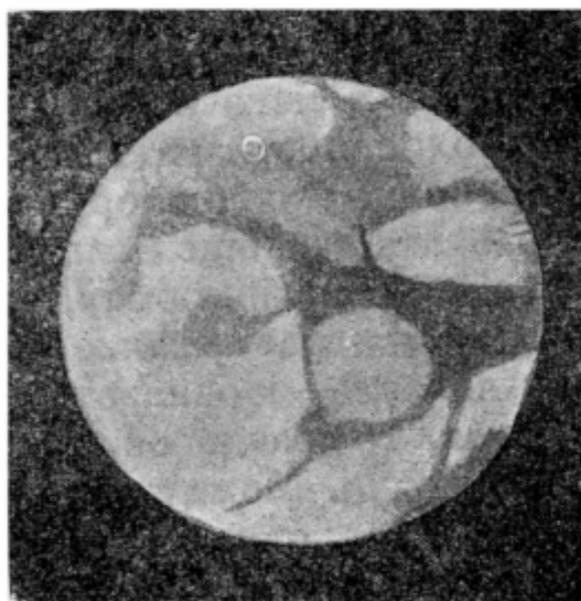
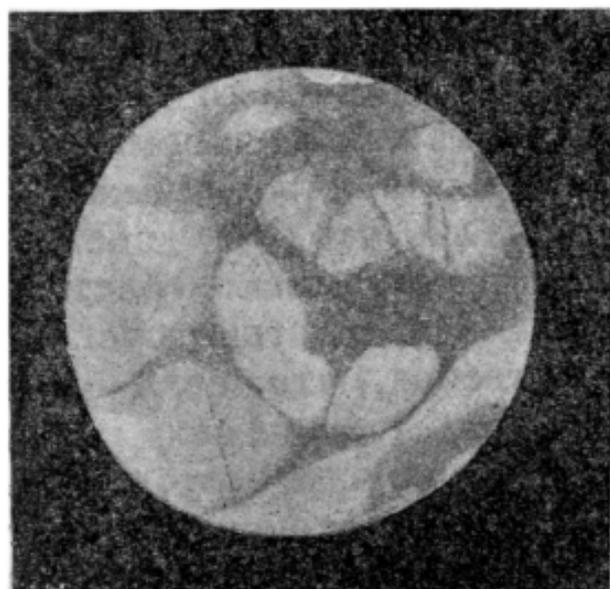
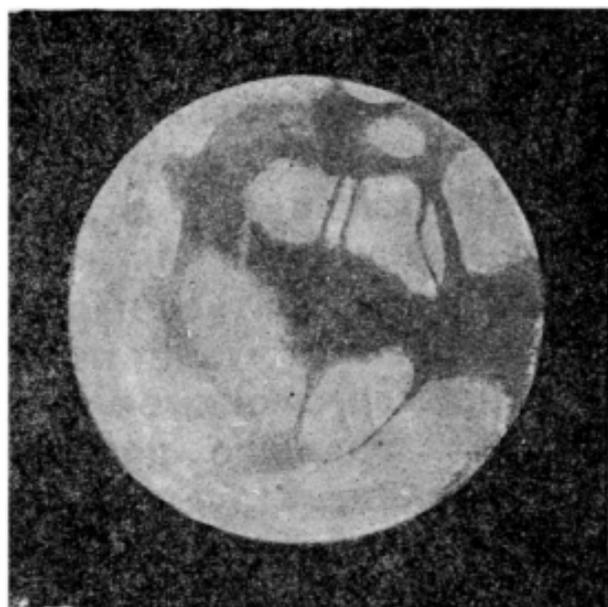
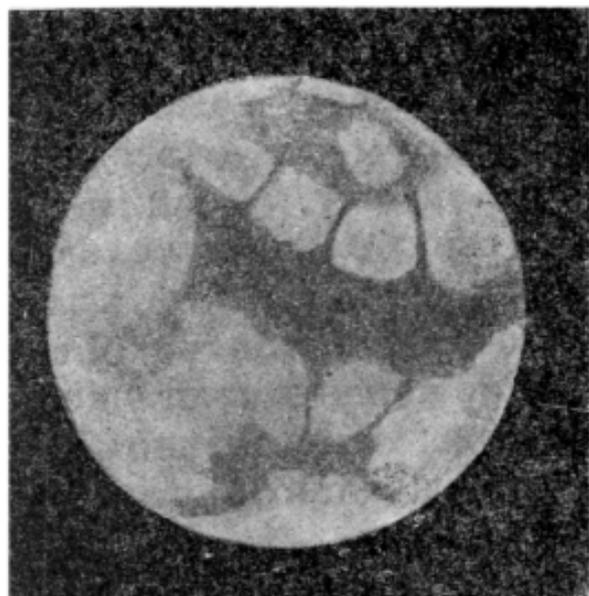


Рис. 42. Марс по наблюдениям Н. Н. Калитина в 30-дюймовый телескоп Пулковской обсерватории в 1909 г.

На рисунке видны каналы, но вид их естественный (ср. с рис. 37, 38, 39).

на звезду телескоп с не особенно большим отверстием объектива и рассматривать ее при сильном увеличении, то при беспокойном воздухе звезда будет прыгать, дрожать, но ее изображение останется более или менее резким. Если же в это время посмотреть на нее в телескоп с очень большим отвер-

стием, то она будет казаться неподвижной, но расплывается в большой волнующийся круг. Это происходит оттого, что воздушные волны, бегущие в атмосфере и портящие изображения в телескопе, чаще всего имеют не очень большие размеры. Перед небольшим объективом может поместиться лишь одна волна, даже часть волны, и это вызывает смещение звезды без ее размазывания. Перед объективом большого телескопа помещается несколько воздушных волн сразу; каждая из них отклоняет свет в какую-нибудь сторону и от этого звезда расплывается в большую светлую лепешку. Если все это так, то и изображения каналов в очень больших телескопах должны расплываться и размазываться сильнее, чем в малых.

На это опять-таки отвечали, что другие тонкие объекты, как, например, двойные звезды или узкие черные щели в кольцах Сатурна в большие инструменты видны несомненно лучше, чем в средние. Почему же именно для каналов Марса должно выходить наоборот?

Ловелл еще указывал, что закономерные сезонные изменения каналов говорят за реальность сделанных им наблюдений. Ибо если каналы всего-навсего иллюзии для зрения наблюдателя, то как могут они зависеть от такого фактора, как времена года на Марсе? Однако, такая зависимость может и быть, если источником иллюзии служат какие-то пятна или иные подробности на планете, меняющиеся с сезоном.

Особенно много споров вызвал вопрос об удвоении каналов. Тут раздавалось еще больше голосов за то, что это удвоение — просто оптический обман, вызванный явлениями контраста или дрожанием и размыванием изображений вследствие беспокойства воздуха. Но на это Ловелл отвечал, что, если бы это было так, то раздвоение наблюдалось бы для всех каналов одновременно. Между тем известно, что оно замечается только для некоторых определенных каналов и никогда не наблюдается для других. К тому же расстояние между двумя параллельными линиями у каждого канала свое особое и заключается в пределах от 120 до 650 км.

Таким образом, вопрос о том, существуют ли на Марсе каналы или нет, в 1909 г. сильно обострился, но не был решен.

Все эти споры снова возобновились в связи с великим противостоянием 1924 г., когда наблюдатели Марса опять разделились на два лагеря: сторонников и противников каналов.

На обсерватории Ловелла (скончавшегося в 1916 г.) интенсивные наблюдения каналов продолжал его помощник и преемник Слайфер, опять отчетливо видевший и изучавший

эти своеобразные детали. Каналы видел и зарисовывал также Тремплер на Ликской обсерватории, работавший на 36-дюймовом телескопе, Гамильтон на Ямайке, Стивенсон в Гринвиче и многие другие. С другой стороны, Антониади, наблюдая в большой телескоп Медонской обсерватории, подтвердил свое прежнее заключение, что в этот инструмент на месте каналов видны только неправильные волокнообразные полосы. Астроном Ван-Бисбрек утверждал, что в 40-дюймовый рефрактор Йеркской обсерватории он не мог заметить „никаких намеков на каналы“. К такому же выводу пришел и Пиз, однажды посмотревший на Марс в величайший телескоп мира — 100-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Вильсон.

Вместе с тем немецкий ученый Кюль выступил с новой теорией, рассматривающей каналы как сложную оптическую иллюзию, связанную с наличием на диске Марса тонких градаций яркости, лежащих за границей различения, а вместе с тем и с расположением и формой хорошо видимого темного узора морей. Он настолько уверился в своих взглядах и выводах, что опубликовал заявление следующего содержания: „То время, когда впервые усмотренные в телескоп Скиапарелли каналы наивно рассматривались как объекты, действительно существующие на поверхности Марса, миновало“.

Можно было бы привести еще множество других доводов и соображений, высказывавшихся теми или иными учеными как за реальность каналов, так и против нее. Однако нет никакой надобности дольше занимать внимание читателя этой, повидимому, бесплодной полемикой. Потому что единственный вывод, который можно сделать из всего изложенного выше, состоит в том, что в настоящее время по вопросу о каналах Марса, в общем, существуют следующие три точки зрения:

1) что каналы реально существуют и имеют ту противоестественную правильность, на которую указывали Скиапарелли и Ловелл;

2) что они существуют, но представляют собой довольно неправильные полосы, в характере которых никакой особой геометричности нет и

3) что они представляют собою чистую оптическую иллюзию и, следовательно, в действительности не существуют.

Фотографические наблюдения каналов

Из обзора, изложенного в предыдущем параграфе, читатель мог убедиться, что в вопросе о том, существуют ли линии каналов на самом деле или же они представляют собою лишь

нечто кажущееся или даже воображаемое, визуальные наблюдения у телескопа не привели ни к какому решению. Одни наблюдатели их видят, другие не видят, и с этим, повидимому, ничего нельзя поделать. Поэтому спор, длившийся свыше 50 лет, так и остался незаконченным, проблема осталась неразрешенной, вопрос — открытым. Но что же говорит по этому поводу фотография? Ведь фотографическую пластинку мы привыкли считать беспристрастным судьей. Если человеку столь свойственны субъективные впечатления или предвзятые мнения, то снимок, казалось бы, должен быть совершенно свободным от подобных недостатков.

Такое мнение несомненно является только отчасти верным. Ибо фотографический метод наблюдения, при наличии многих всем известных преимуществ, имеет и свои недостатки. Фотографической пластинке, так же как и глазу, свойственны различные ошибки и погрешности; с одной из них мы имели случай познакомиться, когда говорили о фотографической иррадиации. Далее, элемент субъективности отнюдь не исключается применением фотографии, поскольку полученный снимок изучает все тот же человеческий глаз со всеми присущими ему качествами и недостатками. Разница только в том, что при визуальном наблюдении этот глаз рассматривает изображение светила прямо в телескопе, а при фотографическом он изучает отпечаток этого изображения на фотографическом снимке.

В отношении наблюдения мелких деталей на планетах фотография несомненно уступает глазу. Рассматривая планету в телескоп непосредственно, на ней можно увидеть больше подробностей, чем на самом лучшем снимке. И все же в вопросе о каналах фотографии суждено было сказать свое веское слово.

Первые опыты по получению снимков Марса такого качества и характера, чтобы на них можно было рассмотреть каналы, были поставлены Лампландом на Флагстаффской обсерватории Ловелла еще в начале нашего столетия. Дело это оказалось очень тонким и трудным. Достигнуть в нем достаточных успехов долго не удавалось.

Противостояние 1909 г. впервые дало в этой области решающие успехи. На негативах Марса некоторые основные каналы были вполне отчетливо запечатлены. Это удалось на двух обсерваториях сразу: на Флагстаффской и в Пулковской. Здесь опять необходимо упомянуть про снимки Тихова, о которых мы уже столько говорили.

Изображения каналов на этих снимках представляют собою настолько тонкие и delicate детали, что их можно разглядеть исключительно на оригинальных негативах. Нет никакой возможности дать такую репродукцию в этой книге, чтобы читатель мог сам их увидеть. Поэтому мы ограничиваемся тем, что приводим рисунок, сделанный Тиховым от руки по наилучшим снимкам (рис. 43).



Рис. 43. Каналы, сфотографированные Г. А. Тиховым в 1909 г.

Фотографирование каналов сильно подвинулось вперед во время противостояния 1924 г. Большая серия снимков, полученных Тремплером на 36-дюймовом рефракторе Ликской обсерватории, показывает каналы с такой ясностью, какой никому не удавалось добиться при предыдущих противостояниях. Если раньше изображения каналов можно было рассмотреть только на оригинальных пластинках и не удавалось воспроизвести в печати (что служило немалым поводом для скептицизма со стороны тех, кто считал каналы иллюзией), то теперь каждый, кто просмотрит прекрасные фотографии, воспроизве-

денные в XIII томе „Бюллетеней“ Ликской обсерватории, сможет увидеть на них хотя бы некоторые главные каналы. Они имеют вид очень похожий на тот, который им в прежнее время придавали на своих рисунках наблюдатели, изучавшие поверхность Марса непосредственно глазом.

На оригинальных пластинках-негативах, по свидетельству Трэмплера, можно различить около ста каналов. И притом не только на материках, но и на морях, где вообще каналы видны хуже. На материках они производят впечатление очень тонких и узких линий, образуя своей совокупностью настоящую сеть. А на морях они представляются более широкими и расплывчатыми, так что составляемый ими рисунок напоминает уже не сеть, а скорее решетку или даже оконный переплет.

Изображения каналов на снимках настолько резки и отчетливы, что их можно не только видеть, но и измерять микрометром измерительной машины. На основании таких измерений Трэмплер составил первую фотографическую карту каналов Марса, воспроизведенную у нас на рис. 44.

Конечно, фотография не позволяет решить вопроса о том, являются ли каналы ровными и непрерывными линиями, как их описывал Скиапарелли. Но то, что эти линии идут совершенно прямо (т. е. по дугам больших кругов) — это по мнению Трэмплера можно считать установленным окончательно. К такому же заключению пришел и Слайфер, изучавший многочисленные снимки Марса, полученные в 1924 г. на Флагстаффской обсерватории.

На фотографиях Трэмплера можно заметить еще один факт, ускользавший от наблюдателей, рассматривавших Марс глазом. Оказывается, что доходя до моря, канал чаще всего не кончается, но продолжается и на темной поверхности. Он только становится там несколько шире.

На снимках Трэмплера ни один канал не получался двойным. Но в 1926 г. снимки Марса были получены на 60-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт Вильсон. По свидетельству астронома Гетца, изучавшего эти снимки, на них можно различить множество каналов, в том числе несколько двойных. Если это верно, то и феномен удвоения каналов приходится признать реальным.

Обширная коллекция снимков Марса, полученных южноафриканской экспедицией Флагстаффской обсерватории в 1939 г., по свидетельству Слайфера интересна и ценна прежде всего с точки зрения изучения каналов. Визуально в настоящее время зарегистрировано и нанесено на карту более тысячи

каналов. Из них свыше половины получены также и на фотографиях и притом как раз в тех местах, где их видели при изучении планеты глазом. Снимки не только с несомненностью доказывают самый факт существования каналов, но и позволяют подробно следить за происходящими в них сезонными изменениями.

Исследования каналов Марса получили дальнейшее развитие в работах, выполненных французскими астрономами на горе Пик-дю-Миди, в Пиренеях. Атмосферные условия оказались там превосходными, и потому даже телескоп умеренной силы давал возможность рассмотреть на диске Марса множество тончайших подробностей.

Первая серия наблюдений была выполнена во время весьма благоприятного противостояния 1941 г. Астроном Лио, изучавший Марс визуально, открыл на нем ряд новых озер, каналов и других тонких деталей. Камишель получил большое количество превосходных по качеству снимков, которые подтверждают результаты визуальных наблюдений и дают множество подробностей. В частности, некоторые моря, как, например, *mare Chromium* и *Aon's sinus* распадаются на тончайшую мозаику отдельных круглых пятен типа „озер“. Главные каналы отчетливо видны на снимках в виде тонких линий, пересекающих материки. Аналогичные наблюдения сделаны Бальде, который наблюдал противостояние 1941 г. на Медонской обсерватории.

Зимой 1943/1944 г. наблюдения Марса на Пик-дю-Миди были продолжены при помощи более мощного телескопа. Противостояние это было менее выгодным, чем предыдущие два (1939 и 1941 гг.), так как Марс был значительно дальше от Земли. Тем не менее удалось сделать ряд новых открытий относительно деталей структуры морей (мелкие темные пятна по краям и т. д.). На снимках, полученных Камишелем, каналов получилось еще больше, чем в 1941 г. и они выглядят темнее, особенно в районе северного полюса.

Что же мы теперь можем сказать относительно тех удивительных образований на Марсе, которые называются термином „каналы“ и о которых столько спорили и пререкались крупнейшие исследователи этой планеты?

Едва ли сейчас кто-нибудь станет отвергать тот факт, что характерной и специфической особенностью ландшафта Марса являются какие-то длинные, похожие на узкие полосы образования, которые тянутся по поверхности планеты на тысячи километров, примерно следуя дугам больших кругов. Они несомненно представляют собою какие-то постоянные образо-

вания поверхности, потому что мы их видим каждый раз на том же месте. Но видно их далеко не всегда, а только при наступлении вполне определенных сезонов. Сейчас еще невозможно сказать, являются ли полосы каналов сплошными и достаточно правильными или же это сочетание множества разрозненных и разнообразных пятен и мелких полосок, собранных в длинные вытянутые ряды.

Мы ничего не можем сказать и о том, что же представляют собою эти длинные линейные образования. Теория Ловелла, рассматривающая их как искусственные сооружения, в настоящее время представляется слишком фантастической и потому не пользуется успехом. Однако против нее никаких особых возражений сейчас не выдвигается, хотя, с другой стороны, трудно и возражать на такие крайние и спекулятивные взгляды. Большинство исследователей склоняется к мысли, что каналы — это какие-то естественные образования, быть может трещины или линии разлома в коре планеты или что-нибудь другое. Будущие исследования помогут нам лучше разобраться в этой запутанной и трудной проблеме.

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

Адамс 139, 140
 Амбарцумян 127
 Антониади 45, 153, 162, 166, 169
 Аристотель 5
 Аррениус 98, 99, 113, 132, 14
 Арциховский 103

Бальде 173
 Барабашев 73, 82, 83, 88, 128
 Барнард 29, 32, 86, 161
 Бейеринк 103
 Бессель 7, 29
 Бруно 5

Ван-Бисбрек 169
 Ван-де-Камп 27
 Вери 138
 Вильд 103
 Вирц 29
 Вуд 104, 106, 107—109

Галилей 5
 Гамильтон 169
 Ганд 94
 Гартвиг 29, 32
 Геггинс 102, 136, 138
 Гендерсон 7
 Гершель 83, 153
 Гетц 88, 172
 Графф 87
 Григорьев 91
 Грин 47, 161
 Гук 38
 Гюйгенс 38

Дарвин 3
 Денхем 140
 Джеффрис 54
 Допплер 139
 Дуглас 156

Жансен 136

Кайзер 29
 Калитин 88, 166, 167
 Камишель 173
 Кемпбелл 29, 138, 139
 Кеплер 21
 Килер 138
 Кимбалл 94
 Кирхгоф 143
 Клеро 53
 Кобленц 148
 Кома-Сола 164
 Коперник 4, 6, 21
 Кринов 75, 78, 79, 81, 106, 107—109
 Кузнецов 127
 Кюль 169

Лампланд 148, 156, 170
 Лио 173
 Ловелл 32, 38, 40, 47, 86, 93, 103, 112, 131, 139, 144, 154, 155—160, 166, 168, 169
 Лозе 40
 Лэкиш 94
 Лютер 5

Майн 29
 Маральди 83
 Маршан 138
 Маундер 102, 164
 Мендел 127
 Меркатор 44, 45
 Ми 127
 Милазкович 141
 Миллер 136
 Минаерт 125
 Мочениго 7

Никоальсон 149

Ньютон 7

Петтит 149

Пиз 169

Пиккеринг 40, 85, 144, 154, 156, 166

Рабе 29

Радлова 78

Райт 29, 67, 70, 90, 103, 117, 118, 119,
123, 132—135

Росс 70, 119, 123, 124

Рэлей 90, 115, 119, 121, 126, 128, 129,
133

Рессель 61, 93, 148

Секки 153

Семейкин 128

Сент-Джон 139

Си 29

Скиапарелли 44, 47, 93, 95, 152, 153—
155, 161, 163, 169, 172

Слайфер 40, 103, 131, 138, 156, 168, 172

Смарт 38

Соболев 126

Стефан 141, 147, 148

Стивенсон 169

Струве 7, 32, 41

Сытинская 79, 81, 83, 83, 91, 92, 107,
108 135,**Т**имирязев 103Тихов 64, 67, 71, 88, 90, 91, 104, 106,
109, 112, 116, 170, 172

Тремплер 29, 30, 32, 41, 96, 169, 171

Тэйлор 98

Фаут 60

Фесенков 119, 121, 127, 129

Физо 139

Фламмарин 9, 56, 95, 136

Фогель 102, 136, 138

Фок 127

Фрост 163

Хвольсон 127

Холл 49

Хольмберг 8

Хэл 164

Черулли 161**Ш**аронов 76, 88, 95, 129

Шулейкин 126, 127

Шур 29

Эбергард 92

Эванс 164

Эвершед 60, 61

Энгельс 4, 6

Юнг 32, 161

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Азот 137

Альbedo 53, 60

" влияние на температуру 143

" спектральное 63, 75, 143

" способы измерения 71

" сферическое 61

Аммиак 11, 104, 136

Арей 16, 43

Ареографические карты 44

" координаты 43

Ареография 43

Аспекты 20

Астрономическая единица 21

Амосфера Марса 12

" " влажность 133—140
" " доказательства су-
ществования 110—
114

" " запыленность 130

" " однородная 117

" " плотность 127

" " приведенная 118

" " прозрачность 128

" " состав 136—140

Атомная энергия 10

Афелий 21, 23

- Б**елизна 58, 60
 Большая полуось 22
 Большой Сырт 47
 Бордюр 92
- В**еликое противостояние 24
 Величина яркости 15
 Венера 11, 16, 17, 34, 49
 Верхнее соединение 19, 35
 Ветры 131
 Видимое движение 16
 Видимость деталей 68, 70, 112, 116—117, 124, 131
 Влажность атмосферы 139—140
 Влажность почвы 94
 Внутреннее строение Марса 54
 Вода 9, 147
 Водоемы 94
 Водяная теория морей 95, 97
 Воздушная дымка 114—118, 125
 Воздушные течения 131
 Возмущения спутников 32
 Восход 39, 49
 Восходящий узел 22
 Вращение Марса 37
 Времена года 39, 43
 Выступы терминатора 36, 113, 131
 Выцветы солей 90, 132
- Г**елиометр 26
 Гелиоцентрическая система мира 4, 21
 Геоцентрическая " " 4, 21
 Глобус 43, 46
 Год 23
 Горы 86, 150, 160
- Д**авление атмосферы 127—130
 Двойные звезды 50, 56
 " каналы 155
 Деймос 49
 Доказательства наличия атмосферы 110—114
 Долгота ареографическая 43
 " перигелия 23
 Дым 116, 119, 120
 Дымка воздушная 114—118
- Ж**изнь на планетах 3, 6, 8, 101, 158
- З**акон Кеплера III 50
 " Кирхгофа 143
 " косинуса 80
 " Рэлея 90, 115, 119, 121, 126, 128, 129, 133
 " Стефана 141
 Заливы 47
 Заход 39, 49
 Звездная величина 15
 Звезды двойные 50, 56
 Земли на Марсе 47
 Земля 4, 21, 43, 51
- И**злучение 141
 Изменения на Марсе 46, 83, 96, 113, 157
 Иллюзии 164, 166
 Индикатрисса 125
 Инквизиция 5, 7
 Инфракрасные лучи 60, 67, 104, 116
 Ирриадация 27, 118
- Й**еркская обсерватория 163, 169
- К**аемка 92, 156
 Канады 13
 " видимость 156
 " двойные 155
 " открытие 152
 " сезонные изменения 157
 " теория иллюзий 161—169
 " " Ловелла 158—160
 " фотографирование 169—174
 Карта Марса 44, 172,
 Квадратуры 19, 35
 Кислород 137—140
 Климат 150
 Континенты 46
 Коэффициент отражения 58
 " прозрачности 128, 135
 " рассеяния 115, 119
 " яркости 63
- Л**ед 60, 91
 Ледяная теория полярных шапок 91
 Ленинградский университет 71, 79, 129
 Ликская обсерватория 67, 161, 169, 171
 Линейность каналов 152
 Линейный поперечник 26, 30, 117

- М**
 Масса 50
 Материки 46, 77, 95
 " альbedo 78—80
 " природа 83
 " цвет 55, 67
 Маунт Вильсон 70, 88, 139, 149, 164, 169, 172
 Мгла 133
 Медонская обсерватория 162, 169
 Мерцание 16
 Метан 11, 104, 136
 Микрометр 26, 70, 140, 172
 Микрометрический винт 26, 72
 Микрофотометр 72, 140
 Моря 46, 95
 " альbedo 108
 " изменчивость 96
 " теория Аррениуса 99
 " " водяная 95
 " " растительности 100
 " цвет 55, 96
- Н**
 Наклонность орбиты 22
 Наклон оси 30, 40
 Небесная механика 26, 33, 41
 " сфера 5
 Недра Марса 52
 Неравенства 32
- О**
 Оазисы 154
 Облака 36, 112, 130—135
 Обманы зрения 164—166
 Обратное движение 18
 Однородная атмосфера 117
 Озера 47, 154
 Оливин 54
 Орбита 2, 20, 43
 Острова 47
 Ось 30, 40
 Отражательная способность 58
 Отражение лучей 61, 127, 136
 Очувствление 64
- П**
 Пар водяной 137—140
 Перигелий 21, 23
 Период вращения 38
 " обращения 23
 Планеты 16, 17
 Плоскогорья 87
 Плотность 51, 54
- Покрытие звезд 111
 Полуострова 47
 Полюсы аэрографические 43
 Полярные шапки 12, 37, 40, 46
 " " альbedo 88
 " " объяснение 87, 94
 " " положение 40, 85
 " " сезонные перемены 46, 83—87, 113
 " " цвет 55, 67, 88
 Попытное движение 18
 Преломление 111
 Прецессия 41
 Приведенная атмосфера 118
 Принцип Доплера-Физо 139
 Противостояния 20, 23, 33, 35
 Прямое движение 18
 Пулковская обсерватория 64, 71, 166, 170
 Пустыни 13, 77
 Пятна полярные 12, 37
 " Райта 68, 133
 Пыль 116
 Пыльные бури 132
- Р**
 Радиометрия 144, 148
 Размеры Марса 25
 Рассеяние высших порядков 127
 " света 111, 115
 Расстояние до Марса 23
 Расстояния планет от Солнца 22
 Растительность 13, 99, 104, 109, 149, 150
 Рефракция 111
- С**
 Самоосвещение 127
 Светофильтры 64, 166
 Сезонные изменения каналов 157
 " " морей 96
 " " полярных шапок 46, 83—87, 113
 Сезоны 12, 39, 43
 Сенсбилизация 64, 67
 Сжатие 32, 41, 52
 Сила тяжести 51, 53,
 Синодический оборот 20
 Сириус 16
 Снег 44, 58, 60, 87—89
 Соли 89, 99, 113
 Солнечная система 8, 22
 Солнечное озеро 97
 Солнечные лучи 141

- Соляная теория полярных шапок 89
 Соляные выцветы 90, 132
 Состав атмосферы 136—140
 Спектральное альbedo 63, 75
 Спектральный анализ 136
 Спектр Марса 136
 Спика-феномен 57
 Спор об атмосфере 118—124
 " о каналах 161
 Спутники 32, 41, 49, 51
 Среднее расстояние 23, 50
 Стояние 18
 „Страх“ 49
 Структура шапок 87
 Сумерки 36, 111
 Сутки 37
 Суточный ход прозрачности атмосферы 135
 Суточный ход температуры 148—150
 Сфера небесная 5
 Сферическое альbedo 61
- Т**
 Такыры 83, 98
 Ташкентская обсерватория 71
 Таяние полярных шапок 83—87
 Теллурические линии 137
 Температура 9, 141—151
 Тепличный эффект 143
 Терминатор 33, 68, 86, 112
 Термоэлектрический эффект 144
 Термоэлемент 145
 „Трепет“ 49
 Туман 36, 112
- У**
 Углекислота 89
 Угловое расстояние перигелия 23
 Угловой поперечник 26
 Угол фазы 35
 Ультрафиолетовые лучи 60, 68, 117
 Условия жизни 8
 Ущерб диска 33, 35
- Ф**
 Фазы 33, 61
 Флагстафская обсерватория 149, 170, 172
 Фобос 49
 Форма Марса 32
- Фотография 28
 " иррадиация 118
 " каналов 169
 " для определения диаметра 28, 70, 117
 Фотография в разных участках спектра 64, 67, 71, 116
 Фотометрия 71, 80
 Фраунгоферовы линии 102, 136
- Х**
 Хевиры 98
 Хлорофилл 101
 Хроматизм 65, 68
- Ц**
 Цвет двойных звезд 56
 " Марса 16
 Цветовые контрасты 55
- Ш**
 Шапки полярные 37, 46
 Широта ареографическая 43
- Э**
 Экватор 41, 43
 Эклиптика 18
 Эксцентриситет 22, 43
 Элементы вращения 40
 " орбиты 22
 Эллипс 21, 30, 34
 Эффект Вуда 104
 " Доплера 139
 " Райга 68, 117
 " самоосвещения 127
 " тепличный 143
 " термоэлектрический 144
 " Тихова 66, 116
 " Эбергарда 92
 " Эвершеда 60
- Я**
 Яркость дымки 125
 " Марса 15

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Проблема жизни на других мирах	3
Жизнь на Земле и вне Земли (3). Идеи Джордано Бруно (5). Условия, при которых возможна жизнь (8). Поиски жизни на других планетах (11). Проблема жизни на Марсе (12).	
Глава II. Марс как планета	15
Красное светило — Марс (15). Видимое движение Марса по небесному своду (16). Орбита Марса (20). Размеры и форма Марса (25). Фазы (33). Дни и ночи на Марсе (39). Сезоны на Марсе (39). Картография Марса (43). Спутники (49). Масса Марса (50). Внутреннее строение Марса (52).	
Глава III. Ландшафты Марса	55
Субъективное и объективное при изучении цвета и яркости деталей на планетах (55). Отражение света и как его выражают (58). Открытия Г. А. Тихова (64). Дальнейшие работы по фотографированию Марса в разных участках спектра (67). Как определяют альbedo образований на Марсе (71). Природа материков (77). Сезонные изменения полярных пятен (83). Что такое полярные шапки? (87). Существуют ли на Марсе моря и океаны? (94). Проблема растительности на Марсе (99).	
Глава IV. Атмосфера Марса	110
Доказательства существования газовой оболочки на Марсе (110). Воздушная дымка на Земле и на Марсе (114). Спор об атмосфере Марса (118). Определение плотности атмосферы фотометрическим путем (124). Облака и ветры на Марсе (130). Химический состав атмосферы Марса (136). Климат Марса (140).	
Глава V. Каналы	152
Открытие Скиапарелли (152). Исследования Ловелла (155). Спор о существовании каналов (161). Фотографические наблюдения каналов (169)	
Указатель имен	175
Предметный указатель	177

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР*

Редактор *А. А. Немиро*
Технический редактор *А. В. Смирнова*
Корректор *Н. А. Малевич*

РИСО АН СССР № 2543. М-01359. Подписано к печати
19/II 1947 г. Формат бумаги 60 X 92¹/₁₆. Печ. л. 11¹/₄ +
2 вкл. Учетн.-издат. листов 12¹/₂. Тип. заказ № 878.
Тираж 5000.