

ГЛАВА IX

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПЛАНЕТАХ И СПУТНИКАХ

§ 58. Солнечное облучение и температурные условия

Одним из основных факторов, определяющих состояние вещества и течение различных процессов в атмосфере и на поверхности планеты, является температура. Она зависит в первую очередь от интенсивности солнечного облучения. Другие источники энергии, и в частности поток тепла, поступающий из недр небесного тела благодаря радиоактивным процессам, также должны быть приняты во внимание, однако, по-видимому, их роль незначительна (по крайней мере, для планет, близких к Солнцу).

Основной величиной, выражающей поступление солнечной энергии на некоторую поверхность, является *облученность* или *энергетическая освещенность*, которую мы в дальнейшем будем обозначать буквой E . Она представляет собой количество энергии, поступающее на единицу площади облучаемой поверхности за единицу времени. Измерением и расчетом облученности земной поверхности занимается специальный раздел знания, называемый *актинометрией*. Большой фактический материал, собранный путем актинометрических наблюдений, позволил подойти к изучению интенсивности собственного излучения Солнца. Было установлено, что в первом приближении последняя может считаться постоянной, поскольку ее изменения со временем если и происходят, то лишь в столь ограниченных пределах, что при современной точности определений, характеризуемой погрешностью в 1—2%, доказать их наличие не удается.

Количественно интенсивность солнечного излучения принято характеризовать *солнечной постоянной* E_c , под которой понимают облученность поверхности, расположенной нормально к солнечным лучам на расстоянии в 1 а. е. от центра Солнца. Разные исследователи в зависимости от применяемых методов измерений и редукций дают для этой величины несколько различные числа. Не углубляясь здесь в эту сложную проблему, мы можем для дальнейшего принять значение

$$E_c = 1,9 \text{ г. кал/см}^2 \cdot \text{сек},$$

полученное Абботом.

Облученность E некоторого элемента поверхности пропорциональна косинусу угла i падения лучей и обратно пропорциональна квадрату расстояния Δ до Солнца:

$$E = E_c \frac{\cos i}{\Delta^2} \quad (1)$$

Это позволяет легко вычислить основные характеристики солнечного облучения для различных планет. Соответствующие данные собраны в табл. 42 (стр. 478), где даны средние расстояния от Солнца $\Delta = a$, выраженные как в миллионах километров, так и в астрономических единицах. Далее приводится угловой радиус солнечного диска для этих средних расстояний и соответствующая интенсивность облучения для нормальной к лучам плоскости. Последняя дана как в относительной мере (считая облученность на $\Delta = 1$ а. е. равной единице), так и в абсолютных, т. е. в грамм-калориях на квадратный сантиметр в минуту; дана также световая освещенность, выраженная, с одной стороны, в тысячах люксов, а, с другой, — в форме визуальной звездной величины Солнца.

Для каждой планеты солнечная облученность меняется вследствие изменения радиуса-вектора Δ , связанного с эксцентриситетом e орбиты. В некоторых случаях эти изменения могут иметь для климатологии планеты существенное значение.

Замечая, что радиус-вектор в перигелии равен $\Delta_p = a(1 - e)$, а в афелии $\Delta_a = a(1 + e)$, мы для отношения облученности E_p/E_a в перигелии и в афелии будем иметь

$$\frac{E_p}{E_a} = \left(\frac{\Delta_a}{\Delta_p} \right)^2 = \left(\frac{1+e}{1-e} \right)^2 \quad (2)$$

Соответствующие данные также приведены в табл. 42; мы видим, что для планет, орбиты которых имеют большие эксцентриситеты (Меркурий, Плутон), указанное отношение больше 2.

Для всякой конкретной точки на поверхности планеты облученность E меняется периодически вследствие вращения планеты вокруг оси и ее обращения вокруг Солнца, что влечет за собою суточный и годовой ход изменения температуры. Если рассматривать тело, лишенное атмосферы, а для планеты, имеющей атмосферу, рассматривать элемент поверхности на границе последней, то такие изменения в облучении, согласно (1), определяются простым законом косинуса. Поскольку речь идет о гладкой поверхности, которую можно считать горизонтальной, угол i равен зенитному расстоянию Солнца z , методы расчета которого были изложены в § 21.

Пользуясь простейшими соотношениями, приведенными выше, можно делать расчеты так называемых сумм тепла, т. е. количества энергии Q , поступающего на единицу площади в данной части поверхности планеты за тот или иной промежуток времени.

Условия солнечного облучения и освещения на разных планетах

Название планеты	Среднее расстояние от Солнца		Угловой радиус солнечного диска	Облуч. е. Солнцем				e	$\frac{E_p}{E_a}$	$T_1, ^\circ\text{Ц}$	$T_2, ^\circ\text{Ц}$
	10^6 км	астроном. единиц		относительное (Земля=1)	тепловое $\left(\frac{\text{э. кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{мин}}\right)$	световое (тысячи люксов)	звездная величина Солнца				
Меркурий	58	0,387	2480"	6,68	12,7	901	-28,8	0,206	2,31	+358°	+172°
Венера	108	0,723	1327	1,91	3,64	258	-27,4	0,007	1,03	+191	+54
Земля	149	1,000	960	1,00	4,90	435	-26,7	0,017	1,07	+119	+4
Марс	228	1,524	630	0,431	0,81	58,2	-25,8	0,093	1,45	+43	-51
Юпитер	778	5,203	184	0,0370	0,0702	4,99	-23,1	0,048	1,21	-100	-151
Сатурн	1426	9,539	101	0,0110	0,0208	1,48	-21,8	0,056	1,25	-145	-183
Уран	2868	19,191	50	0,0027	0,0052	0,366	-20,3	0,047	1,21	-184	-210
Нептун	4494	30,071	32	0,0011	0,0021	0,149	-19,3	0,009	1,04	-201	-222
Плутон	5897	39,52	24	0,0006	0,0012	0,087	-18,7	0,249	2,77	-211	-229

В качестве примера рассмотрим путь расчета суммы тепла, получаемой поверхностью за одни планетные сутки на планетографической широте β . Пусть планетоцентрическое склонение Солнца, отнесенное к экватору планеты в данный момент, равно δ . Обозначая часовой угол через ω , пишем:

$$\cos i = \cos z = \sin \beta \sin \delta + \cos \beta \cos \delta \cos \omega. \quad (3)$$

Вводя обозначения:

$$\frac{E_c}{\Delta^2} \sin \beta \sin \delta = A; \quad \frac{E_c}{\Delta^2} \cos \beta \cos \delta = B$$

и применяя формулы (2) и (3), получаем следующее выражение для хода облученности E на протяжении суток:

$$E = A + B \cos \omega, \quad (4)$$

причем величина E отлична от нуля для значений ω , удовлетворяющих неравенству $-\omega_0 < \omega < +\omega_0$, где ω_0 — часовой угол, соответствующий восходу и заходу Солнца, — определяется из равенства: $\cos \omega_0 = -A/B$.

Если продолжительность солнечных суток на планете, выраженная в единицах среднего земного времени (например, в секундах) равна P , то можем написать:

$$\omega = \frac{2\pi}{P} (t - t_0); \quad dt = \frac{P}{2\pi} d\omega,$$

где t — момент в земном времени, а t_0 — момент истинного полудня на планете в том же времени. Замечая, что облученность E представляет собою поток энергии dQ/dt , отнесенный к единице площади, получаем:

$$dQ = E dt = \frac{P}{2\pi} (A + B \cos \omega) d\omega,$$

что и позволяет найти Q :

$$Q = \frac{P}{2\pi} \int_{-\omega_0}^{+\omega_0} (A + B \cos \omega) d\omega = \frac{P}{\pi} (A\omega_0 + B \sin \omega_0). \quad (5)$$

Развивая такую теорию дальше, можно получить выражения, позволяющие вычислять суммы тепла и для более продолжительных промежутков времени, например сезонные, годовые и пр.

Очевидно, что чем интенсивнее солнечное облучение, тем при прочих равных условиях должна быть выше температура на поверхности данного небесного тела. Для того чтобы получить некоторые количественные соотношения между облучением

(а следовательно, и расстоянием до Солнца) и температурой, мы рассмотрим некоторые простейшие схемы.

Если поместить некоторую поверхность с достаточно низкой температурой в поле солнечного излучения, то благодаря поглощению лучистой энергии температура будет повышаться и остановится на таком значении, при котором приход энергии будет равен ее потере за счет всевозможных процессов, которыми сопровождается повышение температуры. Сюда относятся: передача тепловой энергии внутрь тела благодаря теплопроводности, перенос ее атмосферными течениями, превращение ее в другие формы за счет химических и физических процессов (скрытая теплота плавления и парообразования, кинетическая энергия атмосферных течений, явления жизни и т. д.) и, наконец, температурное излучение.

Возьмем абсолютно черную плоскость, расположенную нормально к солнечным лучам и предположим, что единственным источником потери тепла является температурное излучение с освещаемой поверхности. Тогда поступление энергии на единицу площади будет равно облученности E , выражаемой формулой (1), а расход энергии определяется законом Стефана. Для условия равновесия это дает:

$$\frac{E_c}{\Delta^2} = \sigma T_1^4, \quad (6)$$

где σ — постоянная формулы Стефана (значение которой должно быть согласовано с теми единицами, в которых дано E_c), а T_1 — та температура, которую примет поверхность при наличии указанных условий и которую мы будем называть *равновесной температурой*. Для ее расчета имеем:

$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{E_c}{\sigma \Delta^2}} = \frac{392^\circ}{\sqrt{\Delta}}. \quad (7)$$

Условия, положенные нами в основу расчета, на практике, конечно, нигде не имеют места, но можно ожидать, что некоторое приближение к ним мы будем иметь на поверхности медленно вращающихся, лишенных атмосферы тел с темной поверхностью, например в подсолнечной точке на Луне и Меркурии.

Рассмотрим еще такую схему. Пусть в поле излучения Солнца находится сферическое тело радиуса R , имеющее абсолютно черную поверхность. Примем, что тепловая энергия в любой момент распределена по всей поверхности тела равномерно, вследствие чего эта поверхность во всех точках имеет одну и ту же равновесную температуру T_2 (случай идеальной теплопроводности), определяемую условием, что потеря энергии происходит только путем температурного излучения по за-

кону Стефана. Теперь условие равновесия должно быть написано в форме:

$$\pi R^2 \frac{E_c}{\Delta^2} = 4\pi R^2 \sigma T_2^4,$$

откуда следует:

$$T_2 = \sqrt[4]{\frac{E_c}{4\sigma \Delta^2}} = \frac{T_1}{\sqrt{2}} = \frac{277^\circ}{\sqrt{\Delta}}. \quad (8)$$

Таким образом, для обеих схем имеет место важный результат: равновесная температура обратно пропорциональна квадратному корню из расстояния до Солнца. Значения равновесных температур T_1 и T_2 , вычисленные по полученным формулам, приводятся в последних графах табл. 42 (стр. 478).

Теорию расчетов описанного типа можно развивать в направлении приближения к условиям, имеющим место в действительности. Например, если поверхность свойствами абсолютно черного тела не обладает, то необходимо ввести в расчет ее альбедо A и связанную с ним излучательную способность $\eta = 1 - A$ (закон Кирхгофа). Пусть среднее альбедо для той части спектра, где сосредоточена энергия солнечного излучения (видимые и ближние инфракрасные лучи), равно A_c , а для той области, где происходит собственное температурное излучение поверхности планеты (далекый инфракрасный участок), — A_n . Если угол падения солнечных лучей на поверхность равен i , то условие равновесия, определяющее температуру T_1 , теперь будет:

$$(1 - A_c) \frac{E_c}{\Delta^2} \cos i = (1 - A_n) \sigma T_1^4,$$

откуда следует:

$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{1 - A_c}{1 - A_n} \frac{E_c \cos i}{\sigma \Delta^2}}. \quad (9)$$

Дальнейшее развитие теории состоит в учете влияния атмосферы небесного тела. Последнее состоит в том, что часть прямой солнечной радиации задерживается экстинкцией, но зато поверхность получает дополнительное облучение, во-первых, за счет рассеянного атмосферой лучистого потока (аналогично освещению рассеянным светом неба) и, во-вторых, за счет собственного температурного излучения атмосферной толщи. Сочетание этих процессов может как понижать температуру поверхности, так и повышать ее. Последний случай связан с *тепличным эффектом* атмосферы. Этот эффект возникает в том случае, когда атмосферная оболочка содержит газы, спектр которых состоит из полос поглощения, сосредоточенных в той далекой инфракрасной части спектра, где происходит собственное температурное излучение планеты. В таких условиях поток солнечной радиации проходит к

поверхности планеты сквозь прозрачную для него атмосферу с небольшим ослаблением, в то время как собственное излучение поверхности в значительной мере поглощается атмосферой и переизлучается к поверхности обратно (как это имеет место для стеклянного покрова обычных парников, откуда и получается название рассматриваемого эффекта).

Теоретическое исследование указанных выше эффектов составляет предмет *математической климатологии*, разрабатываемой главным образом применительно к Земле. Интересные работы, относящиеся также и к другим планетам, были опубликованы югославским астрономом М. Миланковичем, а также Вильдтом, Гессом и др. Отсутствие надежных данных по отражательной способности поверхностей и прозрачности атмосфер, особенно для далекой инфракрасной области спектра, ведет к тому, что результаты выполненных расчетов в той или иной степени оказываются гипотетическими.

§ 59. Определение температуры путем радиометрических измерений

Методика таких определений основана на приложении к температурному излучению поверхности небесного тела, измеренному при помощи достаточно чувствительного радиометра—термоэлемента или болометра, теоретически найденных законов излучения. Поскольку лучистый поток, получаемый от планеты или спутника, состоит из двух компонентов, а именно из отраженной солнечной энергии (которая с температурой поверхности не связана) и из собственного излучения поверхности тела, необходимо уметь выделить из общего потока второй компонент. Это оказывается возможным благодаря различию спектральных участков.

По закону смещения Вина

$$\lambda_m T = K.$$

Максимум интенсивности для излучения Солнца, соответственно температуре фотосферы $T=6000^\circ\text{K}$, лежит на $\lambda_m=0,5\text{ }\mu$, в то время как для поверхности таких тел, как Венера, Луна и Марс, температура T близка к 273°K и потому $\lambda_m=12\text{ }\mu$. Таким образом, отраженное солнечное излучение почти целиком сосредоточено в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном участках спектра между $0,2$ и $3\text{ }\mu$, в то время как излучение планеты заключено в далеком инфракрасном участке между $3\text{ }\mu$ и $20\text{ }\mu$. Эффект еще усиливается поглощением в земной атмосфере, как это показано на рис. 99. Благодаря наличию глубоких полос поглощения на участке $6\text{—}8\text{ }\mu$ и для $\lambda>15\text{ }\mu$ полоса фактически наблюдаемого участка инфракрасного излучения планеты ограничена интервалом $8\text{—}15\text{ }\mu$. Это дает возможность легко отделить собственное

излучение планеты от отраженного солнечного, пользуясь светофильтром, обрезающим спектр на $5\text{—}6\text{ }\mu$. Такой эффект дает тонкий слой воды или глицерина, а также простое стекло. Поэтому если произвести радиометрические измерения дважды: сначала без светофильтра, а потом сквозь светофильтр, поглощающий собственное излучение планеты, то последнее можно получить как разность измерений без фильтра и с фильтром.

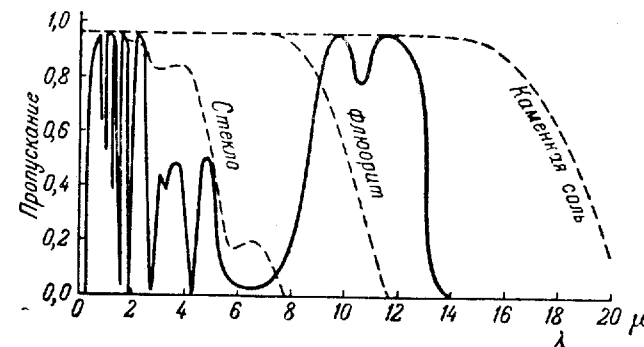


Рис. 99. Кривая пропускания земной атмосферы в инфракрасных лучах по наблюдениям на Маунт Вилсон (сплошная линия) и границы пропускания для стекла, флюорита и каменной соли (пунктир).

Идея такого метода определения планетных температур была высказана немецкими физиками Кобленцом и Пфундом еще в 1913—1914 гг.; первые практические работы в этом направлении были поставлены Кобленцом и Лампландом на обсерватории в Флагстаффе в 1922 г., а затем Петтитом и Никольсоном на Маунт Вилсон. Теория радиометрического измерения температуры была разработана Ресселом и Менцелем. Однако количество работ, выполненных в этой области до настоящего времени, очень невелико. Это объясняется тем, что, во-первых, наблюдения такого рода можно вести только на крупных рефлекторах (стеклянная оптика рефрактора полностью поглощает область собственного излучения планеты) и, во-вторых, техника измерения крайне слабых термопотоков представляет собою весьма тонкий физический эксперимент, требующий высокого качества аппаратуры и большого опыта наблюдателя.

Для измерений применяются вакуумные термоэлементы с возможно меньшей приемной поверхностью (чтобы можно было измерять излучение от отдельных участков диска светила). Так, в установке Петтита и Никольсона приемная часть имела диаметр всего $0,23\text{ мм}$ и представляла собой спай висмута и сплава висмута с оловом. Окно камеры, в которой был расположен термоэлемент,

было сделано из каменной соли (NaCl), вполне прозрачной для длинных инфракрасных лучей.

Термоспай, покрытый черной краской (для возможно более полного поглощения всего потока энергии), помещают прямо в кассегреновском фокусе рефлектора и проектируют на него исследуемую часть диска планеты. Второй спай помещается также в фокальной плоскости рядом с первым, и в момент измерения на него проектируется фон неба рядом с планетой. Этим исключается из результата тепловое излучение земной атмосферы, а также различных частей телескопа.

Для получения температуры T из радиометрических наблюдений могут быть применены различные приемы. Теория наиболее распространенного из них сводится к следующему.

Пусть J_c — энергия отраженного солнечного излучения, отнесенная к единице телесного угла, J_Π — энергия собственного температурного излучения поверхности тела, а t_c и t_Π — соответствующие коэффициенты пропускания земной атмосферы. Тогда измерение без светофильтра дает величину $\omega(J_c t_c + J_\Pi t_\Pi)$, где ω — телесный угол, захватываемый приемной поверхностью термоэлемента. Измерение сквозь светофильтр соответствует лучистому потоку $\omega t_\Phi t_c J_c$, где t_Φ — коэффициент пропускания фильтра для отраженной солнечной радиации. Непосредственным результатом наблюдения является величина

$$W = \frac{t_\Phi t_c J_c}{t_\Pi J_\Pi + t_c J_c}.$$

Отсюда получаем:

$$\frac{t_\Pi J_\Pi}{t_c J_c} = \frac{t_\Phi}{W} - 1. \quad (10)$$

Применяя законы Стефана и Кирхгофа, мы можем написать:

$$J_\Pi = \eta \omega \sigma T^4, \quad (11)$$

где $\eta = 1 - A$ — излучательная способность поверхности планеты, а T — средняя температура для охватываемого углом ω участка поверхности. Для отраженного излучения, принимая во внимание формулу (1), а также обозначения гл. VI, можем написать:

$$J_c = \frac{E_c}{\Delta^2} \omega A_r \varphi(\psi), \quad (12)$$

где A_r — среднее геометрическое альbedo для покрова исследуемого участка, а $\varphi(\psi)$ — фазовая функция. Далее, отношение E_c/Δ^2 , согласно равенству (6), мы можем заменить на $\sigma T_\odot^4$. Подставляя это в (12), внося формулы (11) и (12) в (10) и решая относительно искомой температуры T , окончательно находим:

$$T = T_\odot \sqrt[4]{\frac{t_\Phi}{W} - 1} \sqrt[4]{\frac{t_c A_r \varphi(\psi)}{t_\Pi \eta}}. \quad (13)$$

Практика расчета температуры по этой формуле связана с тем большим затруднением, что величины, входящие под знак второго корня, нам в сущности неизвестны. Это заставляет выбирать их численные значения для расчета на основе предположительных соображений. Так, нередко принимается гипотеза, что поверхность планеты рассеивает свет нейтрально, что позволяет принять для A_r визуальное полученное значение альbedo и соответствующее ему значение η . В других случаях берут визуальное значение только для A_r и полагают $\eta = 1$, что соответствует предположению, что в далеком инфракрасном участке спектра оптические свойства поверхности соответствуют абсолютно черной поверхности.

Коэффициенты пропускания земной атмосферы t_c и t_Π , помимо закономерного хода с зенитным расстоянием, выражаемого законом Бугера, подвержены еще быстрым изменениям во времени из-за перемен в атмосфере, особенно вследствие колебаний количества водяного пара. Выполнять независимые определения коэффициентов прозрачности во всех требуемых участках спектра для данной ночи наблюдения — трудно выполнимая задача по причине ее сложности, а потому приходится прибегать к средним данным, заимствуемым из дневных актинометрических наблюдений. Так, широко использовались таблицы, опубликованные Абботом и Фоулем для Маунт Вилсон, в данные которых вносили поправки, учитывающие абсолютное количество водяного пара в атмосфере пункта наблюдения. Позднее Адамс и Лампланд опубликовали новые данные, основанные на наблюдениях, выполненных на обсерватории Ловелла.

Но сколь бы тщательно ни были получены средние данные, используемые для расчета, ясно, что условиям отдельных ночей они соответствовать не будут, так что используемые значения t_c и t_Π могут отличаться от истинных довольно значительно.

Влияние неточности используемых для расчета данных несколько снижается тем, что они входят в формулу (13) под знаком корня четвертой степени. Обозначая крайний правый множитель этой формулы через $\sqrt[4]{K/t_\Pi}$ и замечая, что t_Π меняется приблизительно пропорционально T^2 , получаем:

$$\frac{dT}{T} = \frac{1}{6} \frac{dK}{K},$$

так что относительная погрешность полученного значения температуры в шесть раз меньше относительной погрешности расчета подкоренной величины.

В поисках методов уменьшения систематических погрешностей определения температуры T были предложены и другие способы расчета. Так, Кобленц применил раздельное измерение собственного лучеиспускания планеты в участках спектра 8—12,5 μ и

12,5—15 μ , которые могут быть разделены путем применения двух светофильтров: водяного и флюоритового. Для вычисления температуры в этом случае вместо закона Стефана можно применить формулу Планка (как это делается при получении цветовой температуры звезд по сине-красному отношению или по показателю цвета). Однако это тоже требует введения гипотезы нейтрального отражения света поверхностью. Кроме того, метод оказывается менее чувствительным, поскольку отношение интенсивностей двух участков спектра меняется с температурой медленно. Это ведет к тому, что относительная погрешность температуры будет вдвое больше относительной погрешности измеренного отношения интенсивностей.

Другая возможность состоит в сравнении излучения некоторой планеты с излучением Луны. Это выгодно тем, что оба светила можно сравнивать в течение короткого промежутка времени и при одинаковой высоте над горизонтом, что значительно снижает погрешности, связанные с экстинкцией в земной атмосфере. Но зато необходимо считать, что температура используемых для сопоставления участков лунной поверхности известна с достаточной точностью, что едва ли справедливо.

Интерпретация значения температуры T , полученного радиометрическим путем, сравнительно проста только для случая небесного тела, совершенно лишенного атмосферы. Если поверхность такого тела является достаточно гладкой, то полученное значение T в пределах погрешностей измерения и расчета должно соответствовать реальному среднему значению температуры изученного участка поверхности. Если поверхность сильно изрыта, то дело осложняется тем, что склоны неровностей, по-разному наклоненных к солнечным лучам, будут нагреты неодинаково. С таким случаем мы встречаемся на Луне, где радиометрическая температура меняется с углом испускания. Еще большее влияние должна оказывать атмосфера, даже столь разреженная, как у Марса. В случае непрозрачных атмосфер большой оптической глубины измеренное значение будет выражать лишь некоторую эффективную температуру более или менее толстого газовой-аэрозольного слоя. Теорией этой сложной проблемы занимался английский астрофизик Милн.

§ 60. Атмосфера Венеры

Данные об этой планете, которые были нами изложены в §§ 25 и 57, приводят нас к выводу, что Венера относится к числу планет с непрозрачной атмосферой, а потому нашему непосредственному исследованию доступны лишь верхние слои аэрозольно-газовой оболочки этой планеты, в то время как нижние слои последней и твердая поверхность остаются предметом различных гипотез.

Важнейший для познания разворачивающихся в атмосфере процессов вопрос о температуре Венеры получил свое разрешение лишь за последнее время. Прежние данные Петтита и Никольсона, согласно которым температура освещенной части диска доходила до $+50^\circ \text{C}$, а на ночной составляла -23°C , были опровергнуты новейшими данными Синтона, который получил для средней температуры диска -39°C без существенных различий между ночным и дневным полушариями. В связи с этим Петтит и Никольсон заново пересмотрели весь свой прежний материал, полученный по методу стеклянного фильтра. Для ночного полушария в среднем по 17 ночам наблюдений получено значение температуры -37°C , для дневного полушария по 11 ночам наблюдения -42°C . Различие, имеющее знак, обратный ожидаемому, авторы считают нереальным и приходят к выводу, что температура видимой поверхности Венеры в среднем составляет -40°C , суточные же колебания ее лежат за пределами точности наблюдений.

Столь низкое значение температуры естественно приписать тому, что видимая для нас поверхность облачного слоя лежит в атмосфере на достаточно большой высоте. В нижних слоях атмосферы и на поверхности температура должна быть выше, тем более, что углекислый газ, содержащийся в атмосфере в большом количестве, должен давать заметный тепличный эффект. По подсчетам Вильдта, последний может повышать температуру поверхности Венеры на 50° .

Характерной и лишь недавно окончательно выясненной особенностью атмосферы Венеры является снижение фактора светлоты в фиолетовом и особенно в ультрафиолетовом участках спектра, что указывает на заметную роль истинного поглощения в этом спектральном интервале. В этом кроется причина расхождений между определениями фактора D , выполненными визуально-колориметрическим путем, и обычным сопоставлением интегральной фотометрии в фотографической и фотовизуальной системах. Поскольку распределение энергии в ультрафиолете на данные визуальных оценок цвета влияния не оказывает, такие оценки приводят к небольшим значениям фактора желтизны порядка 0,1 (Шаронов), что указывает лишь на очень незначительное отклонение цвета планеты от цвета Солнца в желтую сторону. В то же время фотографическое определение показателя цвета приводит к значениям $D = +0,30$ (Кейпер), $+0,36$ (Паршин), поскольку ближний ультрафиолет входит в фотографический участок спектра. В этом же, быть может, лежит и причина того, что показатель цвета как будто меняется с фазой (по Барабашеву планета синее с увеличением ϕ), в то время как визуально определенные значения D хода с фазой не дают (Шаронов).

Снижение отражательной способности атмосферно-облачной оболочки Венеры в коротковолновой области спектра наглядно

иллюстрируется нижеследующими значениями коэффициента яркости серпа Венеры, полученными И. А. Паршиным:

Участок спектра	r
Фотографический	0,67
Фотокрасный	0,93
Инфракрасный	0,95

В наиболее детальной форме это явление иллюстрируется спектральной кривой, которую получил Н. А. Козырев в 1953 г. Кроме общего усиления поглощения с уменьшением длины волны, на этой кривой намечаются канты двух полос поглощения, лежащие на 4120 и 4372 Å. Впоследствии такие же полосы были получены и в спектре поглощения земной атмосферы. Какому соединению они принадлежат, в настоящее время неизвестно, но Н. А. Козырев считает, что это должна быть сложная молекула, которая в атмосфере Венеры может играть такую же роль, что и водяной пар в атмосфере Земли, так что колебания в ее содержании определяют нечто, аналогичное погоде в наших условиях.

Все сказанное интересно сопоставить с теми темными полосами, которые получают на ультрафиолетовых снимках Венеры. Существование этих полос указывает на различие фактора ρ в разных зонах планеты. Это различие может происходить от разных причин. Так, возможно, что содержание поглощающих ультрафиолетовую радиацию соединений неодинаково для разных поясов планеты. Но более вероятно, что эти соединения сосредоточены в верхнем газовом слое атмосферы и не входят в состав аэрозолей, образующих облачный слой видимой поверхности планеты. Если это так, то понижение высоты границы облачного покрова и соответственное увеличение толщины газового слоя должны сопровождаться уменьшением ультрафиолетовой яркости тех или иных участков диска. Третья альтернатива состоит в том, что поглощающий материал сосредоточен ниже облачных слоев и проступает в разрывах последних.

Таким образом, решение вопроса о химической природе молекул, вызывающих поглощение в ультрафиолетовой части спектра Венеры, и о причинах наблюдаемого распределения этого поглощения по поверхности планеты является одной из главных проблем физики атмосферы Венеры.

Другой важной проблемой является решение вопроса о природе тех рассеивающих частиц, которые составляют дисперсную фазу аэрозолей облачных слоев на Венере. Некоторые перспективы тут имеет применение фотометрии, поскольку оно может дать индикатрису рассеяния.

Наиболее обширный материал, который тут может быть использован, дает интегральная фотометрия. Фазовая кривая, опре-

деленная для Венеры достаточно надежно, в числе прочих факторов зависит и от средней индикатрисы рассеяния атмосферной толщ. Однако надлежащий анализ этой кривой должен опираться на теорию рассеяния, достаточно полно учитывающую рассеяние высших порядков.

Первые попытки в этом направлении были сделаны Банахевичем еще в 1918 г. и привели к выводу, что закон рассеяния в атмосфере Венеры сходен с тем, что наблюдается в атмосфере Земли.

Более подробные расчеты этого рода были опубликованы Б. П. Герасимовичем, который принял для индикатрисы ее приближенное выражение, предложенное Шенбергом [формула (62) § 53] и решал интегральное уравнение рассеяния в приближении Эддингтона. Из нескольких испробованных вариантов наилучшее соответствие как ходу с фазой, так и абсолютным значениям величин дало решение со значением фактора светлоты, равным единице (чистое рассеяние), при индикатрисе вида:

$$f(\vartheta) = 1 - 1,75 \cos \vartheta + 3,00 \cos^2 \vartheta,$$

что указывает на сравнительно крупные размеры рассеивающих частиц.

Позднее этим вопросом занимался В. В. Соболев, который, исходя из разработанной им приближенной теории рассеяния, выражая индикатрису рядом Лежандра и сохраняя в последнем два первых члена, дал методику получения индикатрисы по фазовой кривой для случая атмосферы бесконечной оптической толщины. Применение этой методики к фазовой кривой, выведенной Мюллером из визуальных наблюдений, привело к значению фактора светлоты $\rho = 0,989$ и к весьма вытянутой индикатрисе, представляемой нижеследующими числами:

ϑ	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180°
Венера	7,20	6,00	2,70	1,50	1,00	0,67	0,51	0,40	0,35	0,41	0,56	0,65	0,70
Земля	4,60	3,30	1,90	1,30	0,94	0,75	0,64	0,65	0,72	0,85	1,03	1,14	1,20

а в графической форме представленной на рис. 100. Для сравнения приводится средняя индикатриса рассеяния толщ земной атмосферы, полученная из распределения яркости по безоблачному небу; как видим, степень вытянутости ее значительно меньше.

Впоследствии аналогичные расчеты для фазовой кривой Венеры, полученной Данжоном, были опубликованы Н. П. Барабашевым; они также приводят к индикатрисе сильно вытянутой формы.

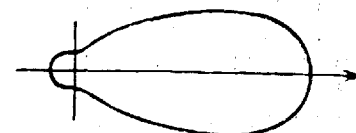


Рис. 100. Индикатриса рассеяния, полученная для атмосферы Венеры В. В. Соболевым по фазовой кривой.

Для изучения природы рассеивающих частиц большой интерес представляет поверхностная фотометрия. К сожалению, к диску Венеры она пока применялась мало и притом преимущественно в относительной форме.

Первые работы по поверхностной фотометрии Венеры, выполненные визуальным методом, были опубликованы Е. Шенбергом (Тарту) и Н. П. Барабашевым (Харьков). Фотографической фотометрией планеты в Харькове позднее занимались Н. П. Барабашев совместно с Б. Е. Семейкиным и В. И. Езерским, а также В. В. Шаронов в Пулкове и И. А. Паршин по снимкам, полученным в Ташкенте.

Собственно измерения у всех наблюдателей дали тот странный результат, что яркость достигает максимума при $i=\pi$, как если бы тут действовало зеркальное отражение. Н. П. Барабашев высказал предположение, что тут сказывается зеркальное отражение от океана, согласно взглядам некоторых исследователей покрывающего всю поверхность планеты. Однако остается неясным, как может действовать такой эффект при наличии непрозрачного облачного слоя. С другой стороны, Миннарт обратил внимание на то, что результаты фотометрических измерений не соответствуют принципу обратимости Гельмгольца, а это дает повод подозревать наличие в них систематических ошибок. Однако эффект такого же рода могут дать и реальные различия в физическом состоянии облачного слоя в разных частях диска планеты.

Для получения различных оптических параметров рассеивающей оболочки Венеры необходимо иметь абсолютные определения отражательной способности при различных фазах. Такого материала в нашем распоряжении пока нет. Далее, интерпретация результатов поверхностной фотометрии должна быть основана на теории рассеяния, достаточно точно учитывающей эффект рассеяния высших порядков. Прежние работы, выполненные до разработки В. А. Амбарцумяном современной теории рассеяния, следует признать устаревшими, поскольку положенная в их основу методика расчета яркости к слою большой оптической толщины применена быть не может. Учитывая это, мы можем сказать, что единственной попыткой применить поверхностную фотометрию к получению оптических параметров атмосферы Венеры является работа Н. П. Барабашева и В. И. Езерского, которые нашли достаточное согласие своих измерений с расчетами по формулам В. В. Соболева при $\omega=0,995$ и характеристике вытянутости индикатрисы рассеяния $x_1=1,7$.

Поляриметрические наблюдения Венеры были опубликованы Лию, который получил кривую поляризации, примерно соответствующую тому, что дают прозрачные сферические элементы типа водяных капель.

Таким образом, из фотометрических и поляриметрических наблюдений можно извлечь только тот результат, что рассеяние в атмосфере Венеры происходит преимущественно на сравнительно крупных частицах, дающих сильно вытянутую по лучу индикатрису рассеяния. Что касается до природы этих частиц, то тут можно делать только предположения.

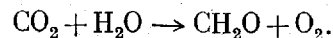
Наибольшим распространением пользуется гипотеза, согласно которой рассеивающими элементами в атмосфере Венеры аналогично земным облакам являются либо жидкие водяные капли, либо ледяные кристаллы. В конце XIX и в начале XX в. такая точка зрения была даже общепринятой. Однако она была серьезно поколеблена результатами спектроскопических исследований, не обнаруживших полос поглощения H_2O в спектре планеты, из чего следует, что количество водяного пара на последней не превосходит 2% от того, что имеется в земной атмосфере над уровнем Маунт Вилсон (Дэнхем). Правда, результаты поляриметрических наблюдений Лию как будто говорят в пользу наличия водяных облаков на Венере, но на это было указано, что они столь же хорошо удовлетворяют кварцевым рассеивающим частицам (ван де Холст), а также частицам хлористого натрия (Кейпер). В то же время данные колориметрических наблюдений и температурный режим на планете в пользу водяной природы облаков не говорят.

Несмотря на все сказанное, гипотеза водяных облаков на Венере имеет много сторонников и продолжает разрабатываться. Так, Менцель и Уиппл опубликовали в 1955 г. работу, в которой принимают адиабатическую модель строения атмосферы, эмпирическую формулу для распределения водяного пара с высотой, полученную по земным данным, и температуру -39° для верхней границы облачного покрова. Исходя из влажности в 100% у поверхности планеты и задаваясь правдоподобным составом атмосферы ($CO_2 : N_2 = 1 : 3,7$), они получили для водяного пара над облачным слоем количество, соответствующее 0,01—0,02 см осажженной H_2O , что спектроскопически обнаружить невозможно. Указанные авторы отмечают также то обстоятельство, что температура $-39^\circ C$ представляет собою нижний предел для существования водяных капель в жидком виде, поскольку при снижении температуры до $-39,8^\circ$ происходит мгновенное затвердевание даже идеально чистых капель. Таким образом, облачный слой Венеры может состоять как из водяных капель (подобно земным слоистым или высококучевым облакам), так и из ледяных кристаллов (аналогично перистым и серебристым облакам).

Другая альтернатива для объяснения наблюдаемых на Венере явлений состоит в предположении, что рассеивающий слой состоит из твердых частиц, плавающих в атмосфере. Однако эта гипотеза в настоящее время мало разработана; в частности, никто

еще не указал, за счет чего возникает и непрерывно поддерживается столь устойчивый сухой туман. Еще менее зрелым представляется предположение, согласно которому непрозрачность атмосферы Венеры вызывается мглой, образуемой исключительным развитием флуктуаций плотности, создающих огромное количество рассеивающих элементов в чисто газовой среде.

Одно время внимание привлекала гипотеза, выдвинутая Р. Вильдтом, согласно которой элементы дисперсной фазы облакоподобного аэрозоля атмосферы Венеры представляют собою твердые частички формальдегида или его полимеров. В основу этой теории положено предположение, что атмосфера Венеры состоит из углекислого газа, водяного пара и основы из каких-то инертных газов, возможно, азота или аргона, находящихся при температуре $+50^\circ \text{C}$ или выше. Поскольку свободный кислород и озон полностью отсутствуют, ультрафиолетовая радиация Солнца проходит через всю толщу такой атмосферы, вызывая фотолитическую реакцию между водяным паром и углекислым газом:



Образующийся кислород поглощается окислительными реакциями с веществом твердой поверхности или удаляется из атмосферы каким-либо иным способом, что является в данной гипотезе существенным моментом, поскольку при его наличии реакция должна остановиться в самом начале, в то время как при его отсутствии она может идти до полного исчерпания H_2O .

В дальнейшем изложенная теория подверглась разносторонней критике. Было указано, что формальдегид дает резкие полосы поглощения в участке спектра между 2500 и 3600 Å. Слой этого газа толщиной всего 3 мм должен дать полосы такой интенсивности, что они непременно будут обнаружены средствами астрономической спектроскопии. Используя 82-дюймовой рефлектор обсерватории Мак-Дональд, Вильдт сам произвел тщательное изучение спектра Венеры на указанном участке, но искомым полос не обнаружил. Кроме того, если бы в атмосфере Венеры действительно происходило бы образование формальдегида согласно указанной Вильдтом реакции, то естественно было бы ожидать появления в спектре признаков водяного пара и кислорода. Поскольку этого нет, выходит, что из четырех соединений, участвующих в этой реакции, спектроскопически наблюдается только одно, что делает гипотезу формальдегида искусственной и неправдоподобной, лишая ее к тому же каких бы то ни было преимуществ перед гипотезой H_2O . Это и было причиной того, что предположение о формальдегидовых облаках в атмосфере Венеры в настоящее время не пользуется поддержкой.

Таким образом, о природе частиц, образующих облачный покров на Венере, мы в данное время ничего достоверного сказать не можем.

Работы по поверхностной фотометрии Венеры, указанные выше, отчасти распространяются и на сумеречную зону планеты, подтверждая полученный из удлинения рогов вывод о значительном развитии сумеречных явлений. Так, Н. П. Барабашев мог измерять сумеречный свет визуально до расстояния в 20° от терминатора, фотографически—до 16° . В. В. Шаронов сопоставлял градиент яркости за линией терминатора Венеры с ходом сумеречных кривых на Земле и получил, что интенсивность сумеречных явлений на Венере в четыре раза выше, чем на Земле. Правда, при оценке таких результатов всегда надо иметь в виду иррадиацию, которая ведет к преувеличению яркости за линией терминатора.

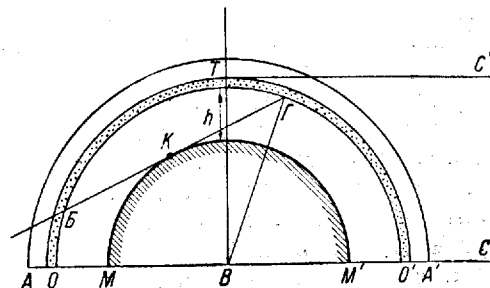


Рис. 101. Схема строения атмосферы Венеры по гипотезе В. В. Шаронова.

В § 50 мы показали, что угол горизонтальной рефракции на Венере, получаемый из наблюдений явления Ломоносова, оказывается близким к 20° , что соответствует весьма тонкой и разреженной атмосфере. В то же время сумеречные явления, напротив, очень интенсивны. Таким образом, перед нами противоречие между величиной рефракции и масштабом сумерек. Для его разрешения В. В. Шароновым предложена следующая схема строения атмосферы Венеры. Пусть B—центр Венеры (рис. 101); BC—направление радиуса-вектора, M-M'—твердая поверхность планеты (это может быть и слой плотных непрозрачных облаков), A-A'—граница атмосферы. В атмосфере на высоте h над поверхностью располагается сплошной тонкий облачный слой OO', подобный перистым облакам земной атмосферы, а может быть даже и так называемым серебристым облакам, имеющим высоту около 80 км, но только значительно более плотным. Поверхность слоя OO' и составляет видимую с Земли белую поверхность Венеры, в то время как находящиеся под ней слои атмосферы достаточно прозрачны.

Преломление солнечных лучей, за счет которого получается явление Ломоносова, происходит в слое газа, лежащем между A-A' и OO'. Поскольку этот слой тонок и разрежен, угол горизонтальной рефракции мал. Что же касается до сумеречных явлений, то

они создаются в основном за счет светового потока, распространяющегося в слое газа между MM' и OO' .

Пусть BT —сечение плоскости рисунка ортографическим терминатором Венеры. Точка T определяет ту границу, до которой слой OO' получает прямое освещение солнечными лучами. Для некоторого элемента B на нижней поверхности слоя OO' , лежащем за линией ортографического терминатора, горизонт лежит по направлению прямой BKT . Освещенная часть слоя OO' , лежащая над горизонтом и на нашем рисунке изображенная дугой TT' , имеет с нижней стороны значительную яркость (отчасти благодаря сильно вытянутой вперед индикатрисе) и потому дает в точке B заметную освещенность снизу. За счет этой освещенности участок B получает некоторую яркость и в направлении земного наблюдателя, что воспринимается как сумеречное освещение на дуге TB . Эффект усиливается за счет светового обмена, происходящего в пространстве $OBTGKM$ между различными участками облачного слоя, а также этим слоем и твердой поверхностью, особенно в том случае, когда последняя имеет значительное альбедо (снег, плотные облака). Изложенная гипотеза нуждается в проверке путем надлежащих расчетов.

Поскольку атмосфера Венеры, по-видимому, обладает значительной массой, углекислый газ не может быть ее единственной составной частью. Предполагали, что он представляет собою только второстепенную примесь к одному из газов, которые спектроскопически себя не обнаруживают, и в качестве такого газа указывали на азот. Эта точка зрения недавно получила подтверждение в следующем.

Близость Венеры к Солнцу и связанная с этим высокая интенсивность облучения корпускулярными потоками, испускаемыми активными областями солнечной поверхности, давно заставили поставить вопрос о наличии в атмосфере планеты люминесценции газов типа земных полярных сияний. Эффект удлинения рогов и их смыкания в кольцо, а также общую видимость различных участков неосвещенного полушария (так называемый «пенельный свет Венеры», существование которого, однако, спорно) неоднократно пытались приписать этому явлению. Однако свечение само по себе еще ничего не доказывает, поскольку сумеречный свет вызывает такие же явления. Поэтому наличие люминесценции может быть установлено только спектроскопически, по наличию эмиссионного спектра.

Обнадеживающие результаты здесь получены Н. А. Козыревым, который фотографировал спектр Венеры в 1953 г. на 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории, располагая щелью вдоль экватора интенсивности. На сечении спектрограммы, соответствующем пересечению щели с темным лимбом планеты, намечались узелки, указывающие на наличие здесь эмиссионного све-

чения. Среди них удалось определить полосы 3914 и 4278 Å молекулы N_2^+ и некоторые полосы второй положительной группы N_2 , но система полос Вегарда—Каплана, соответствующая обычному свечению ночного неба, не найдена. Таким образом, наблюдавшееся свечение относится к типу полярных сияний, а его интенсивность должна быть значительной, превосходя яркость свечения ночного неба на Земле примерно в 50 раз.

По вопросу о состоянии атмосферы ниже облачного слоя, а также твердой поверхности планеты в настоящее время можно строить только гипотезы. Из многочисленных предположений по этому вопросу, высказанных в разное время разными авторами, отметим следующие три.

1. Условия природы, аналогичные тем, что имели место на Земле в каменноугольный период, т. е. повсюду теплый и влажный климат с изобилием влаги, постоянно пасмурным небом и органическим миром, находящимся примерно на той ступени развития, которая имела место на Земле в конце палеозойской эры. Такая точка зрения была широко распространена в конце прошлого и в начале нынешнего столетий, когда считалось несомненным, что облачный покров атмосферы Венеры состоит из конденсированной воды.

2. Условия сплошной абсолютно безводной пустыни. Эта точка зрения возникла в связи с результатами современных спектроскопических исследований. Ее обычно ставят в связь с органической теорией происхождения кислорода земной атмосферы: полное отсутствие воды было препятствием к зарождению растительности, а отсутствие последней было причиной того, что атмосфера Венеры сохранила свой первоначальный углекислородно-азотный состав.

3. Сплошной океан, полностью покрывающий всю поверхность планеты. Эта гипотеза предложена в связи с тем, что взаимодействие между углекислым газом и горными породами поверхности привело бы к различным химическим реакциям, к поглощению углекислоты поверхностью и к образованию горных пород карбонатного состава. По мнению авторов гипотезы, водная толща, изолируя поверхность от атмосферы, способствует сохранению состава последней неизменным.

Крайняя противоречивость приведенных точек зрения может служить иллюстрацией незрелости рассматриваемой проблемы. Дальнейших успехов в ее разрешении следует ожидать от данных радиоастрономических наблюдений. Радиоизлучение Венеры уже обнаружено. Согласно предположениям, высказанным некоторыми исследователями, источником его могут быть грозовые разряды в атмосфере планеты. Если это окажется справедливым, то мы будем иметь весьма важные новые факты для дальнейших суждений о процессах, развертывающихся на Венере.

§ 61. Атмосфера и поверхность Марса

В настоящем параграфе мы изложим важнейшие результаты радиометрических и фотометрических исследований диска Марса, которые в сочетании с тем, что было приведено в § 26, позволят нам изучить различные взгляды и гипотезы, касающиеся твердой поверхности и атмосферной оболочки этой планеты.

В отношении детальности исследования температурных условий Марс занимает среди тел солнечной системы первое место, превосходя в этом отношении даже Луну.

Таблица 43

Суточный ход температуры на Марсе по данным расчетов и наблюдений, °C

Местное солнечное время, часы	0	3	6	9	12	15	18	21
Земля, расчет . . .	+8	+3	0	+26	+58	+62	+34	+17
Марс, расчет . . .	-32	-37	-40	-14	+18	+22	-6	-23
Марс, измерение .	—	—	(-63)	-21	+3	0	(-48)	0

Теоретические расчеты Миланковича в предположении полного отсутствия атмосферы дают для экваториального пояса планеты суточный ход температуры, представленный в табл. 43, где для сравнения приводятся результаты аналогичных расчетов для Земли, отличающиеся на постоянную величину +40°. Как видим, теоретически полученный максимум смещен относительно полудня примерно на 2 часа, а суточная амплитуда температуры для положенной в основу расчетов схемы составляет 62°. Средняя температура диска в момент истинного противостояния, соответствующая той же схеме, равна -30°C. Она находится в хорошем согласии с радиометрическими определениями средней температуры, выполненными при помощи приемников, площадь которых перекрывала диск. Именно, Кобленц на обсерватории Ловелла получил для нее -28°, Петтит и Никольсон -33°. Однако все эти данные относятся к перигелию. В афелии средняя температура диска Марса должна быть ниже примерно на 27°.

Исследования распределения температуры по площади диска при помощи термоэлементов с очень маленькой приемной поверхностью выполнялось на тех же обсерваториях, а в последнее время — еще на Маунт Паломар. Особенный интерес представляет длительная серия регулярных измерений, проводившаяся на Ловелловской обсерватории под руководством Лампланда с 1926 по 1943 г., причем было сделано свыше 1300 наблюдений. Средний

суточный ход для экватора, полученный из их обработки, характеризуется данными, указанными в табл. 43. Крайняя точка утреннего лимба, соответствующая местному солнечному времени на Марсе 7,7 часа, имеет температуру -38°C. Постепенно повышаясь, температура к моменту 11,5 часа достигает 0°C, в истинный полдень доходит до +3° и, продолжая повышаться после полудня, в 13,3 часа достигает максимального значения +7°, после чего снижается, в 15 часов переходит через 0° и в 16,4 часа доходит до -18°. Если продолжить кривую до 6 и до 18 часов, т. е. для моментов восхода и захода Солнца, то получим соответственно -63° и -48°C, так что полная амплитуда суточного колебания температуры оказывается равной 70°.

Более новые измерения, выполненные Синтоном на 200-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт Паломар во время противостояния 1954 г., в общем подтверждают эти выводы, но для смещения максимума температуры по отношению к полудню дают только $\frac{1}{2}$ часа.

Годовой ход температуры на Марсе теоретическим путем был изучен менее детально, чем суточный, что объясняется прежде всего технической сложностью расчетов, которые сводятся к механическим квадратурам. Имеющиеся материалы показывают, что если пренебречь влиянием эксцентриситета орбиты, то амплитуда сезонных колебаний должна составлять на полюсе 100°, на широте 45° — около 50°, на экваторе 5°. Прохождение Марса через перигелий соответствует зиме северного полушария. Поэтому лето в северных широтах должно быть более длинным, но менее теплым, чем в южном полушарии, а зима соответственно более короткой и менее холодной. Это должно иметь своим следствием то, что амплитуды годичных колебаний температуры в северном полушарии должны быть на 10—20° меньше указанных выше, а в южном полушарии на 20—30° больше.

Наблюдательные данные по сезонным изменениям температуры на Марсе по необходимости крайне отрывочны, поскольку вести наблюдение за температурой в течение долгих промежутков времени не представляется возможным. Правда, в 1924 г. Кобленц наблюдал быстрое повышение температуры южной полярной области (где в это время был непрерывный полярный день) с -68° (12 августа) до +15°C (5 октября, когда на Марсе наступило летнее солнцестояние южного полушария). Однако такой ход температуры слишком быстр, чтобы его можно было приписать только сезонным условиям, почему и сам Кобленц считает, что тут играло роль последовательное разрушение облачного покрова.

Реальную возможность судить о характере сезонных и широтных изменений температур на Марсе дают радиометрические измерения, проводимые вдоль центрального меридиана. Так, Кобленц

в октябре 1926 г. (лето в южном полушарии Марса) получил такие значения полуденных температур:

Широта	+55	+15	-15	-45	-80°
T	-25	+10	+25	+20	+10° Ц

Более подробные данные того же рода были опубликованы Гиффордом. Они представлены в графической форме на рис. 102. Большой наблюдательный материал, собранный на Ловелловской обсерватории, позволил Гиффорду построить карты полуденных

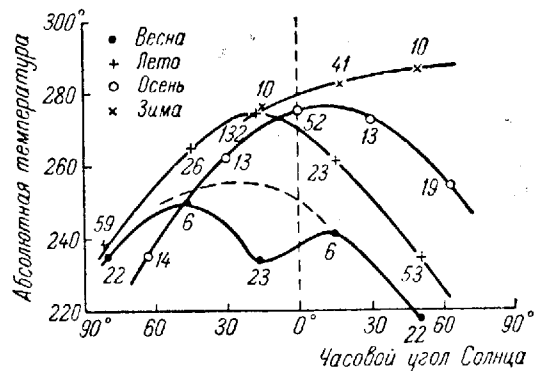


Рис. 102. Суточный ход температуры на Марсе. (По Гиффорду.)

изотерм поверхности Марса для лета, осени и зимы (для весны материала оказалось слишком мало). Они у нас воспроизведены на рис. 103, 104 и 105. Как эти карты, так и результаты непосредственных измерений показывают, что полуденная температура темных областей морей несколько выше, чем для менее темных материков; разница в среднем составляет 10—15°.

Необходимо иметь в виду, что все приведенные данные характеризуются случайной погрешностью $\pm 10\%$, а их систематическая ошибка, в силу сказанного в § 59, может быть еще больше. Далее, они во всех случаях выражают температуру поверхности, и потому сопоставлять их с температурой приземных слоев воздуха на Земле (как это иногда делается), конечно, нельзя.

Различие между температурой воздуха и подстилающего покрова на Земле обычно невелико. Но, как следует из формул теории Миланковича, оно зависит от поглощательной способности, а следовательно, и от плотности атмосферы. Чем более разреженной является атмосфера, тем при прочих равных условиях больше отличается ее температура от нагретой солнечными лучами поверхности планеты. Для предполагаемых на Марсе условий расчеты Миланковича приводят к выводу, что там температура атмо-

сферы в среднем на 30° ниже температуры поверхности. Если это верно, то температура даже прилегающих к почве атмосферных слоев на Марсе никогда не поднимается выше 0° Ц.

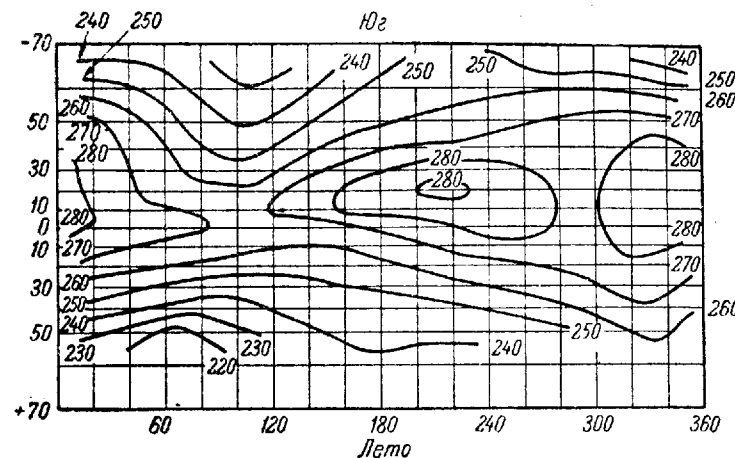


Рис. 103. Карта изотерм поверхности Марса для лета. (По Гиффорду.)

Определение отражательной способности поверхности различных участков на поверхности Марса и исследование оптических свойств его атмосферы необходимо выполнять комплексно, ис-

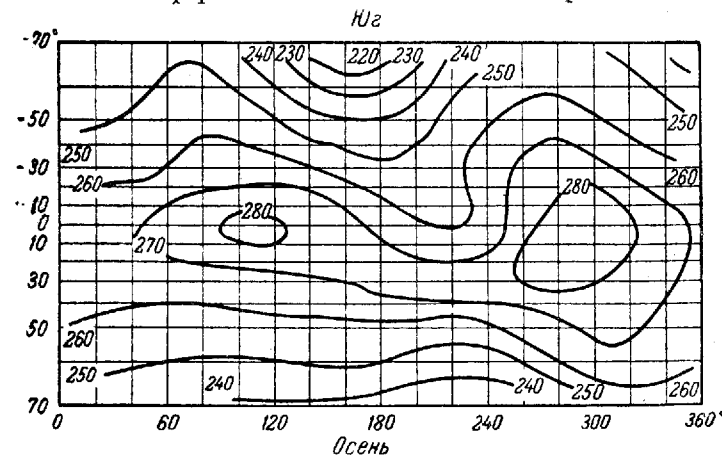


Рис. 104. Карта изотерм поверхности Марса для осени. (По Гиффорду.)

пользуя методику, описанную в § 55. Она состоит в том, что строится система уравнений типа

$$A_B = r_0 \cos^2 i \cdot 10^{-2\tau \sec i} + Q(1 - 10^{-2\tau \sec i}) \quad (14)$$

и решается относительно характеристик поверхности: светлоты r_0 и фактора гладкости q , а также оптических параметров атмосферы: оптической толщины τ и множителя Q . Подробное описание техники этого дела читатель найдет в оригинальных работах. Здесь мы ограничимся лишь некоторыми замечаниями.

Задачу можно свести к получению всего двух неизвестных: r_0 и α , если принять, что $q=1$ (закон Ламберта), а атмосфера рассеивает по закону Рэлея, что приводит к значению $Q=0,188$. С другой стороны, можно использовать и более точные варианты теории,

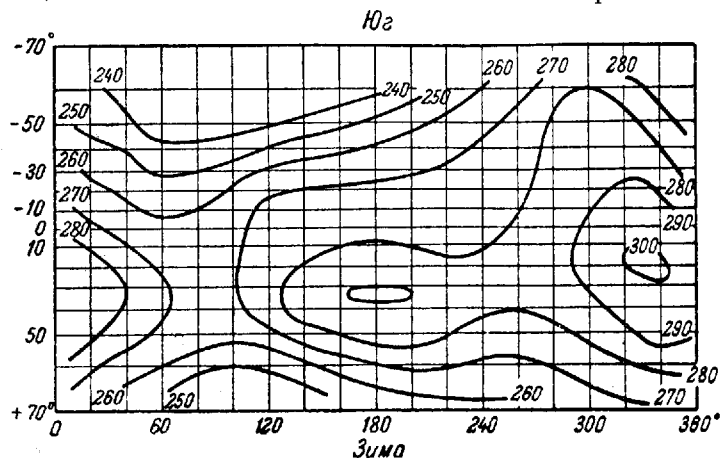


Рис. 105. Карта изотерм поверхности Марса для зимы. (По Гиффорду.)

принимающие в расчет как рассеяние высших порядков, так и световой обмен между поверхностью и атмосферой, пользуясь эмпирическим равенством (90) § 55. Однако во всех случаях приходится исходить из ряда предварительных гипотез, от соответствия которых истине и зависит реальность полученных решений. Так, для получения системы из нужного числа уравнений используют результат измерения A_v для ряда точек вдоль одного из радиусов диска, что означает введение гипотезы, согласно которой параметры формулы (14) одинаковы для всех точек радиуса. Предлагалось вместо этого наблюдать одну и ту же деталь на разных расстояниях от центрального меридиана, что технически, конечно, гораздо труднее, а принципиально означает, что предполагается неизменность параметров формулы во времени. Кроме того, приходится произвольно принимать различные допущения относительно свойств атмосферы, например считать, что она рассеивает по закону Рэлея или хотя бы что для нее фактор светлоты равен единице.

Ряд работ этого рода был поставлен на Харьковской обсерватории Н. П. Барабашевым и его сотрудниками, а материал,

полученный в 1939 г. на Ташкентской обсерватории экспедицией астрономов Ленинградского университета, был использован в работах В. Г. Фесенкова и Н. Н. Сытинской. В качестве примера мы приводим результаты расчетов, опубликованных Н. Н. Сытинской (табл. 44 на стр. 502) по материалам противостояния 1939 г. Мы видим, что числа получаются достаточно согласными и что различные гипотезы относительно характера атмосферы—чисто рэлеевская или с вытянутой индикатрисой—дают для характеристик отражательной способности поверхности весьма сходные значения. Последнее является прямым следствием малой оптической толщины атмосферы и вытекающей из этого незначительности того влияния, которое она оказывает на яркость диска. Фактор гладкости q оказывается близким к единице, из чего следует, что поверхность Марса, являясь очень гладкой и матовой, по своим оптическим свойствам приближается к ортотропности. Этот результат был получен Н. П. Барабашевым еще по материалам противостояния 1933 г. Аналогичные измерения и расчеты по снимкам, полученным в Харькове во время противостояния 1954 г., были проведены И. К. Ковалем. Для материков значение q , как и прежде, получилось близким к единице, в то время как для морей было найдено несколько меньшее значение 0,66.

Характерно, что изменение оптической толщины атмосферы с длиной волны λ идет гораздо медленнее, чем это вытекает из рэлеевского закона λ^{-4} , и скорее соответствует закону λ^{-3} , справедливому для частиц более крупного размера. Поскольку невозможно допустить, чтобы вся атмосферная оболочка Марса состояла только из крупных частиц, необходимо принять, что она представляет собою аэрозоль, в котором рэлеевское рассеяние дисперсионной газовой среды сочетается с примерно нейтральным рассеянием на каких-то крупных частицах. Последние могут быть как пылинками местного или метеорного происхождения, так и частицами конденсирующихся паров. По оценке Н. Н. Сытинской замутненность атмосферы Марса такими частицами довольно велика и, будучи отнесена к единице массы газа, в три раза превосходит среднюю запыленность земной атмосферы.

Имея оптическую толщину, можно пытаться получить и массу атмосферы Марса. Задача эта очень сложна, так как необходимо сначала отделить ту часть оптической толщины, которая создается молекулярным рассеянием в газе, от оптического эффекта, вызываемого взвешенными частицами аэрозоля. Формальное решение сводится к тому, что ход τ с λ выражают эмпирической формулой Кинга:

$$\tau = a + \frac{b}{\lambda^4},$$

которая предполагает наличие в атмосфере рассеивающих элементов только двух типов, из которых одни рассеивают по закону

Оптические параметры поверхности и атмосферы Марса, найденные Н. Н. Сытинской путем обработки негативов, полученных в 1939 г. в Ташкенте при различных схемах учета эффекта атмосферной дымки

Индикатриса рассеяния	Рассеяние высших порядков	Ралеевская				Галеевская				Выпуклая			
		Учтено				Учтено				Учтено			
Участок спектра, μ		τ_0				τ_0				τ_0			
		материи	моря	полярн. шапки	τ (по основ. 10)	материи	моря	полярн. шапки	τ (по основ. 10)	материи	моря	полярн. шапки	τ (по основ. 10)
380		0,057	0,057	0,30	0,20	0,051	0,051	0,32	0,15	0,064	0,064	0,34	0,12
430		0,092	0,083	0,28	0,17	0,099	0,089	0,30	0,10	0,103	0,092	0,31	0,07
560		0,190	0,163	0,28	0,10	0,184	0,159	0,28	0,05	0,179	0,159	0,29	0,03
630		0,238	0,160	0,24	0,08	0,236	0,160	0,24	0,03	0,235	0,161	0,24	0,03
730		0,283	0,155	0,18	0,05	0,278	0,159	0,18	0,02	0,277	0,159	0,18	0,02
q		1,22	1,20	—	—	1,18	1,04	—	—	1,16	1,08	—	—

Рэлея, а другие дают чисто нейтральное рассеяние. Далее параметр b , полученный для Марса, сравнивается с его значением для земной атмосферы и отсюда находится отношение масс атмосфер. Различия в химическом составе и в температуре могут тут вносить трудно учитываемые погрешности.

Н. Н. Сытинская получила из приведенных выше для Марса данных $b_M=0,0093$, в то время как для земной атмосферы по данным Фоуля $b_s=0,581$. Отсюда для атмосферного давления у поверхности Марса, выраженного в шкале ртутного барометра, получается значение $p=760 b_M/b_s=123$ мм. Ускорение силы тяжести на Марсе составляет 0,38 земного, а потому истинное давление, измеряемое барометром-анероидом, равно 46 мм. В земной атмосфере давление такого порядка имеет место на высоте 20—30 км, что подтверждает мнение о стратосферном характере климата Марса.

Аналогичные подсчеты, касающиеся плотности и давления атмосферы на Марсе, могут выполняться и на основании других оптических характеристик, в частности поляризации. Несмотря на произвольность многих допущений, которые приходится класть в основу таких расчетов, результаты получаются сравнительно согласными, как это можно видеть из данных табл. 45, которую мы заимствовали у Вокулера.

Таблица 45

Сводка определений атмосферного давления на Марсе по разным данным

(давление p приведено с учетом ускорения силы тяжести, т. е. показываемое барометром-анероидом)

Автор	Метод	p , мм
Мендель	Анализ визуального и фотографического альбеда	50
Лео	Визуальная поляриметрия	18
Барабашев и Семейкин	Фотографическая фотометрия	37
Барабашев и Тимошенко	»	87
Шаронов	Оценка контрастов на снимках Марса	90
Сытинская	Фотографическая фотометрия	84*)
Фесенков	»	93
Вокулер	Визуальные оценки яркости	70
Дольфус	Визуальная поляриметрия	60
Гессе	Теоретические соображения о конденсации пара	60
	Весовое среднее	65

*) По значениям τ без учета рассеяния высших порядков.

Поскольку то количество углекислого газа, которое обнаруживается в атмосфере Марса спектроскопически, дает лишь небольшую часть полученного фотометрическим путем давления, необходимо допустить, что основную массу атмосферы составляет какой-то другой газ, по всей вероятности азот, быть может с примесью аргона и других благородных газов. Вокулер в качестве вероятного приводит такой состав атмосферы Марса, который мы здесь даем в сопоставлении с данными для Земли (табл. 46):

Таблица 46

Газ	Марс		Земля	
	Толщина однородного слоя, м	% по объему	Толщина однородного слоя, м	% по объему
N ₂	1800	98,5	6080	78,08
O ₂	<2	<0,1	1815	20,94
Ar	22	1,2	97	0,94
CO ₂	4,4	0,25	2,2	0,06

Об облаках, появляющихся в атмосфере Марса, уже говорилось в § 26. Здесь мы напомним, что по оптическим признакам они резко разделяются на два типа:

1. «Желтые» облака и помутнения, которые видны визуально и на снимках, полученных в желтых, красных и инфракрасных лучах. Они образуют то отдельные резко ограниченные светлые пятна, то выступы на линии терминатора, то расплывчатые обширные помутнения, скрывающие детали на значительных участках диска. Визуально цвет их оценивается как желтый, беловатый, сероватый. По поводу природы облаков такого типа высказывались различные предположения; в частности, их считали пылевыми массами, поднятыми в атмосферу ветрами, а также конденсированным водяным паром, образующим покровы аналогично земным кучевым и слоистым облакам. В общем они составляют на Марсе довольно редкое явление. И только во время великого противостояния 1956 г. мгла с желтой окраской была частым и широко распространенным явлением. Она значительно ухудшала видимость морей и других деталей на поверхности планеты, временами делая их почти невидимыми по всему диску. Наиболее замечательным примером этому было полное исчезновение южной полярной шапки 31 августа 1956 г., которая оставалась более двух недель скрытой желтым туманом и вновь появилась в своем нормальном виде лишь после 15 сентября.

2. «Фиолетовые облака», которые видны только на снимках, полученных в фиолетовых и ультрафиолетовых лучах.

Они имеют вид обширных светлых участков, чаще всего примыкающих к терминатору. Поскольку они визуально невидимы, их нельзя считать облаками в буквальном смысле этого слова. Это скорее незначительные помутнения, возникающие за счет появления в атмосфере дополнительных рассеивающих частиц, имеющих очень малые размеры и потому рассеивающих свет по закону Рэлея. Их возникновение явно связано с понижением температуры, что и определяет их положение на диске—преимущественно у линии терминатора. Таким образом, в этом явлении мы имеем перед собою вызываемую охлаждением конденсацию каких-то газов, быть может водяного пара или углекислоты.

Предметом дискуссии является вопрос о природе и самом существовании так называемого «высотного фиолетового слоя» в атмосфере Марса. По мнению многих исследователей, этот слой находится в атмосфере на высоте 15—30 км и своим оптическим эффектом вызывает ту вуаль, которая полностью скрывает детали поверхности на фиолетовых снимках. Фиолетовые облака обычно трактуются как уплотнения или сгущения фиолетового слоя, лежащие на той же высоте.

Поводом к разработке гипотезы фиолетового слоя послужили те результаты измерений диаметра Марса по снимкам, полученным в разных спектральных участках, которые впервые были выполнены Райтом в 1929 г. и которые были описаны в § 26. Сам Райт приписал этот эффект тому, что в красных лучах измеряется диаметр твердого шара планеты, а в фиолетовых—ее газовой оболочки, так что разность радиусов диска представляет собою непосредственно высоту последней. Это дало для оптически эффективной толщины атмосферы Марса значения порядка 100 км.

Эта концепция подверглась критике со стороны В. Г. Фесенкова, который указал, что газовая атмосфера, находящаяся в аэростатическом равновесии и рассеивающая свет по закону Рэлея, ни при какой толщине не может дать полученной из измерений разности радиусов. Дело в том, что, как было показано в §§ 54 и 56, оптически толстый чисто рассеивающий слой при любом законе рассеяния дает нейтральное отражение света и потому толстая газовая оболочка будет не голубой, а белой. Селективное рассеяние может давать только самый крайний разреженный ее слой, и потому разность радиусов изображений, полученных в разных участках спектра, при любой толщине атмосферы будет очень небольшой. Для того чтобы получить значительную разность радиусов, необходимо допустить, что в прозрачной атмосфере на достаточной высоте над поверхностью находится изолированный слой селективно рассеивающего материала, образующий «фиолетовую скорлупу», отделенную от поверхности прозрачным газом.

Гипотеза такого слоя встречается со значительными трудностями, поскольку неясно, из каких частиц он может состоять. Если это аэрозоль, представляющий собою продукты конденсации водяного пара или углекислоты (как эта неоднократно предполагалось), то его частицы, будучи крупными, не дадут достаточно селективного рассеяния. Утверждали, что этот слой обладает сильным селективным поглощением. Но тогда он не может дать ту яркую дымку рассеянного света, которую ему приписывают, а его сгущения, согласно изложенному в § 55, выступали бы на диске Марса в виде темных пятен, а не светлых облаков.

Другая точка зрения на этот вопрос сводится к тому, что разность радиусов, обнаруженная Райтом, нереальна и создается инструментальными или фотографическими эффектами, связанными с тем, что на диске Марса потемнение к краю носит селективный характер, возрастая с длиной волны. Так, Н. П. Барабашев считает, что эффект Райта вызывается недодержкой для краевых зон изображения в красных и инфракрасных лучах. В. В. Шаронов относит этот эффект на счет фотографической иррадиации. Упрощенная теория действительно приводит к выводу, что эффект иррадиации уменьшается с усилением потемнения к краю диска, так что эффект Райта может представлять собою разность иррадиации для различных участков спектра. Если это так, то отпадает надобность в гипотезе фиолетового слоя, а эффект вуалирующей дымки в фиолете вполне может быть объяснен обычным рэлеевским рассеянием в оптически тонкой атмосфере.

Данные по отражательной способности материков Марса, полученные указанным выше путем, указывают на монотонное повышение коэффициента яркости с длиной волны, что, конечно, можно было предвидеть заранее. Очень многие виды красных песков, песчаников, глин и других горных пород обладают такими же оптическими свойствами. Отсюда широко распространенное мнение о том, что области материков представляют собою пустыни, покрытые красноцветными формами коры выветривания, окраска которых зависит от присутствия окиси железа. Этот взгляд оспаривает Кейпер, указавший, что в далеком инфракрасном участке спектра (2—3 μ) поверхность Марса по отражательной способности более походит на некоторые магматические горные породы, чем на окрашенные железом пески и глины, однако эти данные носят слишком предварительный характер и основаны на ничтожном количестве исследованных земных образцов, так что на них базироваться пока нельзя.

При интерпретации природы морей прежде всего необходимо объяснить сезонные изменения их отражательной способности. К сожалению, материал по этому вопросу крайне ограничен и сводится к глазомерным оценкам и описаниям яркости и цвета

и к немногочисленным снимкам, объективно подтверждающим наличие таких изменений. Фотометрических и спектрофотометрических измерений, представляющих сезонные изменения отражательной способности морей, мы в настоящее время совсем не имеем.

Для объяснения темной окраски морей и ее сезонных перемены предложено много различных гипотез. Мы ограничимся тем, что кратко рассмотрим здесь лишь некоторые из них.

1. Гипотеза водных бассейнов. Итальянский исследователь топографии Марса Скиапарелли считал темные пространства на поверхности планеты мелкими водоемами, а колебания их окраски приписывал сезонным изменениям глубины, в результате которых светлое дно могло просвечивать сквозь водную толщу в большей или меньшей степени. Против этой наивной точки зрения давно было выдвинуто то возражение, что в зеркальной шарообразной поверхности воды наблюдалось бы звездообразное отражение Солнца. Различным подсчетам, касающимся видимой яркости и расположения на диске такого «блика», были посвящены работы Н. П. Барабашева и В. Г. Фесенкова.

2. Гипотеза намокания. Известно, что многие виды горных пород в мокром состоянии значительно темнее, чем в сухом, так что периодически наступающее увлажнение может вызывать временное потемнение тех или иных участков на Марсе. Определения отражательной способности морей Марса, выполненные Н. П. Барабашевым, с одной стороны, и лабораторные измерения горных пород, опубликованные Н. Н. Сытинской, — с другой, показывают полное согласие такой гипотезы с фотометрическими данными. К этому надо добавить, что, как указал в свое время шведский ученый Аррениус, характерной особенностью пустынных областей на Земле является наличие в них обширных площадей так называемых *хевиров* или *такиров*, представляющих собою особую разновидность глинистой пустыни, легко намокающей и темнеющей. Серьезным возражением против этой точки зрения является отсутствие водяных паров в атмосфере Марса. Непонятно, как могут значительные площади поверхности оставаться мокрыми при влажности атмосферы, равной нулю.

3. Гипотеза пылевых эоловых отложений. Воздушные течения в атмосфере должны носить сезонный характер и могут откладывать пылевые покровы в одни времена года и сдувать их в другие. Например, темная по своей природе поверхность материков может светлеть в определенные периоды года благодаря отложениям светлой пыли, приносимой из пустынных пространств материков. Однако детальной разработки с точки зрения фотометрии и анализа атмосферной циркуляции мы для этой гипотезы не имеем.

4. Гипотеза вулканических отложений. Американский астроном Мак-Лафлин в обширной серии статей

разрабатывает и защищает точку зрения, согласно которой темная окраска морей Марса происходит за счет отложений вулканического пепла, выбрасываемого громадным количеством вулканов, действующих на Марсе. Вершины распространенных на Марсе «заливов», т. е. пятен треугольной формы, рассматриваются как точки расположения самих вулканов, а расположенное от них в сторону полюса темное пятно—как область отложения пепла, форма и положение которой определяются направлениями господствующих ветров. Последние носят характер пассатов, а их зависимость от времени года объясняет сезонные изменения в морях. Мак-Лафлин видит подтверждение своих выводов в результатах теоретического и наблюдательного изучения атмосферных течений на Марсе, а также в том, что согласно наблюдениям Лию кривая хода поляризации с фазой для Марса всего более похожа на ту, что получается для вулканических пеплов.

5. Гипотеза растительности. В той первоначальной форме, в какой эта гипотеза была выдвинута еще в XIX в., она предполагала, что растительность на Марсе имеет ту же специфическую окраску, какая ей присуща на Земле и которая вызывается хлорофиллом. Однако результаты фотометрических и спектрофотометрических измерений показали, что особенности спектральной отражательной способности, характерные для зеленых земных растений и состоящие в наличии ясно выраженного максимума кривой λ на 560 м μ , глубокого минимума на 620 м μ (полоса поглощения хлорофилла, связанная с поглощением энергии, используемой для фотосинтеза) и резкого повышения отражательной способности в инфракрасных лучах, составляющего так называемый эффект Вуда, для морей Марса не наблюдаются. Кроме того, растительные покровы на Земле, имея сильно иссеченную структуру, характеризуются значениями фактора гладкости q , близкими к нулю или даже отрицательными, в то время как для морей Марса этот параметр имеет значение 0,5—1,0. Таким образом, по своим оптическим свойствам моря Марса на земную зеленую растительность совершенно не похожи. Поэтому большинство сторонников взгляда на моря как на области, покрытые растительностью, считает, что там имеются покровы только из низших растений типа мхов и лишайников, для которых зеленая хлорофилльная окраска не характерна. На иной точке зрения стоят Г. А. Тихов и его ученики. Они энергично защищают взгляд, согласно которому моря Марса покрыты высшей растительностью, однако иные природные условия и необходимость приспособиться к окружающей среде придали ей окраску, отличную от той, что мы видим на Земле.

Гипотеза растительности является наиболее распространенной, и она лучше других объясняет сезонные изменения в морях, однако возможность существования обширных сомкнутых расти-

тельных покровов при отсутствии в атмосфере кислорода и водяного пара и при наличных на Марсе условиях температуры требует дальнейших подтверждений со стороны теоретической биологии.

В отношении природы полярных шапок в разное время были выдвинуты нижеследующие точки зрения.

1. Гипотеза снега и льда. Эта наиболее распространенная гипотеза лучше других объясняет образование светлого покрова в холодные сезоны и его разрушение в теплые. Она находится к тому же в полном согласии с данными температурных определений. Повод для сомнений дают отсутствие признаков водяного пара в атмосфере и специфика окраски: еще наблюдения Г. А. Тихова, выполненные в 1909 г., показали, что вещество шапок является не белым, а зеленовато-голубым, что впоследствии нашло свое подтверждение в фотометрических наблюдениях Н. Н. Сытинской и других. Таким образом, вещество полярных покровов не может быть снегом. Тихов указал на его сходство с голубовато-зеленым речным льдом, и данные Сытинской это подтверждают. Но это относится к голубым глыбам, специально вырубленным из ледяной толщи. Естественных ледяных покровов с такой окраской пока обнаружить не удалось, и попытка П. В. Григорьева сопоставить окраску полярных шапок Марса и поверхности некоторых кавказских глетчеров к успеху не привела. По-видимому, здесь необходимы обширные исследования земных ледяных покровов в Арктике, Антарктике и на горах. Своеобразный результат Н. П. Барабашева, согласно которому полярные шапки бывают и красноватыми, может быть объяснен существованием весьма тонкого или несплошного снежного покрова, так что к цвету снега примешивается цвет красноватой почвы.

Расчеты, основанные на наблюдаемой скорости перемещения границы полярной шапки и количества поступающего в это время солнечного тепла, приводят к выводу, что если белый покров состоит из замерзшей воды, то слой ее должен быть очень тонкий и измеряться сантиметрами. По данным Вокулера в центральной части ледяной покров в пять-шесть раз толще, чем по краям.

2. Гипотеза облачных покровов. Эта тоже широко распространенная точка зрения связана с тем, что диаметр шапки в фиолетовых лучах получается больше, чем в красных. Если принять, что краевые части полярных покровов состоят из аэрозолей, подобных фиолетовым облакам, а центральные части—из образований, аналогичных желтым облакам, то это явление получает весьма простое объяснение. Однако разница в размерах может быть и нереальной, возникая вследствие фотографической иррадиации. Рассматриваемая гипотеза совместима

с предыдущей, поскольку вполне возможно, что в образовании сложного феномена полярных шапок принимают участие как поверхностные, так и атмосферные покровы.

3. Гипотеза углекислого снега. После того как было доказано наличие CO_2 в атмосфере Марса, было выдвинуто предположение, что полярные покровы состоят из твердой углекислоты. Ряд фактов, однако, такой точке зрения противоречит. Во-первых, температура сублимации CO_2 составляет -78°C , следовательно, полярный покров, состоящий из углекислого снега, должен исчезать при значительно менее высоких температурах, чем это наблюдается. Во-вторых, Кейпер на основании своих спектрофотометрических наблюдений в далеких инфракрасных лучах, правда, пока еще весьма предварительных, получил, что на участке 2—3 μ отражательная способность вещества полярных покровов низка и что примерно такими же свойствами обладает снег, в то время как твердая CO_2 там, напротив, отражает очень сильно. Это заставляет от данной гипотезы отказаться.

4. Гипотеза соляных покровов. Она была выдвинута в начале текущего столетия Аррениусом. Белого цвета соляные покровы, имеющие характер сплошных корок или выцветов, в условиях земных пустынь широко распространены и могут покрывать обширные пространства. Их появление в экваториальном поясе Марса представляется правдоподобным, если только считать, что какое-то количество воды там есть. Но образование такого типа покровов в полярных областях Марса в холодное время года представить себе трудно, а потому и гипотеза эта в настоящее время сторонников не имеет.

В заключение отметим, что возможна и действительно выдвигается совсем другая точка зрения на свойства атмосферы и поверхности Марса. Она состоит в том, что поверхность принимается мало окрашенной, а специфическая красная окраска планеты относится на счет оптических эффектов атмосферы.

Такой взгляд неоднократно высказывался в XIX в. Причину красной окраски видели в рэлеевском рассеянии, полагая, что отражаемый от поверхности Марса поток лучей при прохождении через чисто газовую атмосферу благодаря рассеянию теряет преимущественно сине-фиолетовые лучи и потому становится относительно богаче лучами длинноволнового конца спектра. В двадцатых годах текущего столетия такую же точку зрения высказывал Райт, кладя ее в основу объяснения результатов фотографирования Марса в разных участках спектра.

В § 56 мы показали, что рассеивающая атмосфера может изменять цвет в красную сторону, но насыщенная красная окраска может получиться только в том случае, если альbedo поверхности очень сильно превосходит альbedo атмосферы. Сочетание ортотропного отражения от поверхности с чистым рэлеевским рассея-

нием в атмосфере этого дать не может, а потому и рассматриваемая точка зрения была оставлена.

Идея атмосферного происхождения красной окраски Марса недавно была снова выдвинута Н. А. Козыревым, с тем, однако, отличием, что главная роль отводится не рассеянию, а селективному поглощению. Обработав спектрограммы Марса, снятые на 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории и стандартизованные по солнечному свету, Н. А. Козырев получил спектральные кривые видимого альbedo для материков и морей, представленные на рис. 106. Их одинаковый ход по спектру рассматривается как довод в пользу атмосферного происхождения окраски Марса. Расчеты, выполненные путем решения упрощенных

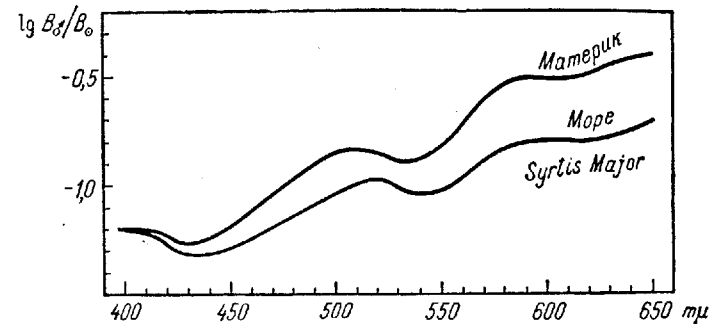


Рис. 106. Кривые спектральной отражательной способности для материка и моря на Марсе. (По наблюдениям Н. А. Козырева на Крымской обсерватории.)

уравнений вида (14), показали, что можно подобрать такую комбинацию значений параметров, которая указанным кривым удовлетворяет. Но наблюдения Н. А. Козырева относятся только к центру диска. Если применить предложенное им решение к распределению яркости вдоль радиуса диска, то получится противоречие с фактически наблюдаемыми явлениями (сильное понижение яркости к краю диска в фиолетовых и ультрафиолетовых лучах), которое может быть устранено лишь ценой значительного усложнения самой гипотезы. Кроме того, трудно указать состав атмосферы, который обладал бы предполагаемыми Н. А. Козыревым свойствами. Во всяком случае ни известные нам газы, ни распространенные в земной атмосфере аэрозоли, включая и красного цвета пыль, селективного поглощения требуемого типа дать не могут.

§ 62. Природа планет группы Юпитера

Радиометрические определения температуры далеких от Солнца планет крайне трудны вследствие слабости испускаемого планетой лучистого потока. Реальные результаты удается получить только

для Юпитера и Сатурна, поскольку для Урана и Нептуна излучение лежит за пределом чувствительности метода, что позволяет утверждать, что реальная температура видимой поверхности указанных планет лежит ниже -200°C . Для Юпитера и Сатурна измерения в разных точках диска указывают на очень незначительный суточный ход температуры, что является естественным следствием быстрого вращения и наличия мощной атмосферы.

Уменьшение температуры с расстоянием от Солнца влечет за собою на рассматриваемых планетах ряд явлений, о которых отчасти уже говорилось раньше. Во-первых, интенсивность полос метана возрастает, а полос аммиака уменьшается с увеличением большой полуоси орбиты планеты (§ 52). Во-вторых, интенсивность полос и других деталей поверхности с расстоянием до Солнца уменьшается (§§ 27, 28, 30). Так, на Юпитере детали видны очень резко, на Сатурне они бледны и мало контрастны, на Уране они находятся на пределе видимости, а на Нептуне их, по-видимому, нет вовсе. Все эти данные мы сопоставили в табл. 47.

Таблица 47

Название планеты	Температура, $^{\circ}\text{C}$			Эквивалентный слой, м		Видимость деталей на диске
	T_1	T_2	радиометрическая	CH_4	NH_3	
Юпитер	-100	-151	-140	150	7	Очень резкая
Сатурн	-145	-183	-155	350	2	Слабая
Уран	-184	-210	< -200	1500	0	Близкая к пределу
Нептун	-201	-220	< -200	2500	0	Деталей нет

Объяснение указанных соотношений было дано Ресселом. Оно сводится к тому, что атмосферы планет юпитеровой группы представляют собою газовую среду, состоящую в основном из водорода с примесью метана и аммиака и с облачными массами, состоящими из последнего. Для метана температура кипения при нормальном давлении составляет -164° , а температура затвердевания -184°C , так что в атмосфере Юпитера он должен быть только в газообразном состоянии. Аммиак кипит при -33° и замерзает при -78°C . Поэтому уже на Юпитере он должен переходить в твердое состояние. Это и дает основание предполагать, что облачный покров на этой планете состоит из аэрозоля, дисперсную фазу которого образуют мельчайшие кристаллы NH_3 . Изменение температуры в атмосфере с высотой, широтой и во времени, связанное с наличием горизонтальных течений и конвективных

токов, порождает образование и разрушение облачных слоев на разных высотах, что и дает богатую деталями изменчивую картину на диске.

На Сатурне вследствие менее высокой температуры аэрозольный слой более однороден и расположен глубже, почему и детали поверхности различаются менее ясно, а полосы метана более интенсивны. На двух далеких планетах аммиак должен был вымерзнуть и осесть на поверхность полностью, так что мы видим только глубокий слой водородно-метановой атмосферы, что и объясняет как значительную эквивалентную толщину метанового слоя, получаемую из спектроскопических наблюдений, так и однородную картину диска.

Интересный вопрос составляет объяснение довольно интенсивной окраски деталей на Юпитере, причем обычно темные участки бывают краснее светлых. Вильдт выдвинул предположение о наличии в облачных слоях этой планеты некоторых соединений с сильным селективным поглощением.

В. В. Шаронов сделал попытку интерпретировать эту окраску, исходя только из сочетания рэлеевского рассеяния в газовой атмосфере и нейтрального рассеяния в облачных слоях. По его мнению, красноватая окраска появляется за счет отемняющего действия селективно рассеивающих слоев газа для очень светлых облачных образований, причем интенсивность окраски меняется с глубиной облака в атмосфере, достигая наибольшей насыщенности при некоторой определенной оптической толщине газа над белой деталью (§ 56). Вопрос нуждается в дальнейшем изучении с количественной стороны, в частности путем теоретического анализа результатов фотометрии в разных участках спектра.

Первые опыты поверхностной фотометрии диска Юпитера, основанные на визуальной фотометрии, были предприняты Е. Шенбергом в Тарту (Дерпте) в 1914 г. и В. Г. Фесенковым в Харькове в 1916 г. Они позволили получить кривую изменения яркости с расстоянием от центра диска. Шенберг и в дальнейшем много занимался поверхностной фотометрией Юпитера и Сатурна.

Большая и регулярная серия работ по фотографической фотометрии дисков Юпитера и Сатурна в разных участках спектра была выполнена на Харьковской обсерватории Н. П. Барабашевым и его сотрудниками. Применение съемки со светофильтрами позволило весьма тщательно изучить распределение яркости и цвета по диску Юпитера в разные противостояния, а также проследить за его изменением из года в год. В результате этих работ был установлен весьма важный факт, состоящий в том, что отражение света поверхностью Юпитера во всех поясах весьма близко к ортотропному.

Этот результат был подтвержден и в работах других наблюдателей, в частности И. Плечке и М. Маджини; также

выполненных методами фотографической фотометрии. Маджини пользовался и фотоэлектрическими измерениями.

Абсолютную поверхностную фотометрию диска Юпитера выполнила Л. Н. Радлова, а потом более детальные измерения этого рода опубликовал В. В. Шаронов, который дал ход абсолютных значений видимого альbedo и коэффициентов яркости для экваториальной зоны Юпитера в двух участках спектра, а для центрального меридиана Сатурна—только в фотовизуальной системе. Полную карту абсолютных изофот для диска Сатурна в условиях

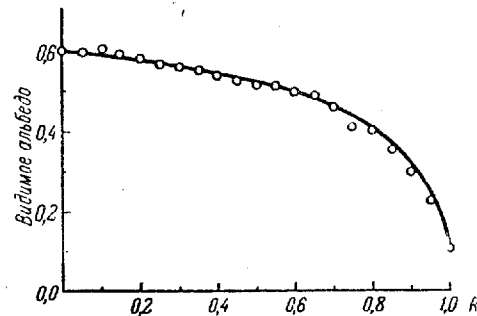


Рис. 107. Ход видимого альbedo вдоль радиуса диска планеты, покрытой облачным слоем бесконечной оптической толщины. Кривая—расчет по теории В. А. Амбарцумяна для случая сферической индикатрисы и фактора светлоты $\sigma=0,97$. Кружки—измерения В. В. Шаронова для экваториального пояса Юпитера в 1938 г. в фотовизуальных лучах.

исчезновения кольца опубликовала М. В. Баннова. Заметим, что ход яркости с расстоянием от центра диска для Сатурна заметно отличается от того, что получается для Юпитера. К Урану и Нептуну поверхностная фотометрия фактически еще не применялась, поскольку тут имеются только опыты совершенно предварительного характера. Интерпретация результатов фотометрических наблюдений планет типа Юпитера в прежних работах делалась исходя из схемы строения атмосферы, согласно которой над рассеивающим облачным слоем, для которого обычно принимали ортотропное рассеяние, располагается чисто поглощающий слой верхней атмосферы, за счет поглощения в котором и получается потемнение к краю диска. Это позволяло выражать последнее формулой (83) из § 55 и находить при помощи последней оптическую толщину τ расположенного над облаками поглощающего слоя. Однако такая схема является мало правдоподобной, поскольку трудно себе представить, из чего может состоять чисто поглощающий слой. Кроме того, возникала и формальная трудность применения такой схемы на практике, ибо поскольку наблюдаемое распространение яркости по диску следует закону косинуса, а поверхность облачного слоя принимается ортотропной, то решение должно давать значения τ , близкие к нулю. Поэтому, после того как была разработана строгая теория рассеяния, объяснявшая явление потемнения к краю без участия поглощающего слоя, старая схема была оставлена. Насколько хорошо представляются результаты наблю-

дений современной теорией рассеяния, видно из рис. 107, где измерения В. В. Шаронова сопоставлены с расчетами В. А. Амбарцумяна. Вместе с тем выясняется, что воспользоваться результатами таких сопоставлений для суждений о природе атмосферы затруднительно, поскольку планеты рассматриваемой группы могут наблюдаться только в очень ограниченном диапазоне фаз, а задача интерпретации распределения яркости по диску при полной фазе не дает однозначного решения, так как один и тот же ход яркости вдоль радиуса в пределах точности измерений может быть представлен рядом комбинаций фактора светлоты и формы индикатрисы. Кроме того, тут естественно обращаться к двухслойным моделям атмосферы типа: верхний слой—рассеивающий газ с рэлеевской индикатрисой, нижний—аэрозоль с сильно вытянутой индикатрисой. Но в этом случае число неизвестных, подлежащих определению, еще более возрастает, а вместе с этим увеличивается и степень неопределенности решения. К тому же разработка таких схем с точки зрения теории рассеяния в настоящее время еще не выполнена.

Спектроскопические исследования Юпитера и Сатурна, уже описанные в § 52, можно применять не только к интегральному свету указанных планет, но и к отдельным участкам диска, что позволяет изучать различия интенсивности полос поглощения для разных образований. Различия эти оказались значительно меньшими, чем это можно было предполагать. Так, ряд авторов занимался сравнением интенсивности полос CH_4 и NH_3 в центре диска и на краях, ожидая получить усиление полос на краях за счет удлинения оптического пути луча в атмосфере, однако для диска Юпитера этого явления совсем не получилось. Наиболее подробные исследования этого вопроса были опубликованы Гессом, который снимал спектр Юпитера в 1949 г. трехпризмовым спектрографом на 24-дюймовом рефлекторе обсерватории Ловелла. Полосы поглощения: 6190 Å для CH_4 и 6441 Å для NH_3 , были подвергнуты микрофотометрическому измерению и определены их эквивалентные ширины W для центра диска, причем было получено 16,2 Å и 1,16 Å соответственно. Для полосы 6190 Å остаточная интенсивность в центре составляет 17%. Что касается хода интенсивности с расстоянием от центра, то он выражается следующими числами, которые представляют собою разности эквивалентных ширин $W_{\text{ц}} - W$ в центре диска и в данной точке:

Полоса	6190 Å	6441 Å
Центральный меридиан:		
$\beta=10^\circ$	+2,5	+0,08
$\beta=30^\circ$	+4,0	+0,34
$\beta=60^\circ$	+2,3	+0,18
Экватор:		
утренний лимб	+0,6	+0,45
вечерний лимб	+0,9	+0,06

Как видим, различия невелики и имеют знак, обратный ожидаемому: интенсивность полос к краю диска не растет, а немного снижается.

Аналогичные результаты для Сатурна, основанные на наблюдениях 1950 г., обладают значительно меньшей точностью, так как диск в этом случае не столь велик и мешает кольцо. Для центрального меридиана получено:

β	W для 6190 Å
5°	23,2 Å
55	27,2
45	28,2

Таким образом, усиление интенсивности полос к краю диска здесь налицо, но идет значительно медленнее, чем это вытекает из простейшего закона сечанса.

Сам Гесс, интерпретируя свои результаты с позиций чисто поглощающей среды [формула (83) § 55], объясняет слабый ход интенсивности полос на Сатурне и его полное отсутствие на Юпитере тем, что граница облачного слоя, образующего видимую поверхность на Юпитере и Сатурне, из-за различий в температуре повышается от подсолнечной точки (практически совпадающей с центром диска) к терминатору. Соответственно уменьшается толщина поглощающего слоя газа, и это компенсирует увеличению оптического пути, связанного с косым направлением луча зрения. Несложный расчет, сделанный для предполагаемого состава атмосферы Юпитера по Пикку (шесть молекул H_2 на одну молекулу CH_4) дает для оптической толщины поглощающего слоя на широте 60° вдвое меньшее значение, чем в центре, чему соответствует линейное повышение поверхности облачного слоя 10—12 км. Аналогичные расчеты сделаны и для Сатурна. Однако, в силу сказанного выше, использованная Гессом схема едва ли может быть правильной, поскольку атмосфера чисто поглощающей быть не может. Более правдоподобно, что отсутствие усиления полос к краю в случае планетных атмосфер имеет причину, аналогичную постоянству интенсивности фраунгоферовых линий в разных частях солнечного диска. Именно, вместо двухслойной модели, состоящей из поверхности совершенно непрозрачного чисто рассеивающего слоя и расположенной поверх него чисто поглощающей атмосферы, здесь надо рассматривать один слой, в котором сочетаются поглощение и рассеяние, причем на длинах волн, соответствующих полосам поглощения CH_4 и NH_3 , фактор светлоты ρ меньше, чем для примыкающих спектральных участков. Но в § 55 мы указывали, что с уменьшением ρ уменьшается и потемнение к краю. Поэтому разница в яркости между центром и краем диска в спектральных линиях должна быть меньше, чем

вне последних, что и дают наблюдения Гесса для Юпитера. Детальный математический разбор такой теории, в частности для случая среды, в которой концентрация поглощающих молекул, а следовательно, и фактор ρ меняются с глубиной, может дать в руки исследователей ценный способ изучения строения планетных атмосфер путем спектрофотометрических исследований дисков.

Ряд других ценных методов исследования атмосфер Юпитера и Сатурна связан с наблюдением таких явлений, как затмения спутников, а также покрытия спутников и звезд дисками планеты. В этих случаях путем применения методов фотометрии удается получать рефракционное ослабление пучка лучей и, далее, градиент плотности атмосферы и молекулярный вес газа. Пример таких расчетов для Юпитера по наблюдениям покрытия σ Овна был приведен в § 50 (стр. 416).

Много раз поднимался вопрос о наличии в различных процессах, происходящих на планетах группы Юпитера, какой-либо общей периодичности, в частности проявлений 11-летнего цикла солнечной активности. Для Юпитера сопоставления с последним осложняются тем, что звездный оборот планеты имеет почти такую же длительность (11,86 года).

Большое исследование по сопоставлению интегрального блеска планет с солнечными пятнами выполнил Беккер. Трудность задачи состояла в необходимости привести весьма разнородные определения к единой фотометрической системе и этим по возможности уменьшить влияние систематических ошибок. Зависимости между абсолютной величиной планеты и интенсивностью солнечной активности, выраженной в форме вольфовых чисел, практически не оказалось, что иллюстрируется нижеследующими коэффициентами корреляции: Юпитер 0,374, Сатурн 0,042, Уран 0,117 и Нептун 0,184. Правда, для Юпитера был получен период колебания абсолютной величины, равный 11,6 года, с амплитудой $0^m,56$, для Урана—два периода: короткий в 8,4 года и длинный в 42 года (половина звездного оборота) при общей амплитуде $0^m,46$. Для Сатурна колебания блеска хотя и оказались значительными (амплитуда до $0^m,8$), но никакого периода вывести не удалось.

Позднее вопрос был пересмотрен Б. М. Рубашевым, который, исходя из аналогии с некоторыми явлениями на Земле, искал не период в 11 лет, а более долгие периоды, намекающиеся в ходе солнечной активности. Применив скользящие средние по 10-летним интервалам (что исключает проявление 11-летней периодичности), Рубашев получил для средних значений величины Юпитера и Сатурна ход, противоположный ходу средних значений относительных чисел солнечных пятен, в то время как для Урана никакой зависимости не получилось. Это может быть объяснено действием процессов с большой инерцией, которые не

успевают отзываться на 11-летний период, но реагируют на периоды большой длительности.

Н. П. Барабашев получил зависимость между солнечной деятельностью и различными характеристиками Юпитера, как-то: поверхностной яркостью и шириной различных зон, интегральным блеском и другими. Далее, результаты относительной поверхностной фотометрии диска Юпитера, регулярно проводившиеся на обсерватории Ловелла в течение 14 лет, были использованы Шалиро для сопоставления с числом солнечных пятен. Получилась зависимость с высоким коэффициентом корреляции (0,5—0,8), что, однако, еще ничего не доказывает, поскольку для промежутка времени, незначительного превосходящего один цикл, невозможно отличить солнечный период от других близких к нему периодов.

В § 27 мы уже указывали, что периодические изменения расположения, ширины и окраски различных полос и зон отмечались на Юпитере многими наблюдателями, причем получались периоды, более или менее близкие к 11 годам.

Большое значение для дальнейшего исследования процессов, происходящих в атмосфере Юпитера, имеет открытие в 1951 г. радиоизлучения, испускаемого этой планетой. На частоте 22 мГц оно носит характер коротких (< 15 секунд) всплесков, по интенсивности превосходящих радиоизлучение Крабовидной туманности. Излучение не наблюдается непрерывно: обычно всплески регистрируются в течение 1—2 часов, после чего на долгое время пропадают. Сопоставление последовательно повторяющихся появлений радиоизлучения дало для него период $9^{\text{h}}55^{\text{m}}13^{\text{s}}$, что довольно близко к периоду оборота Юпитера, соответствующего II системе. Из этого следует, что источником излучения является ограниченный участок на поверхности планеты. Сопоставление с долготой центрального меридиана привело к предположению, что этим участком является красное пятно, что, конечно, требует проверки.

По вопросу о том, какие именно процессы могут быть причиной излучения в радиочастотах, пока имеются лишь предположения совершенно предварительного характера. Так, называли атмосферные разряды того или иного характера; извержения, в той или иной мере аналогичные земным вулканическим явлениям; зональный характер вращения планеты.

Современная теория рассеяния света может с успехом применяться и к такому объекту, как кольцо Сатурна. Очевидно, что его надлежит рассматривать как однородный плоский рассеивающий слой, оптическая толщина которого конечна. Последнее свойство вполне очевидно для зоны C, поскольку сквозь нее хорошо виден шар планеты; что же касается до зон A и B, то для них это доказывается наблюдениями покрытий звезд. При прохож-

дении перед звездой зон колец A и B звезда, как правило, оставалась видимой, хотя и отмечалось снижение ее блеска на 1—2^m.

Задача теории состоит в том, чтобы объяснить фотометрические особенности колец, обнаруженные наблюдениями. Согласно визуальным фотометрическим измерениям Е. Шенберга и В. Г. Фесенкова, а также фотографическим определениям Н. П. Барабашева, особенности эти сводятся к следующему: 1) яркость кольца мало зависит от угла i падения солнечных лучей, но меняется с углом D возвышения наблюдателя над плоскостью колец; 2) она сильно меняется с фазовым углом ϕ , так что коэффициент фазы составляет около $0^{\text{m}},03$ на градус.

Первая фотометрическая теория была дана Зеелигером. В ней рассеивающие свет частицы принимались за ортотропные шарики одинакового размера, равномерно заполняющие объем кольца, имеющий прямоугольное сечение. Источник света точечный и бесконечно удаленный, так что полутеней нет, а тени имеют цилиндрическую форму. Учитывается только рассеяние первого порядка. При такой схеме строения кольца быстрое изменение яркости с фазой получается оттого, что при $\phi=0$ каждая частица покрывает свою собственную тень, но уже при небольших значениях ϕ тени выходят из-за дисков частиц.

Зеелигер должен был проверять свои расчеты сопоставлением с кривыми интегрального блеска Сатурна вместе с кольцом. Когда были выполнены измерения поверхностной яркости, обнаружились значительные расхождения между результатом наблюдения и теорией. В связи с этим Шенберг выступил с предположением, что в кольцах имеет место дифракционное рассеяние на достаточно мелких частицах, что, однако, тоже не может быть приведено к нужному соответствию с фактами.

Ряд работ по дальнейшему развитию фотометрической теории сатурновых колец был опубликован М. С. Бобровым. В них учитываются конечные угловые размеры солнечного диска с Сатурна, влекущие за собою коническую форму и конечную длину теней, а также эффект полутеней и еще рассеяние высших порядков. В упрощенной схеме Зеелигера результат расчета не зависел от плотности, расположения и размеров частиц, в усложненной же схеме Боброва такая зависимость получается. Выясняется, что представить наблюдаемый ход яркости с фазовым углом ϕ и угловым возвышением D можно при таких параметрах: оптическая толщина $\tau=0,7$, альбедо частиц равно 1, индикатриса сильно вытянута вперед. Последнее означает сильную изрытость поверхности частиц (большую, чем для Луны). В этом случае крутой ход яркости с фазой обуславливается двумя факторами: эффектом взаимного затенения частиц и эффектом их собственной индикатрисы. В ходе выполненных расчетов удастся оценить долю объема колец, занятую суммарным объемом частиц, которая получается

порядка 10^{-3} , а также вероятные размеры самих частиц, которые должны иметь поперечники от нескольких сантиметров до нескольких метров, в среднем около 1 м. Отсюда масса колец при правдоподобных предположениях относительно плотности вещества частиц получается порядка 10^{-7} массы планеты.

Все эти выводы носят ориентировочный характер. Так, несомненно, что альbedo частиц должно быть меньше единицы. Уточняя этот вопрос в одной из следующих статей, М. С. Бобров приходит к значению 0,7. В связи с этим необходимо отметить, что Кейпер, изучая распределение энергии в спектре кольца для далекого инфракрасного участка спектра, обнаружил там полосу поглощения того же типа, которую дают снег и иней, т. е. H_2O в твердом состоянии.

Таким образом, наиболее правдоподобно, что кольца Сатурна состоят из бесформенных глыбок размером в 1 м с сильно шероховатой светлой поверхностью.

§ 63. Температурные условия на телах, лишенных атмосферы; проблема лунной атмосферы

Из тел этой группы детально исследована радиометрически Луна. Наиболее полная работа была опубликована Никольсоном и Петтитом, которые применяли вакуумный термоэлемент в ньютоновском фокусе 100-дюймового рефлектора. Диаметр изображения Луны был 116,6 мм, приемная поверхность термоэлемента равнялась 0,62 мм² и, следовательно, составляла 0,0055 лунного диска. Основные результаты сводятся к нижеследующему.

Температура в подсолнечной точке в полнолуние, когда эта точка близка к центру диска, в среднем по 4 дням наблюдений получилась равной 407° К, или +134° Ц, что находится в достаточно хорошем согласии с более ранними определениями Кобленца и Менцеля. Определение этой же температуры при углах фазы, близких к 90°, т. е. тогда, когда подсолнечная точка находится на лимбе, дало по 6 дням наблюдения 358° К, или на 49° ниже. Этот результат следует приписать изрытости Луны: горизонтальные участки поверхности неровностей, будучи к солнечным лучам перпендикулярны, имеют более высокую температуру, чем круто наклоненные склоны. Последние же преимущественно обращены к наблюдателю в тех случаях, когда подсолнечная точка лежит на лимбе.

Применяя метод автоматической регистрации отбросов гальванометра, можно было получать регистрограммы радиации вдоль экватора интенсивности как с водяным и стеклянным фильтрами, так и без последних. Это дало распределение температуры по диску полной Луны. Результат представлен в графической форме на рис. 108. Падение температуры к краю диска идет

медленнее, чем это вытекает из простейшего закона косинуса, что является следствием изрытости и представляет собою тепловую аналогию распределению яркости, описанному в § 43.

Попытки измерения температуры неосвещенной стороны Луны в зоне, примерно противолежащей подсолнечной точке, показали, что собственное излучение лунной поверхности в этих условиях является очень слабым и лежит на пределе чувствительности методики измерений. Редукция последних дает температуру 120° К, или -153° Ц, что следует рассматривать лишь как предварительное значение.

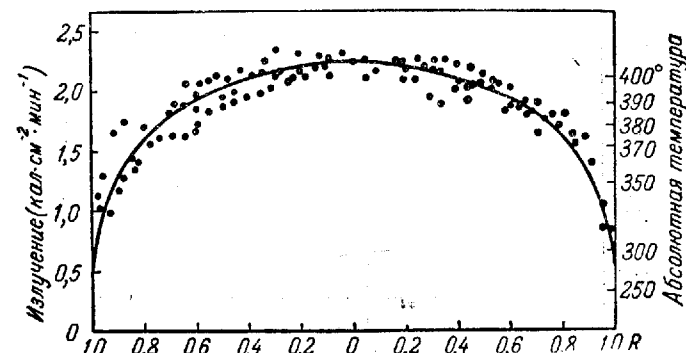


Рис. 108. Распределение интенсивности излучения и соответствующей температуры вдоль диаметра диска полной Луны. Кривая соответствует закону $\cos^{3/2} i$. (По Петтиту и Никольсону.)

Большой интерес представляют определения температуры, выполняемые при лунных затмениях. Они указывают, что после «выключения» солнечной радиации лунная поверхность остывает чрезвычайно быстро. Так, во время затмения 14 июня 1927 г. во время прохождения наблюдавшегося участка лунного диска через полутень его температура снизилась с 342 до 175° К, во время прохождения тени она продолжала снижаться и к моменту выхода из тени опустилась до 156° К, после чего начался быстрый подъем к исходному значению (рис. 109, стр. 522).

Результаты измерений, описанные выше, стали предметом многочисленных теоретических исследований, ставивших задачей подобрать численные значения термических характеристик лунной поверхности, с помощью которых можно получить теоретический ход температуры, совпадающий с наблюдавшимся.

Обычно рассматривается полубесконечное пространство, заполненное однородным веществом и ограниченное плоскостью, на которую под заданным углом i падает солнечная радиация и которая излучает энергию пропорционально T^4 . Вещество характеризуется тремя параметрами: коэффициентом теплопроводности K ,

плотностью ρ и удельной теплоемкостью c ; предполагается, что все эти величины с температурой T не меняются. Для такой схемы строятся дифференциальные уравнения теплопроводности, выражающие передачу тепла при изменении наружных условий облучения, которое для случая смены лунных фаз носит периодический характер, а для случая лунных затмений — непериодический. Задача является нелинейной и может быть решена только численными методами. Выясняется, что ход температуры во

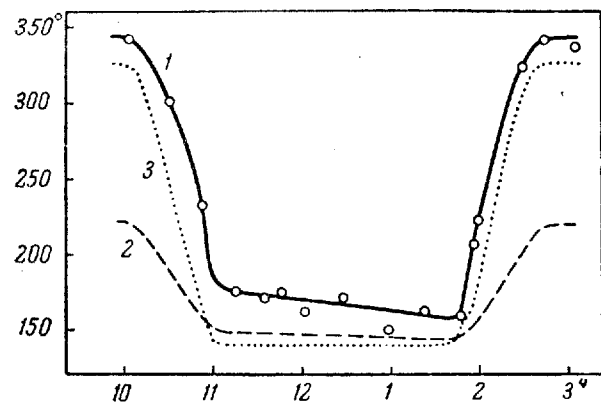


Рис. 109. Ход температуры ($^{\circ}\text{K}$) в точке у края лунного диска, проходившей всего ближе от центра земной тени во время лунного затмения 14 июня 1927 г. (По Петтиту и Никольсону.) 1 — температура; 2 — собственное излучение Луны; 3 — солнечное облучение.

времени в конечном итоге определяется параметром $\gamma = (K\rho c)^{-1/2}$. Этот последний имеет значение около 20 для плотных горных пород, порядка 100 для пористых пород типа пемзы и зернистых обломочных пород вроде песка и гравия и может достигать до 1000 для очень сильно распыленных материалов.

Расчеты, опубликованные Егером и другими, показывают, что наблюдаемый ход температуры лунной поверхности как на протяжении лунации, так и во время лунных затмений хорошо представляется со значением фактора γ порядка 1000—1300. Еще лучшее согласие дает двухслойная модель, в которой принимается, что наружный слой толщиной всего в несколько миллиметров, имеющий $\gamma > 1000$, лежит на более теплопроводном субстрате с γ порядка 100 (рис. 110).

Новую эру в области исследования температурных условий на Луне открывает применение радиоастрономических методов исследования. Расчеты показывают, что при тех значениях температуры, которые были приведены выше, температурное излучение лунной поверхности в радиочастотах достаточно интенсивно,

чтобы его можно было обнаружить на коротких волнах путем применения радиотелескопов с высоким коэффициентом направленности. Это действительно и удалось сделать Дайку и Беринджеру в 1946 г. на длине волны 1,25 см. В 1949 г. наблюдения были повторены Пиддингтоном и Миннетом в Австралии. В настоящее время работы этого рода ведутся во многих местах, в частности отделом радиоастрономии Пулковской обсерватории под руководством С. Э. Хайкина, а также В. С. Троицким в Горьком. Однако

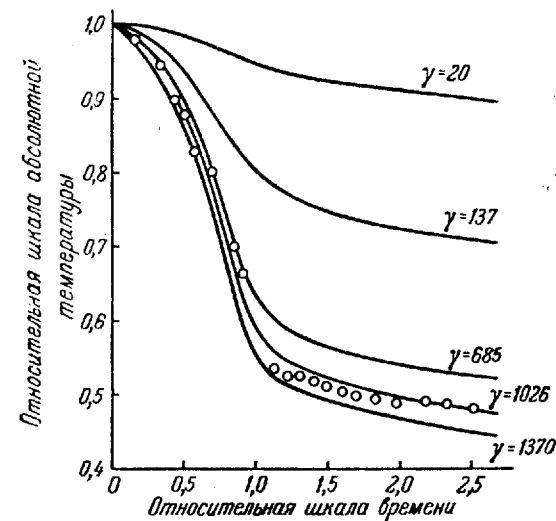


Рис. 110. Сравнение теоретического хода температуры поверхности Луны во время затмения при различных значениях параметра γ (по Егеру) с наблюдениями Никольсона и Петтита, выполненными во время лунного затмения 1939 г. (кружки).

дело это еще находится в стадии развития, а потому как полученные материалы, так и их теоретическая интерпретация пока носят лишь предварительный характер.

Ход средней температуры лунной поверхности с фазой, полученный радиоастрономическим путем, существенно отличается от того, что дают наблюдения с помощью термозлемента. Во-первых, амплитуда колебания температуры значительно меньше, так что вся последовательность температур заключена примерно в пределах от 200 до 250° К. Во-вторых, кривая сильно смещена по фазе, так что максимум температуры наступает при фазовом угле 50—60° после полнолуния, а минимум — на 130—140° до полнолуния.

Эти результаты находят свое объяснение в том, что для сантиметровых радиоволн горные породы являются частично прозрачными. Поэтому если определения при помощи термоэлементов дают температуру наружной поверхности, то наблюдения в радиочастотах соответствуют средней температуре некоторого эффективного слоя лунной поверхности. Естественно, что с переходом от поверхности к лежащим на некоторой глубине слоям мы будем иметь уменьшение месячной амплитуды температурной кривой и сдвиг максимума на более поздние фазы.

Теоретический анализ этих явлений открывает путь к изучению строения наружного слоя лунной коры. Пиддингтон и Миннет считали, что для интерпретации полученных результатов необходимо принять, что снаружи Луна покрыта каким-то пылеобразным или сильно пористым мало теплопроводным слоем толщиной около 40 см. Более точные расчеты опубликовал Егер, который указал на трудность подбора такой схемы, которая удовлетворяла бы термоэлектрическим и радиоастрономическим наблюдениям одновременно. Главный источник осложнений состоит в том, что необходимо примирить низкую температуру неосвещенной части Луны, полученную термоэлектрически, с той высокой температурой, которая создает сильное излучение темной стороны Луны в радиочастотах. Лучшее других здесь подходит двухслойная схема с тонким нетеплопроводным верхним слоем, имеющим $\gamma > 1000$ и толщину до 1 см, подстилаемым толщей с γ порядка 100.

Отметим, что все такие схемы находятся в полном согласии с результатами оптических исследований, которые, как мы видели, приводят к пористому шлакообразному строению верхнего покрова лунной поверхности (§ 46), но полностью противостоят взгляду, согласно которому лунная поверхность представляет собою обнаженные плотные скальные породы.

Обсуждая проблемы природы Луны, мы должны еще поставить вопрос о том, в какой мере доказано, что она полностью лишена газовой оболочки. Конечно, наблюдения над покрытиями звезд, регулярно ведущиеся на многих обсерваториях, а также полное отсутствие сумеречных явлений с несомненностью доказывают отсутствие на Луне газовой оболочки стратосферного типа. Но вопрос о существовании там очень разреженной атмосферы типа земной ионосферы или даже экзосферы решается не так просто, и потому многие исследователи в разное время высказывались в пользу наличия такой атмосферы.

Отметим, что недавно Ю. Н. Липский опубликовал ряд работ, в которых утверждал существование разреженной лунной атмосферы. Примененная им методика наблюдений состояла в том, что при фазовых углах, близких к 90° , измерялась поляризация света на участках неосвещенной части лунного диска, непосредственно

примыкающих к линии терминатора. Очевидно, что если там имеется газовый слой, то он будет пронизываться пучком солнечных лучей, касательных к лунной поверхности, рассеяние к наблюдателю будет происходить под углом 90° , что, согласно закону Рэлея, дает полностью поляризованный свет, в то время как пепельный свет, на фон которого этот рассеянный свет должен налагаться, не поляризован. Таким образом, наличие даже незначительной поляризации будет служить указанием в пользу существования атмосферы.

Наблюдения Липского ожидаемую поляризацию обнаружили. Однако трудность интерпретации этого результата состоит в том, что, кроме двух указанных выше компонентов чисто лунного происхождения, измеряемый за линией терминатора свет будет содержать весьма мощные компоненты земного происхождения, а именно, свет атмосферного ореола и свет, рассеиваемый в аппаратуре. Последние в какой-то мере тоже будут поляризованы. Поэтому возникает очень сложная задача исключения эффекта рассеянного в земной атмосфере и в аппаратуре света из результата измерения. Ю. Н. Липский считает, что ему эту задачу удалось разрешить, и приходит к выводу, что на Луне имеется газовый слой, масса которого на единицу площади составляет $1/10000$ от того, что имеется на Земле.

Этот вывод подвергся ожесточенной критике со стороны ряда других исследователей. Так, Эпик, следуя указанию, опубликованному еще Ресселом, отметил, что всякого рода поиски света, рассеянного в лунной атмосфере, надо производить не в центре диска, а на краю, например у рогов серпа, поскольку толщина просматриваемого там газового слоя, а следовательно и яркость последнего, в 15 раз больше. Если принять плотность атмосферы, указанную Липским, то в квадратурах яркость атмосферы у рогов должна быть в 50 раз больше яркости пепельного света, а если бы это было так, то неосвещенная часть лунного края, примыкающая к рогам, проектировалась бы на фон рассеивающей атмосферы в виде темного силуэта, чего на самом деле не бывает. Не видна и тень шара Луны на фоне ее атмосферы, что должно было бы иметь место для оптически заметного газового слоя. Из этого Эпик получает вывод, что яркость предполагаемой лунной атмосферы у рогов должна быть ниже яркости пепельного света по меньшей мере в 13 раз. Если считать, что рассеивающая способность у лунной атмосферы такая же, что и у земной, то отношение масс газа будет равно отношению яркостей рассеянного света. Приняв это, Эпик получает для массы лунной атмосферы над единицей площади значение $1/230000$ того, что есть на Земле. Принимая во внимание различие в ускорении силы тяжести, это значит, что атмосферное давление и плотность газа у поверхности Луны, по крайней мере, в 1 300 000 раз меньше, чем на Земле.

Более детальные исследования этого рода были опубликованы Дольфюсом. Принимая, что лунная атмосфера состоит из углекислого газа и соответствует изотермической схеме, а яркость рассеянного света пропорциональна количеству освещенных Солнцем молекул в конусе луча зрения, этот исследователь построил теоретическую картину изофот у края лунного диска в квадратуре. Оказалось, что если бы плотность газа у лунной поверхности была бы равна хотя бы $1/1000000$ земной, то яркость рассеянного света у рогов уже была бы порядка 10^{-5} сб, что давало бы легко наблюдаемое удлинение рогов. Поскольку последнего нет, плотность должна быть значительно ниже. Чтобы получить более надежное значение верхнего предела последней, в условиях исключительно прозрачной атмосферы Пик-дю-Миди при помощи коронографа Лию были получены снимки Луны в четвертях, которые потом были подвергнуты фотометрическому измерению на предмет изучения изофот в окрестностях рогов. Выяснилось, что рассеянный в лунной атмосфере свет фотометрически совсем не чувствуется, из чего следует, что его яркость должна быть менее $5,5 \cdot 10^{-8}$ сб, а плотность порождающей его атмосферы ниже 10^{-8} от земной.

Еще более чувствительным оказался поляриметрический метод, для применения которого тоже был использован коронограф в сочетании с поляриметром типа Лию и фотографированием получаемой в поле зрения картины. Поляризация света ореола была компенсирована дополнительной наклонной стеклянной пластиной. Такая аппаратура позволяла обнаруживать поляризацию в $9/100$, однако эффект поляризации, вызываемой светом лунной атмосферы, оказался ниже этого порога и обнаружен не был. Из этого следует, что плотность газа у поверхности Луны должна быть, по крайней мере, в 10^9 раз меньше, чем у поверхности Земли, так что там приходится менее 10^{10} молекул на 1 см^3 .

Еще более низкие значения для предела плотности лунной атмосферы получили Уайтфелд и Ильсмур, наблюдавшие радиотелескопом покрытие Луной одной области галактического радиоизлучения. Из оценки возможной рефракции радиоволн у лунного края следует верхний предел плотности электронов у лунной поверхности 10^5 на 1 см^3 . Если степень ионизации там такая же, что и в слое F земной атмосферы, то плотность газа там должна быть в 10^{12} раз меньше, чем у поверхности Земли, что, однако, является лишь крайне приближенной оценкой.

Отметим еще, что Н. А. Козырев снимал на Крымской обсерватории спектр темного лимба Луны, надеясь обнаружить эмиссионные линии свечения газа, аналогичного свечению ночного неба на Земле, но получил отрицательный результат.

Таким образом, достоверных данных, говорящих в пользу наличия на Луне хотя бы очень разреженной атмосферы, в нашем распоряжении пока нет.

Из других небесных тел рассматриваемой группы некоторые сведения о температурных условиях мы имеем для Меркурия. Радиометрические измерения, выполненные также Петтитом и Никольсоном на 100-дюймовом рефлекторе, дали для подсолнечной точки значение температуры 690°K ($+417^\circ \text{C}$), что близко к равновесной температуре T_1 (табл. 42) и подтверждает мнение о медленном вращении планеты. Средняя температура диска планеты для фазового угла 90° получилась равной 600°K , а для фазового угла 120° — около 500°K .

Заметим, что вопрос о наличии на Меркурии разреженной газовой оболочки, как и в случае Луны, еще не разрешен. Отсутствие удлинения рогов и явления Ломоносова полностью исключают возможность наличия газовой оболочки стратосферного типа. Но визуальные определения поляризации, выполненные Дольфюсом на Пик-дю-Миди в 1950 г., обнаружили некоторую поляризацию и притом различную для красных и зеленых лучей. При фазе 90° в зеленых лучах поляризация больше, чем в красных, на $4/100$ в центре диска и на $9/100$ у рогов серпа. Для обоих участков спектра поляризация возрастает от центра диска к краям и в зеленых лучах это увеличение достигает $6/100$.

Все эти результаты можно объяснить наличием очень разреженной атмосферы, рассеивающей зеленые лучи сильнее, чем красные. По оценке Дольфюса, она должна иметь массу над единицей площади, равную 0,003 того, что имеется на Земле, и давать давление на поверхности порядка 1 мм ртутного столба.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ IX

§§ 58 и 59

- К а л и т и н Н. Н., Активометрия, Гидрометиздат, 1938.
 К о н д р а т ь е в К. Я., Лучистая энергия Солнца, Гидрометиздат, 1954.
 К о н д р а т ь е в К. Я., Лучистый теплообмен в атмосфере, Гидрометиздат, 1956.
 М а р к о в А. В. и З е л ь ц е р М. С., Радиометрические измерения излучения небесных тел, Курс астрофизики и звездной астрономии, т. 1, Гостехиздат, 1951, гл. 26.
 М и л а н к о в и ч М., Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата, ГОНТИ, 1939.
 M i l a n k o v i t c h M., Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire, Paris, 1920.
 C o b l e n t z W. and L a m p l a n d C., Some measurements of the spectral components of planetary radiation and planetary temperatures, Journ. Franklin Institute 199, 785, 1925; 200, 103, 1925.
 L o w e l l P., General method for evaluating the surface temperature of the planets, Phil. Mag. (6) 14, 161—176, 1907; Proc. Amer. Assoc. of Science 42, 651—667, 1907.
 M e n z e l D., Water-cell transmission and planetary temperatures, Astrophys. Journ. 58, 65—74, 1923.

- Menzel D., Coblentz W., Lampland C., Planetary temperatures derived from water-cell transmission, *Astrophys. Journ.* 63, 177—187, 1926.
 Menzel D., The accuracy of planetary temperatures derived from radiometric measurements, *Publ. Astron. Soc. Pacific* 39, 26—34, 1927.
 Sinton W., Doct. thesis, Johns Hopkins Univ., 1953.

§ 60

- Барабашев Н. П., Фотометрическое исследование распределения яркости на диске Венеры, *Публ. Харьковск. обсерв.* № 2, 3—11, 1928.
 Барабашев Н. П. и Семейкин Б. Е., Фотометрические исследования Венеры, *Публ. Харьковск. обсерв.* № 5, 32—38, 1935.
 Барабашев Н. П. и Езерский В. И., Новое о Венере, *Цирк. Харьковск. обсерв.* № 2, 1—2, 1949.
 Барабашев Н. П. и Езерский В. И., Фотометрия Венеры, *Изв. АН Казахск. ССР* 90, 36—52, 1950.
 Барабашев Н. П. и Чекирда А. Т., Об изменении показателя цвета Венеры, *Труды Харьковск. обсерв.* 2 (10), 5—7, 1952.
 Герасимович Б. П., Об освещении планеты, покрытой непрозрачной атмосферой. С приложением к большим планетам и Венере, *Изв. Главн. астрон. обсерв. в Пулкове* 15, № 4 (127), 1—35, 1937.
 Козырев Н. А., О свечении ночного неба Венеры, *Изв. Крымской обсерв.* 12, 169—176, 1954.
 Козырев Н. А., Молекулярное поглощение в фиолетовой части спектра Венеры, *Изв. Крымской обсерв.* 12, 177—181, 1954.
 Паршин И. А., Об абсолютной отражательной способности планеты Венеры, *Астрон. цирк.* № 145, 1954.
 Паршин И. А., Абсолютная фотометрия планеты Венеры, *Вестн. Ленингр. ун-та* 9, № 5, 85—95, 1954.
 Соболев В. В., Об оптических свойствах атмосферы Венеры, *Астрон. журн.* 21, № 5, 241, 244, 1944.
 Фесенков В. Г., О пепельном свете и рефракции в атмосфере Венеры, *Труды Главн. астрофиз. обсерв.* 1, 231—216, 1922.
 Шаронов В. В., Фотометрическое сравнение сумеречных явлений Земли и Венеры, *Астрон. журн.* 28, № 5, 328—387, 1951.
 Шаронов В. В., Определение горизонтальной рефракции в атмосфере Венеры из наблюдений явления Ломоносова, *Доклады АН СССР* 82, 351—353, 1952.
 Шаронов В. В., Вероятное строение атмосферы Венеры, *Астрон. цирк.* № 125, 8—9, 1952.
 Шаронов В. В., Рефракция и сумеречные явления в атмосфере Венеры, *Вестн. Ленингр. ун-та* 8, № 8, 51—80, 1953.
 Шингарев Л. И., К вопросу о роли рассеяния света в атмосфере Венеры, *Публ. Харьковск. обсерв.* № 8, 79—94, 1948.
 Adel A., The importance of certain carbon dioxide bands in the temperature radiation from Venus, *Astrophys. Journ.* 93, 397—400, 1941.
 Dauvillier A., Sur la nature des nuages de Venus, *CR Acad. Paris* 243, 1257—1258, 1956.
 Dollfus A., Recherches sur l'atmosphère de Venus, *Mem. Soc. Roy. Sci. Liege* 18, Fasc. unique, 141—146, 1957.
 Kraus J., Impulsive radio signals from the planet Venus, *Nature* 178, 4523, 33; 4525, 159—160; 4535, 687—688, 1956.
 Lyot B., Polarisation de la planète Venus, *CR Acad. Paris* 177, 1015, 1923.
 Menzel D. and Whipple F., The case for H₂O clouds on Venus, *Publ. Astron. Soc. Pacific* 67, 396, 161—168, 1955.
 Öpik E., The surface conditions of Venus, *Irish Astron. Journ.* 4, 37—48, 1956.

- Pettit E. and Nicholson S., Temperature of the bright and dark sides of Venus, *Publ. Astron. Soc. Pacific* 67, 398, 293—303, 1955.
 Wildt R., Note on the surface temperature of Venus, *Astrophys. Journ.* 91, 266—268, 1940.
 Wildt R., On the possible existence of formaldehyde in the atmosphere of Venus, *Astrophys. Journ.* 92, 247—255, 1940.

§ 61

- Барабашев Н. П. и Семейкин Б. Е., Фотографическая фотометрия Марса через светофильтры, *Астрон. журн.* 11, № 3, 216—224, 1934.
 Барабашев Н. П. и Семейкин Б. Е., О распределении яркости в центральных частях дисков Марса и Юпитера, *Астрон. журн.* 12, № 4, 337—338, 1935.
 Барабашев Н. П. и Тимошенко И., Фотографическая фотометрия Марса в красных и синих лучах, *Астрон. журн.* 17, 44—52, 1940.
 Барабашев Н. П. и Чекирда А. Т., Об отражении света от поверхности Луны и Марса, *Астрон. журн.* 22, 11—22, 1945.
 Барабашев Н. П., Об атмосфере и поверхности Марса, *Астрон. журн.* 23, 321—334, 1946.
 Барабашев Н. П., Об изменении цвета «морей» Марса, *Астрон. журн.* 24, 1937—1944, 1947.
 Барабашев Н. П., Об облаках, туманах и осадках на Марсе. *Труды Харьковской обсерв.*, № 1 (9), 1950.
 Барабашев Н. П., К вопросу о разности диаметров фотографического изображения Марса в синих и красных лучах, *Цирк. Харьковск. обсерв.* № 6, 1—3, 1950.
 Барабашев Н. П., Некоторые результаты фотометрической обработки снимков Марса, полученных в 1933 и 1939 годах через светофильтры. *Цирк. Харьковск. обсерв.*, № 8, 3—12, 1951.
 Барабашев Н. П. и Чекирда А. Т., Спектрофотометрия Марса в красных, желтых, зеленых и синих лучах, *Цирк. Харьковск. обсерв.*, № 9, 3—28, 1952.
 Барабашев Н. П., О некоторых изменениях на Марсе по наблюдениям в 1920, 1924, 1926, 1930, 1931, 1935, 1939, 1941 и 1950 годах, *Цирк. Харьковск. обсерв.* № 9, 3—28, 1952.
 Барабашев Н. П., О возможности увидеть отражение Солнца (блик) в «морях» Марса, *Цирк. Харьковск. обсерв.* № 10, 3—6, 1952.
 Барабашев Н. П., Об исследовании различных образований на Марсе, *Астрон. журн.* 29, № 5, 538—553, 1952.
 Барабашев Н. П. и Чекирда А. Т., Результаты наблюдения Марса в 1952 году, *Цирк. Харьковск. обсерв.* № 11, 3—14, 1953.
 Вокюлер Ж., Физика планеты Марс (введение в ареофизику). Пер. с французского, ИЛ, 1956.
 Коваль И., Некоторые результаты наблюдений Марса во время оппозиции 1954 года, *Астроном. цирк. АН СССР*, № 159, 9—11, 1955.
 Козлова К. И., Сравнение отражательной способности морей Марса со спектральной отражательной способностью некоторых земных растений, *Вестник АН Казахск. ССР*, № 4, 84—89, 1953.
 Козырев Н. А., Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы, *Изв. Крымской астрофиз. обсерв.* 15, 147—152, 1953.
 Сытинская Н. Н., Природа поверхности и атмосферы планеты Марс по данным абсолютной фотометрии, *Докл. АН СССР* 43, 151—154, 1944.
 Сытинская Н. Н., Окончательные значения оптических характеристик поверхности и атмосферы Марса по данным противостояния 1939 г., *Научн. бюлл. Ленингр. ун-та* 7, 10—11, 1946; *Астрон. цирк.* № 51, 9—10, 1946.

- Сытинская Н. Н., Новые исследования атмосферы планеты Марс, Вестн. Ленингр. ун-та, № 4—5, 3—19, 1946.
- Сытинская Н. Н., Фотометрическое исследование планеты Марс, Тр. юбил. научн. сессии Ленингр. ун-та, астрономия, 21—41, 1948.
- Сытинская Н. Н., Определение степени гладкости поверхности планет фотометрическими методами, Учен. зап. Ленингр. ун-та 116, 123—127, 1949.
- Сытинская Н. Н., К вопросу о наличии воды на Марсе, Изв. АН Казахск. ССР 90, 82—91, 1950.
- Тихов Г. А., Новое о планете Марс, Докл. АН СССР 49, № 2, 95—97, 1945.
- Тихов Г. А., Планета Марс, Алма-Ата, 1948.
- Тихов Г. А., Спектральная отражательная способность растений в связи с вопросами растительности на Марсе, Вестник АН Казахск. ССР, № 4 (13), 3—6, 1946.
- Тихов Г. А., О растительности на Марсе, Вестник Ленингр. ун-та, № 6, 3—9, 1949.
- Тихов Г. А., По поводу статьи В. Г. Фесенкова «К вопросу о растительности на Марсе», Вестник АН Казахск. ССР, № 5, 84—85, 1954.
- Тихов Г. А., О возможности жизни на Марсе, Вопросы философии, № 1, 92—102, 1955.
- Тихов Г. А., По поводу статьи Н. А. Козырева «Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы», Изв. Крымской астрофиз. обс. 16, 159—161, 1956.
- Федоренко В., Об альбедо суши и морей Марса и его атмосфере, Бюлл. Харьковск. обсерв., № 7, 13—14, 1947.
- Фесенков В. Г., Об атмосфере Марса. Фотометрический анализ феномена Райта, Astron. Nachr. 228, 25—32, 1926.
- Фесенков В. Г., О свойствах поверхности и атмосферы Марса, Астрон. журн. 21, 257—275, 1944.
- Фесенков В. Г., О наличии открытых водоемов на Марсе, Астрон. журн. 26, 273—277, 1949.
- Фесенков В. Г., К вопросу о растительности на Марсе, Докл. АН СССР 94, № 2, 197—198, 1954.
- Фесенков В. Г., О физических условиях и возможности жизни на Марсе, Вопросы философии, № 3, 106—124, 1954.
- Френк Д., Возможность фотосинтеза на Марсе, Сб. «Атмосферы Земли и планет», 395—396, ИЛ, 1951.
- Шаронов В. В., Исследование и интерпретация контрастов на поверхности Марса, Цирк. Главн. астрон. обсерв. 32, 62—73, 1941.
- Шаронов В. В., Природа, планеты Марс по данным фотографических наблюдений, Природа, № 3, 3—11, 1944.
- Шаронов В. В., Фотографическая иррадиация и ее влияние на снимки планетных дисков, Астрон. журн. 27, № 2, 116—122, 1950.
- Шаронов В. В., Оценка предположений о наличии соляных покровов на планете Марс с фотометрической точки зрения, Научн. бюлл. Ленингр. ун-та 32, 4—6, 1954.
- Щеголев Д. Е., Фотоэлектрическая колориметрия Марса, Астрон. цирк. № 175, 5—6, 1956.
- Coblentz W., Temperatures estimates of the planet Mars, Scient. pap. Bureau of Standards 20, № 512, 371—397, 1925; Publ. Astr. Soc. Pacific 36, 272—274, 1924; Astron. Nachr. 224, № 5374, 1925; Pop. Astr. 33, 310—316; 363—382, 1925.
- Coblentz W., Lampland C., Menzel D., Temperatures of Mars, 1926; Publ. Astr. Soc. Pacific. 39, 26—34, 1927; Pop. Astr. 35, 145, 1927; Scient. pap. Bureau of Standards 22, № 553, 237, 1927.
- Coblentz W., Temperature estimates of the planet Mars 1924 and 1926, Journ. of Research Nat. Bureau of Standards 28, 297—309, 1942.

- Dollfus A., Etude polarimetrique de la lumière réfléchiée par les nuages de l'atmosphère de la planète Mars, C. R. Acad. Paris 227, 382—384, 1948.
- Dollfus A., Détermination de la pression atmosphérique sur la planète Mars, C. R. Acad. Paris 232, 1066—1068, 1951.
- Gifford F., The surface-temperature climate of Mars, Astrophys. Journ. 123, 154—161, 1956.
- Hess S., A meteorological approach to the question of water-vapor on Mars, Publ. Astron. Soc. Pacific 60, 289—302, 1948.
- Hess S., Some aspects of the meteorology of Mars, Journ. of Meteorology 7, 1—13, 1950.
- Martiz E., Variation on atmospheric transparency of Mars in 1939, Publ. Astr. Soc. Pacific 66, 45—51, 1954.
- McLaughlin D., Volcanism and aeolian depositions on Mars, Bull. Geolog. Soc. America 65, № 7, 715—717, 1954; Observatory 74, № 881, 167—168, 1954; Irish Astron. Journ. 3, № 4, 109—111, 1954; Publ. Astron. Soc. Pacific 66, № 391, 161—170; № 392, 221—229, 1954.
- Menzel D., The atmosphere of Mars, Astrophys. Journ. 63, 133—137, 1926.
- Pettit E. and Nicholson S., Radiation measures on the planet Mars, Publ. Astr. Soc. Pacific 36, 269—272, 1924; Astron. Nachr. 225, № 5395, 1925.
- Rosen B., Origine possible de la couche violette dans l'atmosphère de Mars, Annales d'Astrophys. 16, № 4, 288—289, 1953.
- Schatzman E., Sur les particules diffusantes dans l'atmosphère de Mars, C. R. Acad. Paris 232, 692—693, 1951.
- Vaucouleurs G., Détermination de la pression atmosphérique sur la planète Mars par photométrie visuelle, C. R. Acad. Paris 220, 903—904, 1945; Publ. Obs. Houga, № 11, 1945.
- Vaucouleurs G., Sur les propriétés optiques des voiles atmosphériques observées sur la planète Mars, Ciel et Terre 65, 267, 268, 1949; Publ. Obs. Houga, № 15.

§ 62

- Барабашев Н. П., Фотографическая фотометрия диска Юпитера, Публ. Харьковск. обсерв., № 3, 3—52, 1931.
- Барабашев Н. П., О результатах обработки снимков Юпитера, Публ. Харьковск. обсерв., № 4, 3—44, 1933.
- Барабашев Н. П. и Семейкин Б. Е., Монохроматическая фотометрия Сатурна и его колец, Астрон. журн. 10, № 4, 381—390, 1933.
- Барабашев Н. П. и Семейкин Б. Е., Исследование распределения яркости по диску Юпитера через светофильтры, Астрон. журн. 11, № 2, 126—131, 1934.
- Барабашев Н. П. и Семейкин Б. Е., Об атмосферах Юпитера и Сатурна, Астрон. журн. 11, № 4, 301—304, 1934.
- Барабашев Н. П. и Семейкин Б. Е., Изменения на Юпитере и Сатурне по данным фотометрических наблюдений за 1932—1934 гг., Астрон. журн. 12, № 5, 409—424, 1935.
- Барабашев Н. П., Распределение яркости по диску Юпитера в 1935 году по сравнению с результатами 1932, 1933 и 1934 годов, Публ. Харьковск. обсерв., № 6, 1—19, 1938.
- Барабашев Н. П., Об изменениях на поверхности Юпитера, Публ. Харьковск. обсерв., № 7, 1—10, 1941.
- Барабашев Н. П. и Чекирда А. Т., Фотометрия светлых и темных зон Юпитера, Публ. Харьковск. обсерв., № 8, 51—64, 1948.
- Барабашев Н. П. и Чекирда А. Т., О распределении яркости на диске Сатурна и о яркости его колец, Труды Харьковск. обсерв. 2 (10), 9—16, 1952.

- Б о б р о в М. С., О физической интерпретации фазовой кривой колец Сатурна, Астрон. журн. 17, № 6, 1—8, 1940.
- Б о б р о в М. С., Опыт оценки размеров частиц и массы колец Сатурна, Докл. АН СССР 77, № 4, 581—584, 1951.
- Б о б р о в М. С., О строении колец Сатурна I. Степень изрытости и альbedo частиц кольца В, Астрон. журн. 29, № 3, 334—340, 1952.
- Б о б р о в М. С., О строении колец Сатурна. II. Оценка объемной плотности кольца В, Астрон. журн. 31, № 1, 41—50, 1954.
- Б о б р о в М. С., К вопросу о толщине колец Сатурна, Астрон. журн. 33, № 2, 161—172, 1956.
- Л е б е д и н е ц В. Н., Фотометрия Юпитера, Труды Харьковск. обсерв. 2 (10), 33—34, 1952.
- Р а д л о в а Л. Н., Опыт определения абсолютных фотографических коэффициентов яркости видимой поверхности Юпитера, Учен. зап. Ленингр. ун-та 31, 106—115, 1939.
- Р у б а ш е в Б. М., Проявление многолетних колебаний солнечной деятельности в блеске больших планет, Бюлл. КИСО, № 8—9, 40—46, 1953.
- Ф е с е н к о в В. Г., О природе Юпитера, Публ. Харьковск. обсерв., № 9, 1—119, 1917.
- Ф е с е н к о в В. Г., Явления, наблюдаемые на Юпитере. Происхождение темных полос, Изв. астрофиз. ин-та АН Казахск. ССР 1, № 1—2, 239—241, 1955.
- Ф у р д ы л о В. Д., Монохроматическая фотометрия колец Сатурна, Публ. Харьковск. обсерв., № 7, 53—68, 1941.
- Ш а й н Г. А., О распределении интенсивности в спектре Сатурна и его кольца, Цирк. Главн. астрон. обсерв., 13, 9—16, 1935.
- Ш а р о н о в В. В., Опыт абсолютного определения коэффициента яркости поверхности Сатурна, Бюлл. астрон. обсерв. Армений, 58—73, 1935.
- Ш а р о н о в В. В., Абсолютная фотографическая фотометрия и колориметрия диска Юпитера в оппозицию 1938 года, Цирк. Главн. астрон. обсерв. 30, 48—64, 1940.
- Ш а р о н о в В. В., Абсолютная фотографическая фотометрия диска Сатурна, Цирк. Главн. астрон. обсерв. 26/27, 37—51, 1939.
- Ш а р о н о в В. В., Физическая интерпретация цветовых явлений на диске Юпитера, Докл. АН СССР 39, № 5, 183—185, 1943; Астрономич. цирк. 42, 2—4, 1945.
- B u r k e B. and F r a n k l i n K., Observations of a variable radio source associated with the planet Jupiter, Journ. Geophys. Res. 60, 2, 213—217, 1955.
- H e s s S., Variations in atmospheric absorption over the disks of Jupiter and Saturn, Astrophys. Journ. 118, 151—160, 1953.
- L y o t B., Polarisation de la planète Jupiter, C. R. Acad. Paris 179, 671—673, 1924.
- L y o t B., Polarisation de la planète Saturne, C. R. Acad. Paris 179, 960—963, 1924.
- M a g g i n i M., Assorbimento e diffusione nelle atmosfere planetarie, Mem. Soc. Astron. Italiana, 1, 63—91, 1939.
- R i c e F., Colors on Jupiter, Journ. Chem. Phys. 24, 6, 1259, 1956.
- R i c h a r d s o n R., Photometry of the disk of Uranus, Publ. Astron. Soc. Pacific 67, 398, 355—356, 1955.
- S h a i n C., Location on Jupiter of a source of radio noise, Nature 176, 4487, 836—837, 1955.
- S c h a p i r o R., A planetary-atmospheric response to solar activity, Journ. Meteorol. 10, 350—355, 1953.
- S m i t h F., A search for radiation from Jupiter at 38 Mc/s and at 81,5 Mc/s, Observatory 75, 889, 252—254, 1955.
- W i l d t R., Monthly Not. Roy. Astr. Soc. 99, 616, 1939.

§ 63

- З е л и н с к а я М. Р. и Т р о и ц к и й В. С., Методика абсолютных измерений радиотемпературы Солнца и Луны на сантиметровых волнах и результаты, полученные на волне 3,2 см, Труды V совещ. по космогонии, 99—104, 1956.
- Н а й д а н о в с к и й Н. Л., Т у р с у б е к о в М. Т. и Х а й к и н С. Э., Тепловое радиоизлучение Луны, Труды V совещ. по космогонии, 347—354, 1956.
- К о б р и н М. М., О фазовом радиолокационном методе измерения расстояний до Луны, Труды V совещ. по космогонии, 141—146, 1956.
- Л и п с к и й Ю. Н., О наличии лунной атмосферы, Докл. АН СССР 65, № 4, 465—468, 1949.
- Л и п с к и й Ю. Н., Оценка массы лунной атмосферы на основании поляризационных исследований, Труды Гос. астроном. ин-та им. Штернберга 22, 66—123, 1953.
- Т р о и ц к и й В. С., К теории радиоизлучения Луны, Астрон. журн. 31, № 6, 511—526, 1954.
- Т р о и ц к и й В. С. и З е л и н с к а я М. Р., Определение некоторых свойств поверхностных слоев Луны по ее радиоизлучению на волне 3,2 см, Астрон. журн. 32, № 6, 550—554, 1955.
- Т р о и ц к и й В. С., Радиоизлучение Луны и природа ее поверхности, Труды V совещ. по космогонии, 325—345, 1956.
- Ф е с е н к о в В. Г., Способ определения температуры неосвещенной части лунной поверхности и плотности лунной атмосферы, Астрон. журн. 1, № 1, 29—52, 1924.
- Ф е с е н к о в В. Г., О массе лунной атмосферы, Докл. АН СССР 39, № 7, 275—278, 1943.
- Ф е с е н к о в В. Г., Определение массы лунной атмосферы, Астрон. журн. 20, № 2, 1943.
- D i k e R. and B e r i n g e r R., Astrophys. Journ. 103, 275, 1946.
- D o l l f u s A., Recherche d'une atmosphère autour de la Lune, Annales d'Astrophys. 19, 2, 71—82, 1956.
- J a e g e r J., Conduction of heat in a solid with periodic boundary conditions, with an application to the surface temperature of the Moon, Proc. Cambridge Phil. Soc. 49, 2, 355—359, 1953.
- J a e g e r J., The surface temperature of the Moon, Austral. Journ. of Phys. 6, 1, 10—21, 1953.
- Ö p i k E., The density of the lunar atmosphere, Irish Astron. Journ. 3, 5, 137—143, 1955.
- P e t t i t E. and N i c h o l s o n S., Lunar radiation and temperatures, Astrophys. Journ. 71, 102—135, 1930.
- P e t t i t E., Lunar radiation as related to phase, Astrophys. Journ. 81, 17, 1935.
- P e t t i t E., Radiation measurements on the eclipsed Moon, Astrophys. Journ. 91, 408, 1940.
- P i d d i n g t o n J. and M i n n e t t M., Austral. Journ. Scient. Res. 2, 63, 1949.
- W h i t f i e l d C. and E l s m o r e B., A new estimate of the Moon's atmosphere, Journ. Brit. Interplanetary Soc. 15, 1, 37—39, 1956.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СПИСОК НЕКОТОРЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ
И БУКВЕННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ОТНОСЯЩИХСЯ
К ОБЛАСТИ ПЛАНЕТОВЕДЕНИЯ И ПРИНЯТЫХ
В НАСТОЯЩЕЙ КНИГЕ

Приведенные здесь термины и обозначения рекомендованы Комиссией по физике планет при Астрономическом совете Академии наук СССР.

I. Величины и понятия, относящиеся к диску и фазам

А. Точки и линии на небесной сфере

Диск светила—участок небесной сферы, занятый проекцией этого небесного тела.

Лимб диска—кривая линия на небесной сфере, ограничивающая диск.

Терминатор диска—кривая линия на небесной сфере, разделяющая освещенную и неосвещенную части диска. Представляет собой проекцию на небесную сферу линии терминатора на поверхности тела; изофота на диске, для которой яркость (или градиент яркости) соответствует порогу восприятия при данных условиях наблюдения.

Центр диска—точка пересечения небесной сферы с радиусом сферы, параллельным направлению «центр тела—точка наблюдения».

Рог диска—точки пересечения лимба с терминатором.

Линия рогов—отрезок дуги большого круга, соединяющий рога.

Диаметр интенсивности—диаметр диска, перпендикулярный к линии рогов.

Полюс фазы—точка пересечения диаметра интенсивности с лимбой светлой части диска.

Фаза Φ [P, F, κ]—отношение отрезка диаметра интенсивности, заключенного между терминатором и полюсом фазы, ко всей длине этого диаметра.

Физические координаты—собрание величин, определяющих угловые размеры, фигуру и ориентировку диска небесного тела на небесной сфере и сетки планетографических меридианов и параллелей на диске.

Широта центра диска D —угол, образуемый прямой «центр тела—точка наблюдения» с плоскостью экватора тела. Принимается положительной к северу от экватора и отрицательной к югу от него.

Долгота центра диска L —двугранный угол, образуемый плоскостью центрального меридиана с плоскостью начального меридиана. Отсчитывается в направлении, обратном вращению тела.

Широта подсолнечной точки $D_{\odot}$ —угол, составляемый радиусом-вектором планеты (или спутника) с плоскостью экватора тела.

Долгота подсолнечной точки $L_{\odot}$ —двугранный угол, составляемый плоскостью меридиана, проходящего через подсолнечную точку, с плоскостью начального (нулевого) меридиана. Отсчитывается в сторону, обратную направлению вращения тела.

Позиционный угол северного полюса P —сферический угол при центре планеты между северным направлением проекции оси вращения тела и северным направлением круга склонения. Считается положительным к востоку от северного направления круга склонения.

Б. Точки и линии на поверхности
сферического тела

Центральная точка—точка пересечения поверхности тела с прямой, соединяющей центр последнего с точкой наблюдения.

Лимб ортографический—большой круг на поверхности тела, плоскость которого перпендикулярна к прямой, соединяющей центр тела с точкой наблюдения; полюра центральной точки.

Лимб геометрический—малый круг, представляющий собой линию касания поверхности тела с конусом, вершина которого находится в точке наблюдения.

Лимб истинный (рефракционный)—геометрическое место точек касания поверхности тела с конусом лучей, выходящих из точки наблюдения и преломленных в атмосфере небесного тела. В первом приближении представляет собою малый круг, смещенный по отношению к геометрическому лимбу в сторону, противоположную центральной точке.

Подсолнечная точка (полюс освещения)—точка пересечения поверхности тела с прямой, соединяющей центр последнего с центром Солнца.

Терминатор ортографический—большой круг на поверхности тела, плоскость которого перпендикулярна к прямой, соединяющей центры тела и Солнца; полюра подсолнечной точки.

Терминатор геометрический—геометрическое место касания поверхности тела с поверхностью конуса, касательного как к поверхности данного тела, так и к поверхности Солнца. Представляет собою малый круг, смещенный по отношению к ортографическому терминатору в сторону, противоположную подсолнечной точке.

Терминатор истинный (рефракционный)—геометрическое место касания поверхности тела с конусом лучей, каждый из которых касается поверхности Солнца, а после преломления в атмосфере тела также и поверхности последнего и притом с той же стороны. В первом приближении представляет собою малый круг, смещенный по отношению к геометрическому терминатору в сторону, противоположную подсолнечной точке.

Терминатор видимый—геометрическое место точек на поверхности тела, на которых для наблюдателя, расположенного на Земле, лежит видимая граница между освещенной и неосвещенной частями поверхности тела; линия на поверхности тела, проекция которой на небесную сферу дает линию видимого терминатора на диске тела.

Экватор интенсивности—большой круг на поверхности тела, проходящий через центральную и подсолнечную точки; большой круг на поверхности тела, плоскость которого проходит через центр тела, центр Солнца и точку наблюдения.

Сумеречная дуга σ —отрезок экватора интенсивности, заключенный между видимым и истинным терминаторами.

Рога ортографические—точки пересечения ортографического лимба с ортографическим терминатором; полюсы экватора интенсивности.

Рога геометрические—точки пересечения геометрического лимба с геометрическим терминатором.

Рога истинные (рефракционные)—точки пересечения истинного лимба с истинным терминатором.

Рога видимые—точки пересечения истинного лимба с видимым термином.

Удлинение рогов—явление, состоящее в том, что видимые рога не располагаются на концах одного и того же диаметра диска, причем светлая дуга лимба между ними превосходит 180° .

Угол удлинения рогов U —угол при центре диска, составляемый радиусом, нормальным к диаметру интенсивности, и радиусом, проходящим через расположенный в той же стороне от последнего видимый рог.

Фазовый угол (угол фазы) ψ [α, i, Φ]—угол при центре тела, образуемый направлениями на центр Солнца и на точку наблюдения; дуга экватора интенсивности, заключенная между центральной и подсолнечной точками.

II. Вращение и координаты

A. Линии и координаты на поверхности тела

Экватор небесного тела—линия пересечения поверхности тела с перпендикулярной к оси вращения плоскостью, проходящей через центр тела.

Планетографическая параллель—линия пересечения поверхности тела с плоскостью, параллельной экватору планеты.

Планетографический меридиан—линия пересечения поверхности тела с плоскостью, проходящей через ось вращения.

Центральный меридиан—планетографический меридиан, проходящий через центральную точку; планетографический меридиан, в плоскости которого лежит точка наблюдения.

Начальный (нулевой) меридиан—планетографический меридиан, проходящий через условно выбранную фиксированную точку на поверхности тела и вращающийся вместе с последним; планетографический меридиан, вращающийся с периодом, принятым для периода оборота планеты и фиксированный эпохой прохождения через заданную постоянную точку планетоцентрической сферы.

Планетографическая широта β [φ, b]—угол, образуемый нормалью к поверхности небесного тела в данной точке с плоскостью экватора этого тела; соответствует геодезической широте точек земной поверхности.

Планетографическая долгота λ [l]—двугранный угол, образуемый плоскостью планетографического меридиана, проходящего через данную точку поверхности тела, с плоскостью начального меридиана.

B. Элементы плоскости экватора

Наклон эклиптикальный i —двугранный угол, составляемый плоскостью экватора тела с плоскостью эклиптики.

Восходящий узел эклиптикальный—точка небесной сферы, в которой проекция экватора тела пересекается с эклиптикой и проекции точек экватора переходят из южного полушария в северное.

Долгота восходящего узла Ω —дуга эклиптики, заключенная между точкой весеннего равноденствия (земной) и восходящим узлом экватора тела.

Наклон экваториальный i_0 —двугранный угол, составляемый плоскостью экватора тела с плоскостью земного экватора.

Восходящий узел экваториальный—точка небесной сферы, в которой пересекаются проекции экваторов Земли и данного тела и проекции точек последнего переходят из южного полушария в северное.

Долгота восходящего узла экваториальная Ω_0 —дуга небесного экватора, заключенная между восходящим узлом экваториальным и точкой весеннего равноденствия.

Наклон орбитальный i_0 —двугранный угол, составляемый плоскостью экватора тела с плоскостью орбиты этого тела.

Равноденственные точки—точки пересечения проекций экватора и орбиты планеты на планетоцентрической сфере.

B. Периоды оборота

Оборот истинный (сидерический, звездный) P_n —промежуток времени, протекающий между двумя последовательными прохождением плоскости некоторого планетографического меридиана через неподвижную точку планетоцентрической сферы.

Оборот тропический P_t —промежуток времени, протекающий между двумя последовательными прохождением плоскости некоторого планетографического меридиана через ту же равноденственную точку. Соответствует звездным суткам для Земли.

Оборот среднесолнечный $P_\odot$ —промежуток времени, протекающий между двумя последовательными прохождением некоторого планетографического меридиана через среднее экваториальное Солнце данной планеты. Соответствует средним солнечным суткам для Земли.

Оборот синодический P_s —промежуток времени между двумя последовательными прохождением плоскости некоторого планетографического меридиана через центральную точку.

Суточный поворот ξ —угол поворота небесного тела за средние земные сутки. В зависимости от вида оборота получает наименование: истинный ξ_n , тропический ξ_t , среднесолнечный $\xi_\odot$.

III. Фотометрические характеристики

A. Общие характеристики интенсивности света

Блеск видимый E' —освещенность, создаваемая лучистым потоком света на перпендикулярной к лучам плоскости, расположенной в точке наблюдения.

Блеск истинный E —значение блеска, освобожденное от эффекта экстинкции в земной атмосфере.

Звездная величина m —десятичный логарифм блеска, умноженный на коэффициент $-2,5$.

Фазовая функция (фазовая кривая)—функция $\varphi(\psi)$, выражающая изменение величины объекта с фазовым углом ψ при прочих неизменных условиях.

Фазовый коэффициент (коэффициент фазы) γ —изменение величины объекта при изменении фазового угла на 1° вблизи значения $\psi=0$.

Фазовый интеграл q —удвоенное значение интеграла от фазовой функции в пределах ψ от 0 до 180° .

Звездная величина средняя m_s —величина, соответствующая условиям: $\psi=0$, расстояние до Солнца $\Delta=a$ (среднее расстояние), расстояние до наблюдателя $L=a-1$.

Звездная величина абсолютная g —звездная величина для наблюдателя, расположенного в центре Солнца при условии, что радиус-вектор равен одной астрономической единице; истинная величина при значении фазового угла 0° и расстояниях до Солнца и до наблюдателя в одну астрономическую единицу.

Показатель цвета (кolor-индекс) C —разность звездных величин объекта, из которых первая соответствует нормальной фотографической системе, а вторая—визуальной или фотовизуальной.

Показатель цвета специальный C' —разность звездных величин объекта, соответствующих двум различным фотометрическим системам, причем эффективная длина волны для первой системы должна быть меньше, чем для второй.

Показатель оксалитизма D —разность показателей цвета объекта (несамостоятельного и излучающего за счет отражения солнечных лучей) и Солнца.

Б. Характеристики отражательной способности поверхности

Альbedo истинное A (альbedo плоское, альbedo Ламберта); коэффициент диффузного отражения ρ —отношение лучистого потока, рассеянного плоским элементом матовой поверхности во всех направлениях, к лучистому потоку, падающему на этот элемент.

Коэффициент яркости τ —отношение яркости матовой поверхности в данном направлении к освещенности этой поверхности.

Функция рассеяния—функция, выражающая зависимость коэффициента яркости от направлений падающего и отражаемого лучей.

Индикатриса рассеяния—графическое представление функции рассеяния в виде пространственной векторной диаграммы.

Ортотропно рассеивающая поверхность (ортотропная поверхность)—поверхность, для которой коэффициент яркости имеет одинаковое значение для всех комбинаций направлений падающего и отражаемого лучей.

Нейтрально (неизбирательно, неселективно) рассеивающая поверхность—поверхность, для которой спектральные (мономатрические) характеристики отражательной способности одинаковы для излучения всех длин волн.

Абсолютно черная поверхность—поверхность, полностью поглощающая всякое излучение; поверхность, для которой спектральное альbedo равно нулю во всех частях оптического спектра.

Абсолютно белая поверхность—ортотропно рассеивающая поверхность, у которой истинное альbedo равно единице во всех участках спектра.

Светлота τ (коэффициент яркости относительный)—отношение яркости матовой поверхности в данном направлении к яркости абсолютной белой поверхности, находящейся в точно таких же условиях освещения.

Альbedo видимое (яркостный фактор) A_v —отношение яркости рассеивающей свет матовой поверхности, освещенной пучком параллельных лучей, к яркости абсолютно белой поверхности, расположенной нормально к этому пучку; отношение яркости в некоторой точке диска несамосветящегося небесного тела к яркости воображаемой абсолютно-белой плоскости, расположенной на том же расстоянии от Солнца нормально к солнечным лучам.

В. Характеристики отражательной способности тела

Альbedo сферическое A_s (альbedo Бонда)—отношение светового потока, рассеянного во всех направлениях освещенной Солнцем стороной небесного тела (для шарообразного тела—полушарием) к световому потоку, падающему на эту сторону (полушарие).

Альbedo геометрическое A_g —отношение средней яркости диска объекта при фазовом угле 0° к яркости абсолютно белого плоского экрана, расположенного перпендикулярно к солнечным лучам на том же расстоянии от Солнца, что и объект; отношение блеска планеты при фазовом угле 0° к блеску расположенного в той же точке пространства плоского абсолютно белого нормального к солнечным лучам экрана, занимающего на небесной сфере тот же телесный угол, что и диск объекта.

Альbedo иллюстративное A_{il} —отношение средней яркости диска объекта при фазовом угле 0° к средней яркости диска, расположенного на том же расстоянии от Солнца шарообразного тела с абсолютно белой поверхностью; отношение действительного блеска тела при фазовом угле 0° к значению блеска, которое имело бы место, если бы вся поверхность тела была абсолютно белой.

Г. Характеристики атмосферы и аэрозолей

Коэффициент пропускания слоя $t[T, \tau]$ —отношение лучистого потока, прошедшего сквозь слой (в данном направлении), к потоку, вступившему в слой.

Оптическая плотность слоя D —десятичный логарифм коэффициента пропускания, взятый со знаком минус.

Коэффициент прозрачности слоя p —коэффициент пропускания для потока лучей, проходящего сквозь слой нормально к ограничивающим его поверхностям.

Оптическая толщина слоя τ —натуральный логарифм коэффициента прозрачности, взятый со знаком минус.

Экстинкция—явление ослабления лучистого потока при прохождении через среду, определяемое физическими факторами: поглощением и рассеянием.

Поглощение—переход лучистой энергии в теплоту и другие формы при прохождении потока через среду.

Рассеяние—изменение направления светового луча после его встречи с элементом среды, не соответствующее законам зеркального отражения и не сопровождаемое изменением частоты колебаний.

Поглощающая среда—среда, в которой экстинкция и сопровождающие ее оптические явления вызываются преимущественно поглощением лучистого потока.

Рассеивающая среда (мутная среда)—среда, в которой экстинкция и сопровождающие ее оптические явления вызываются преимущественно рассеянием лучистого потока.

Показатель ослабления (коэффициент экстинкции) α —величина, характеризующая экстинкцию в данной точке среды и равная абсолютному значению натурального логарифма коэффициента прозрачности однородного слоя толщиной в единицу длины, везде имеющего те же оптические свойства, что и в данной точке.

Показатель ослабления (коэффициент экстинкции десятичный) a —десятичный логарифм коэффициента прозрачности однородного слоя толщиной в единицу длины, везде имеющего те же оптические свойства, что и в данной точке пространства.

Показатель поглощения α_{Π} —компонент показателя ослабления, обусловленный истинным поглощением лучистого потока средой; отношение лучистого потока, поглощаемого единицей объема оптически однородной среды, пронизанного пучком параллельных лучей, к освещенности, создаваемой этим пучком на перпендикулярной к нему плоскости.

Показатель рассеяния α_p —компонент показателя ослабления, обусловленный рассеянием света средой; отношение лучистого потока, рассеиваемого единицей объема оптически однородной среды, пронизанного пучком параллельных лучей, к освещенности, создаваемой этим пучком на перпендикулярной к нему плоскости.

Фактор светлости σ —отношение показателя поглощения к показателю ослабления.

Коэффициент рассеяния $\sigma[x, s]$ —отношение силы света единицы объема однородной рассеивающей среды, освещенной пучком параллельных лучей, к освещенности, создаваемой этим пучком на перпендикулярной к нему плоскости; отношение яркости элементарного слоя рассеивающей среды, освещенной пучком параллельных лучей, к произведению освещенности, создаваемой этим пучком на перпендикулярной к нему плоскости, на толщину этого слоя в данном направлении.

Функция рассеяния $f(\theta, \varphi)$ —функция, выражающая изменение коэффициента рассеяния с направлением, определяемым сферическими координатами.

тами θ , φ , отнесенными к оси, параллельной направлению пучка освещающих лучей.

Индикатриса рассеяния—векторная пространственная диаграмма, графически выражающая функцию рассеяния. Представляет собой поверхность, расстояние которой от начала координат везде пропорционально коэффициенту рассеяния в данном направлении; поверхность, образованная концами векторов, исходящих из одной точки и по длине пропорциональных коэффициенту рассеяния для соответствующих направлений.

Оптический путь луча (оптическая масса луча, воздушная масса M)—отношение логарифма коэффициента пропускания атмосферы небесного тела для луча, пересекающего атмосферу в данном направлении, к логарифму коэффициента прозрачности атмосферы.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аббот* 485
 Абсолютная величина планеты 262, 269
 Абсолютно белая поверхность 288—289, 290, 293, 294, 297, 298, 300, 302, 303, 538
 — черная поверхность 437, 440, 452, 538
 — черное тело 481
 Абсолютный порог восприятия 54
Адамс 424—426, 485
 Адаптация 54—55
Аден 424
 Адонис 29
 Актинометрия 476, 485
Аллен 426
 Альбедо 287, 289, 293, 297—303, 305—308, 312—315, 327, 377, 446, 447, 450, 451, 453, 456, 484, 485, 510, 538
 — Бонда 305, 538
 — видимое 293, 327, 446, 447, 450, 451, 456, 538
 — геометрическое 297, 303, 307, 538
 — —, методы определения 299—300
 — иллюстративное 301—303, 538
 — истинное 538
 — плоское 287, 289, 308, 538
 — сферическое 305, 308, 312—315, 453, 538
 — —, методы определения 312—315
 Альбедометр 313, 315
Амбарцумян В. А. 12, 430, 446, 453, 490, 515
Амбронн 197, 202
 Амур 29
 Анализатор 366
Антониади 211
Араго 19, 371
Аррениус 507, 510
 Аспекты планет 33, 37
 Астероиды 21, 22—24, 27—29, 169, 244, 253, 268—272, 285—300, 304—305
 Астероиды, альбедо 300
 —, блеск 268—272
 —, колебания блеска 270—272, 285
 —, обозначения и имена 23—24
 —, показатель цвета 285
 —, причина колебаний блеска 271—272
 —, размеры 244, 304—305
 —, система величин 268—269
 —, фотометрические размеры 304—305
 —, число 21
 Астроклимат 64, 66, 69
 Астрономы-любители 20, 21
 Атмосфера Венеры 486—495
 — —, индикатриса рассеяния 489—490
 — —, люминесценция 494
 — —, облачный слой 488, 490, 491—493
 — —, оптические свойства 488—490
 — —, отражающая способность 487—488
 — —, полосы поглощения в спектре 488
 — —, полярные сияния 494—495
 — —, природа аэрозоля 408—490, 491—494
 — —, строение 487, 488, 491, 493, 494
 — —, температура 487
 — —, химический состав 488, 491—492, 494
 Атмосфера Марса 500, 501—506, 509, 510
 — —, аэрозоль 505, 506
 — —, давление 503
 — —, желтые облака 504
 — —, масса 501—502
 — —, облачные образования 504—506, 509, 510
 — —, оптические параметры 502
 — —, рассеяние 500—503, 505—506
 — —, фиолетовые облака 504—505

- Задача картографии планет 155—156
 Задача трех тел 29
 Закон Вина 482
 — Кирхгофа 484
 — косинуса 287
 — Ломмеля—Зеслигера 310
 — рассеяния Рэлея 434, 505
 — секанса 421
 — Стефана 480, 481, 484
 — Эйлера 310
 Западная квадратура 134
 Зарисовки планет 73—76, 154
 Звездная величина 537
 — — абсолютная 537
 — — Солнца 298—299
 — — средний 537
 Звездный оборот 26, 36
 Звягинцева Г. П. 466
 Зеслигер 241, 445
 Земля 9, 23, 27, 29, 144, 265, 283, 482
 —, альbedo 312
 —, зависимость блеска от фазы 265
 —, масса
 —, плотность
 —, показатель цвета 283
 —, размеры
 Земная группа планет 33
 Зернистость снимка 85, 87—88
 Зигерт 359
 Зона полутени 106, 107
 Зоткин И. Т. 466
 Измерения планетных дисков 131—136
 — — — визуальные 131—134
 — — — дисковым микрометром 135, 136
 — — —, специальные методы 136
 — — —, фотографические 134—135
 — — —, погрешности 131
 — — —, методы исключения погрешностей 136—137
 — координат деталей 154—157
 Изотермическая атмосфера 398—399, 405, 465
 Икар 27, 29
 Иллюмометр 334, 335, 336
 Илзмур 526
 Индикатометр 343—344
 Индикатометрия 255, 288, 343
 Индикатриса отражения 288
 — рассеяния 344—347, 431—436, 453, 538, 540
 — —, зависимость от размеров частиц 433—435
 Инструменты для фотографирования планет 88—89
 Интегральная фотометрия 254—257, 319
 Ио 99, 245, 246
 Ионосфера 394
 Иррадиация 59, 180
 Истинное поглощение 487
 — полнолуние 105
 Истинный период вращения 119
 Истомин Г. А. 87
 Каверайский В. В. 367
 Каде 416
 Кайзер 197, 202, 209, 221, 230, 231, 237, 240, 241
 Калитин П. Н. 339
 Каллисто 99, 247
 Кальдер 274, 299
 Каминель 20, 135, 209—211, 213, 218, 240, 241, 245
 Кант 12
 Картинная плоскость 102
 Качества телескопа для планетных исследований 41, 48, 50—51
 Качество изображений 66, 68—69
 Карягина З. В. 298, 299
 Кассини Д. 16, 31, 183, 221, 235, 238
 Кейпер 20, 31, 206, 207, 241, 270, 271, 274, 285, 298, 299, 423, 425—427, 430, 487
 Кемпбелл 19, 197, 209, 238, 239, 242
 Кеплер 7, 416
 Килер 19, 233, 239
 Кинг 265—267, 274, 283—285, 299
 Кинен 362, 363
 Кирквуд 239, 240
 Клейн 195
 Клеро 147, 148
 Клячко М. А. 466
 Кобленц 483, 485, 496, 499, 520
 Ковалевская С. В. 238
 Коваль И. К. 501
 Козлова Н. И. 283
 Козырев Н. А. 19, 361, 424, 430, 488, 494, 510, 526
 Колориметрический синий клин 281—282
 Колориметрия планет 279—285, 295, 296—297, 323
 — земных образований 348—351
 Колор-экспесс 280
 Кольца Сатурна 234—240, 433, 518—520
 — —, вращение 238—239
 — —, зоны 236
 — —, природа 519
 — —, происхождение щелей 239—240

- Кольца Сатурна, размеры 236—237
 — —, — частиц 519—520
 — —, скорость вращения 239
 — —, фазы видности 234—235
 — —, фотометрическая теория 518
 — —, щели 235, 236
 Кометы 21
 Контраст яркости 52
 Конус турбулентции 63
 Концентрация частиц 431
 Коперник 7, 11, 15
 Костинский С. К. 92, 142, 276
 Коэффициент контрастности 78
 — прозрачности 65, 66, 330, 332, 334, 420, 539
 — пропускания анализатора 366
 — — атмосферы 484, 485
 — рассеяния 431, 432—433, 434, 436, 442, 462, 539
 — —, зависимость от длины волны 434, 436
 — рассеянного отражения 287
 — экстинкции 420
 — яркости 287, 289, 292, 308, 309, 332, 447, 488, 538
 Крат В. А. 435
 Кривов Е. Л. 283, 284, 339, 343, 344, 348
 Критическая скорость 147, 393—394
 Кромеллин 211
 Кулебакин В. С. 344, 353
 Кюль 137, 138, 299
 Лагранж 29
 Лайман 467, 469, 470
 Ламберт 18, 288
 Лампланд 483, 485, 496
 Ланглей 19
 Ландерер 371, 372, 374
 Лаплас 12, 148
 Лассель 31
 Лассель — Март 240, 241
 Леверрье 198
 Левин Б. Ю. 305
 Лезандр 148
 Лейтон 94
 Либрация 182—184
 — оптическая 183
 — параллактическая 182
 — по долготе 182—183
 — по широте 182
 — физическая 183
 — — вынужденная 183, 184,
 — — свободная 183—184
 Ливендер 283
 Лимб 99, 105, 108—111, 116, 310, 534, 535
 Лимб геометрический 105, 535
 — ортографический 108, 111, 115, 116, 535
 — рефракционный 109, 535
 Линия апсид 26
 — рогов 100, 104, 534
 Линк 361, 417, 470, 471
 Лию 20, 253, 369, 371, 372, 374, 400, 503
 Липский Ю. П. 524, 525
 Ловелл 18, 20, 210—212, 215, 242
 Лозе 133, 211, 221, 224
 Ломоносов М. В. 12, 16, 17, 404, 423, 467
 Ломмель 445
 Луна 9, 12, 13, 16, 22, 23, 32, 39, 75, 94, 99, 101, 117, 121, 124, 136, 140, 142, 145, 154—155, 161, 179—196, 259, 263, 272—278, 282, 307, 312—313, 351—365, 375—384, 413, 520—527
 —, альbedo 355, 377, 378
 —, блеск 272—276
 —, взаимосвязь форм рельефа 191—193
 —, возмущения движения 183
 —, вращение 181—182, 183
 —, детали диска 187—188
 —, зависимость блеска от фазы 273
 —, звездная величина 274
 —, изменения поверхности 195—196
 —, изрытость поверхности 351, 353—354, 376
 —, индикатрисы отражения деталей 356—358
 —, история поверхности 193—194
 —, колориметрия 362—365
 —, контрасты цвета 282, 358—359, 364—365, 376
 —, коэффициент яркости деталей 354—356
 —, либрация 182—185
 —, люминесценция 356, 361—362
 —, масса 145
 —, неравнства движения 32
 —, обозначения деталей 188, 190, 191
 —, определение 186
 —, — координат деталей 185—186
 —, отсутствие потемнения к краю 351—352
 —, поверхность 188—191, 308, 375—384, 522, 524
 —, показатель цвета интегральный 282
 —, — — деталей 355, 362—364
 —, покрытие звезд 413
 —, поляриметрия 366—375

- Луна, природа поверхности 375—384
 —, проблема атмосферы 524—527
 —, происхождение кратеров 194—195
 —, радиоизлучение 522—524
 —, размеры 140, 180—181
 —, световая постоянная 274, 275
 —, сжатие 181
 —, спектрофотометрия 358—362
 —, сравнение с земными породами 376, 378—379
 —, строение поверхностного покрова 521—522, 524
 —, температура 520—523
 —, формы рельефа 181, 187—192
 —, фотометрия 351—358
 —, цветная фотография 94
 —, цветовая температура деталей 360
 —, шкала яркостей 352
 —, яркость 352—354, 376
 —, изменение яркости деталей с фазой 354
Львов Н. 241
 Люминесценция 430
Ляпунов А. М. 148
- Маджиски* 284, 285, 513
Майгель С. О. 353
Майн 202, 209, 221, 236
Мак-Ивен 466
Мак-Лафлин 507
Маклорен 148
Максвелл 238
Максутов Д. Д. 46
Мандельштам Л. И. 434
Маральди 212
Марков А. В. 196, 282, 283, 323—327, 331, 337, 353, 358, 361, 363, 364
 Марс 9—10, 12, 14, 22—23, 27, 29, 35, 58, 71, 74, 76, 94, 97, 117, 121, 135, 136, 139, 149, 154—155, 164—165, 169, 179, 208—220, 260, 263, 265—266, 283—284, 307—308, 425—427, 429, 464, 477, 486, 496—500, 501—511
 —, атмосфера 425—427, 429, 464, 486, 509—510
 —, блеск 265—266
 —, детали поверхности 213—217, 219, 504
 —, изменения на поверхности 218, 219—220
 —, карты поверхности 212—215
 —, координаты полюса 210—211
 —, обозначение деталей 213—216
 —, период вращения 211—212
- Марс, поверхность 213—219, 500, 502, 506—511
 —, показатель цвета 283—284
 —, полярные шапки 216—217, 308
 —, прецессия 211
 —, размеры 208—210
 —, растительность 508—509
 —, рельеф 213—217
 —, сжатие 210
 —, температура 496—500
 —, цветовые контрасты 510—511
 —, эксцентриситет 477
 Масса астероидов 145
 — Луны 145
 — планет 141—144
 — —, значения 143
 — —, методы определения 141—142, 144
 — спутников планет 144—146
 — — Юпитера и Сатурна 144
 Масштаб изображения 88
 Математическая климатология 482
Медлер 197, 202, 469, 470
Мейер 230, 237, 284
Меллот 30
Мендель 242, 243, 483, 491, 503, 520
 Меркурий 23, 27, 29, 37, 72, 101, 144, 196—201, 263—265, 312—313, 373
 —, альbedo 300
 —, блеск 263—264, 265
 —, вращение 199, 200
 —, детали диска 198—199
 —, карты поверхности 200—201
 —, обозначение деталей 199
 —, поляризация света 373
 —, размеры 196—198
 —, рельеф 200—201
 Мерцание звезд 60—51
 Метеорная материя 21
Ми 435
Миланкович 482, 496, 500
Милн 393, 486
Миннарт 490
Миннет 523, 524
Мите 359
Михайлов А. А. 37
Михайловский 84
Михельсон Н. Н. 245, 466
Морган 283
Мур 242—243
 Мутная среда 430
Мэке 428
Мюллер 263—266, 269, 283, 330, 489
- Назоака* 46, 320
 Наибольшее восточное удаление 36
 — западное удаление 36

- Наклон 24—25, 101, 536
 — плоскости экватора 118, 536
 Начальный меридиан 117—118, 536
 Негоризонтальная видимость 450
 Нейтрально рассеивающаяся поверхность 538
 Нептун 14, 23, 72, 139, 169, 170, 242—244, 267, 285, 299—300, 312, 428—430, 512
 —, альbedo 299—300
 —, атмосфера 428—430, 512
 —, блеск 243, 244, 267
 —, колебания блеска 243—244
 —, координаты полюса 243
 —, открытие 23
 —, период вращения 243
 —, показатель цвета 285
 —, размеры 241—242
 —, сжатие 242
 —, температура 512
Неуймин Г. Н. 24
Нефедьев А. А. 137, 184, 201, 202, 209, 467
 Нефелометр 437—439
 Нефелометрия 392, 437
 Нижние планеты 33
 Нижнее соединение с Солнцем 36, 37, 38, 39
Николь 366
Никольсон 30, 483, 487, 496, 520, 527
Никонова Е. К. 274, 298, 299
 Нормальная широта фотоматериала 82
 Ночное зрение 51
 Нуль-пункт шкалы звездных величин 257
 Нутация 147
Ньютон Г. 243
Ньютон И. 7, 9, 141, 147—149, 181
- Обитаемость планет 10—11, 15
 Область максимальной плотности 79
 — недодержки 78
 — нормальных экспозиций 70
 — передержки 78
 Облачные образования 391—392, 448, 453
 Облученность 476, 477, 479
 Оборот истинный 537
 — синодический 537
 — среднесолнечный 537
 — тропический 537
 Объем планет 139—140
 Одновременный цветовой контраст 58
 — яркостный контраст 55
- Однородная атмосфера 398
Ольберс 23
 Опалесценция 459
 Оппозиция 34
 Определение планетографических координат 156—165
 — светлоты 328—339, 340—343
 — — абсолютное 340—342
 — — земных образований 340—351
 — — относительное 340, 343
 Оптическая масса 65, 419
 — плотность 539
 — — негатива 76—77
 — толщина 419, 539
Орлова Н. С. 20, 262, 283, 312, 344, 354—356
 Ортографическая проекция 101, 102, 159
 Ортотропная поверхность 288, 310, 538
 Освещенность 286
 Острота зрения 51
 Относительное отверстие 43, 77
 Отражательная способность, зависимость от условий 346—348
 — —, классы 349, 350
 — —, типы поверхностей 345—346
 Отрицательная поляризация 372, 374
 Оценка изображений 66—68
 «Ошибка прикосновения» 133
- Павлов А. В.* 194
Павлов Н. Н. 131
 Паллада 23, 99
Паренаго П. П. 241—243, 267—354
Пархоменко П. И. 320
Паршин И. А. 87, 320, 472, 487, 490
Перайн 30
 Первая четверть 105
 Перигелий 26
 Период обращения истинный суточный 119
 — — равноденственный 120
 — — солнечный 119
 — — средний солнечный 119—120
 Перспективная проекция 102
Петерс 202, 237
Петрова В. Н. 466
Петрушевский Ф. Ф. 18, 359, 360
Петтит 202, 274, 282, 299, 483, 487, 496, 520, 527
Пецольд 417
Пиации 23
Пиддингтон 523, 524
Пик 516
Пиккеринг 31, 66, 211, 212, 239, 274, 352, 353

- Планетные обсерватории 20
 Планетоведение 8, 9—14, 15
 Планетографическая долгота 536
 — — Солнца 127
 — параллель 535
 — широта 160, 536
 Планетографические координаты 117, 161—165, 175
 — —, определение из наблюдений 161—165
 Планетографический меридиан 535
 Планеты 9—11, 13—14, 15—16, 21, 26, 28, 140, 143, 145, 148—150, 169, 175—179, 263—277, 282—285, 299, 301, 312—313, 393—394, 476—486
 —, альbedo 299—301, 312
 —, блеск 263—277
 —, внутреннее строение 148—150
 —, возможность существования жизни 11, 15—16
 —, критическая скорость 143
 —, массы 143
 —, названия 23
 —, облученность Солнцем 478—479
 —, обозначения 23
 —, определение возвышений точек поверхности 175—179
 —, особенности изучения 13—14
 —, периодические колебания блеска 265
 —, плотность 143, 145
 —, показатель цвета 282—285
 —, размеры 140
 —, свойства поверхности 312—313
 —, сжатие 140
 —, сходство с Землей 9—11
 —, температура 476, 479—486
 —, условия существования атмосфер 393—394
 —, фотометрические параметры 264
 —, цвет 277
 —, число 21
 —, элементы орбит 28
 Плечке 513
 Плоскость поляризации 366
 Плутон 23, 27, 99, 267—268, 477
 —, блеск 267—268
 Поверхностная фотометрия 319, 320, 322—327
 — — абсолютная 321, 327
 — — относительная 320—321
 — —, техника измерений 322—327
 Поверхностный фотометр 322—333
 — телефотометр 333, 335
 Поверхность Луны 188—191, 308, 522, 524
 Поверхность Луны, борозда 191
 — —, вал 190
 — —, горный пик 188
 — —, горный хребет 188
 — —, кратер 190—191
 — —, лунка (пóра) 191
 — —, материк 188
 — —, море 188, 308
 — —, ореол (нимб) 191
 — —, светлые лучи 191
 — —, теплопроводность 522, 524
 — —, цирк 190
 — Марса 213—216, 218, 500, 502, 506—511
 — —, кайма полярной шапки 218
 — —, канал 214—216
 — —, материк 213
 — —, море 213—214
 — —, природа морей 506—509
 Поглощающая среда 539
 Поглощение 392, 539
 Подсолнечная точка 109, 535
 Позиционный угол полюса 125, 535
 Показатель желтизны 280, 295, 296, 303, 348, 537
 — ослабления 420, 439, 539
 — поглощения 539
 — рассеяния 539
 — цвета 295—296, 270, 280, 348, 537
 — — специальный 279, 281, 537
 Покрывание звезд 412—413, 416
 Политропная атмосфера 405
 Полная широта фотоматериала 82
 Положительная поляризация 372, 374, 375
 Полюс освещения 103
 — фазы 534
 Поляризация света 366—367
 Поляриметр Лео 369—371
 Поляриметрия планет 19, 254, 255
 Полярископ Савара 367
 Полярное сияние 430
 Поповкина Р. В. 466
 Порог контрастной чувствительности 52
 Последняя четверть 105
 Последовательный цветовой контраст 59
 — яркостный контраст 55
 Правило Боде—Тидуса 27
 Прессия 117, 150—151
 Приведенная широта 161
 Проблема лунной атмосферы 24—527
 Противостояние 34, 35, 37, 38
 — по прямому восхождению 34
 Прохождение Венеры 37—38
 — Меркурия 37

- Прямая освещенность 292, 448
 Пуанкаре 148
 Пульфрих 196
 Пуццико Е. К. 348
 Пфунд 483
 Рабе 138, 139, 197, 198, 202, 204, 209—210, 221—230, 237, 240, 241, 468—470, 505, 506, 510
 Равноденственные точки 536
 Равнозрачковое увеличение 48
 Радиоизлучение планет 20
 Радиометрия 254
 Радиус-вектор 26
 Радова Л. Н. 20, 282, 285, 354, 355, 362, 365, 377, 382, 514
 Разделяющая способность снимка 84, 87—88
 Размытость терминатора 460
 Разрешающая сила 41
 — способность 41, 43—48
 — — снимка 84—85
 Райт 94, 208, 209, 235
 Райт-эффект 208—210
 Раманатан 283
 Распределение яркости по диску 446—455
 Рассеивающая среда 539
 Рассеяние света 391, 430—460, 481—539
 — — в оптике 72
 — —, яркость среды 439—446
 — — высших порядков 444—446, 449, 463
 Рассеянная освещенность 292, 449
 Рассеянное излучение 430
 Растительность на Марсе 10, 11
 Раутиан Г. Н. 72
 Резольвометрия 88
 Рессел 138, 139, 263, 266, 270, 273, 282—285, 298, 299—301, 311—312, 330, 467, 470, 471, 512, 525
 Референц-поверхность 257
 Рефракция 59—60, 108, 91, 401—418
 —, видимое смещение деталей диска 406—408
 —, лунное затмение 416—418
 —, ослабление блеска светила 413—416
 —, смещение звезд на краю 412—413
 —, явление Ломоносова 408—412
 Рефракционное расширение светового потока 41, 418
 Рефракционный лимб 407
 — терминатор 460
 Рехт 285
 Рийвес В. Г. 311
 Риттенхауз 412
 Рихтер 469
 Ричардсон 207, 417
 Риччиоли 182, 188
 Рога 100, 107, 108, 534
 — видимые 108, 535
 — геометрические 535
 — ортографические 535
 — рефракционные 106, 535
 Розенберг 353, 362
 Росс 94, 206, 371
 Рош 148
 Рубашев Б. М. 265, 266, 517, 518
 Рузье 273, 282
 Рэлей 434, 435
 Сале 245
 Самойлова-Яхонтова Н. С. 24
 Сандакова Е. В. 268, 285
 Сатурн 9, 14, 16, 29, 73, 94, 97, 121, 132, 136, 139, 151, 156, 164—165, 168—169, 172, 230—234, 266—267, 285, 299, 312, 326, 428, 429, 512—513, 514—518
 —, альbedo 299
 —, атмосфера 428, 429, 514—518
 —, блеск 266—267
 —, вращение 233—234
 —, детали поверхности 231—233, 234
 —, кольца 169, 234—240, 266, 267, 517, 518—520
 —, координаты полюса 233
 —, методы определения 328—345, 348—349
 —, периодичность явлений 517—518
 —, показатель цвета 285
 —, размеры 230, 231
 —, температура 512, 513
 Светлота 292, 293, 294, 295, 300, 327—345, 342, 348—349, 538
 — земных образований 339—351
 — экрана 332
 Световая лунная постоянная 275
 — солнечная постоянная 330—331
 Светофильтр 71, 330, 484
 — оттенитель 82
 Свойства зрения 51—52, 54—56, 58—59
 — фотографических материалов 76—88
 — элементов астероидов 27—28
 — — планет 27
 Секки 230, 237, 371, 469
 Селенография 180
 Селенология 192—193

- Семейкин В. Е. 490, 503
 Сент-Джонс 425
 Сжатие 111, 147, 149, 150—151, 160
 — сфероида видимое 112, 116—117
 — — истинное 112, 116—117
 Си 197, 202, 209, 221, 230, 237, 240
 Сила света 261
 — — Солнца 331
 Синодический период 36
 — суточный поворот 120
 Синодическое уравнение 36
 Синтон 487, 498
 Скиапарелли 18, 199, 211, 219, 240
 Славенас 242
 Слайфер 211, 242, 424, 428
 «Служба Марса» 219—220
 Смена фаз 100
 Смолуховский 434
 Смыкание рогов 111, 467
 Соболев В. В. 446, 489
 Собственное излучение планеты 481, 482—483, 484—486
 Соединение по прямому восхождению 32
 Солнечная постоянная 476
 Солнце, звездная величина 477, 478
 —, освещенность в люксах 477, 478
 Соляризация 79
 Спектроскопия планет 18, 422—430
 Спектрофотометрия земных образований 348, 350—351
 — планет 254, 255, 278—279
 Спектры планет 14, 18, 19
 Спутники 21, 22, 30—31, 244—247, 272—277
 —, блеск 272—277
 —, обозначения 22
 —, фотометрические параметры 275, 276
 —, число 21
 —, элементы 30—31
 — Марса 275—276
 — Сатурна 16—17, 144, 244—245, 247
 — —, блеск 276—277
 — —, масса 144
 — —, открытие 16, 17
 — —, размеры 245
 — Урана 17
 — Юпитера 16, 22, 26, 144, 244—247, 274—276
 — —, блеск 274—275, 276
 — —, масса 144
 — —, открытие 16
 — —, периоды вращения 246—247
 — —, размеры 245
 Среда поглощающая 440
 — рассеивающая 440, 441
 Среднее противостояние 263
 Средняя оппозиция 269
 — яркость 286
 Стандартизация фотометрическая 321, 327, 446
 Стандартный экран 342—343
 Станюкович К. П. 195, 383
 Степень поляризации 366
 Стратосфера 394
 Страттон 436
 Строение атмосферы 394, 396—401
 Струве В. Я. 221, 230, 236, 237
 Струве Г. 17, 151, 202, 203, 211, 220—221, 230—231, 233, 236, 237, 240—241
 Струве О. 46
 Струве О. В. 230, 236, 237
 Стюарт 138
 Сумеречная дуга 107, 460, 461, 464—467, 535
 Сумеречные явления 109, 111, 392, 460—472
 Сумма тепла 477, 479
 Суровцев П. П. 354
 Суточный поворот 537
 Сфероид 111, 148, 307
 Сытинская Н. Н. 20, 52, 218, 282, 325, 328, 331, 337, 344, 354—355, 364, 374, 379, 383, 452, 501—503, 507, 509
 Таекина Н. М. 466
 Температура атмосферы Марса 500
 — Луны 520—523
 — поверхности Марса 496—500
 — планет 476, 479—486, 496—500, 520—523
 — —, влияние атмосферы 481—482, 485, 486
 — — равновесная 478, 480, 481
 — —, связь с облученностью 479, 480
 Теннант 202
 Терминатор 99—100, 106, 110, 112, 117, 176, 200, 310, 534
 — видимый 108, 109, 112, 466, 535
 — геометрический 105, 535
 — ортографический 104, 535
 — рефракционный 107, 535
 Тимошенко 503
 Титан 16, 99, 276, 428
 —, атмосфера 428
 Тихов Г. А. 11, 20, 72, 94, 212, 282, 283, 285, 339, 363, 506, 509
 Тиходеев П. М. 343
 Топография планет 16—18, 154—155
 Тремплер 210—211, 213
 Троицкий В. С. 523

- Тропосфера 394
 «Троянцы» 29
 Уайтфелд 526
 Увеличение телескопа 48, 49—50
 Угловое расстояние перигелия от узла 26
 Угол позиционный оси вращения 159
 — удлинения рогов 536
 — фазы 100, 264, 265, 266, 267, 272, 283, 311, 372—375
 — эксцентриситета 26
 Удлинение рогов 108—111, 460, 467—472, 536
 — —, измерение 468—470
 — —, причина 470—472
 Уиллс 491
 Укорочение рогов 108—109, 111
 Ульбрихт 314
 Умов Н. А. 375
 Уолкер 267
 Уран 14, 16, 23, 27, 72, 119, 139, 169, 240—243, 267, 285, 428—430, 512, 517
 —, атмосфера 428, 429, 430, 512
 —, блеск 242—243, 267, 517
 —, детали поверхности 242
 —, колебания блеска 242—243, 517
 —, координаты полюса 243
 —, открытие 17, 23
 —, период вращения 242
 —, показатель цвета 285
 —, размеры 240
 —, сжатие 241
 —, температура 512
 Уровенная поверхность 149
 Условия видимости Луны 39
 — — планет 37—39
 — постоянства контрастной чувствительности глаза 53—56
 Ускорение силы тяжести 146
 Фаас В. А. 72
 Фабри 299
 Фаза планеты 33, 100, 103—105, 112, 124, 260, 313, 465—467, 534
 Фазовая кривая 261, 273—234, 308—311, 489, 537
 — функция 307
 Фазовый интеграл 307, 311, 537
 — коэффициент 263, 537
 — угол 100—101, 103, 104—105, 121—124, 261, 536
 Фазы Луны 273, 308
 Фактор гладкости
 — желтизны 456—458
 — светлоты 439, 487, 539
 Фаут 255
 Федоренко В. А. 354, 361
 Федынский В. В. 195, 383
 Фесенков В. Г. 12, 19, 192, 224, 282, 284—285, 315, 320, 354, 363, 417, 445, 471, 500, 503, 505, 507, 513
 Фехнеровская дробь 52
 Фигура планет 111, 139, 147—149
 — — истинная 111
 Физические координаты 9, 120—130, 159, 168, 184, 175, 534
 — —, вычисление эфемерид 127—130
 — —, эфемериды 100
 Финзен 202
 Фишер 285
 Фламарион 212
 Фортины 361
 Фотографирование планет 18, 88—97
 — —, методы 97
 — —, получение позитивов 91—92
 — —, проявление 91
 — —, специальная обработка негативов 92—97
 — —, фотоматериалы 90
 — —, экспозиция 89—90
 Фотографическая иррадиация 85—86, 134, 326
 — система величин 257
 Фотометрическая калибровка негативов 324—325
 Фотометрические радиусы 304—305
 Фотометрический параллакс 323
 Фотометрия планет 18, 19, 353, 487
 Фотополариметр 368, 369
 Фоуль 485, 503
 Функция рассеяния 538, 539
 Фурсайт 282
 Хабаков А. В. 193—194
 Хайкин С. Э. 523
 Характеристики отражения 293, 303
 Характеристическая кривая 77—83
 Харгривс 377
 Хвольсон О. Д. 445
 Холл 30, 230, 237
 Хопман 264
 Хорди 267
 Хоутон 436
 Хэми 245
 Цвет планет 455—460
 — —, оценка 277—278
 Цветоведение 56
 Цветовая температура 295, 296
 Цветовое ощущение 56—58
 Цветовой избыток 280
 Цветовые характеристики 296

- Цветоделительный эффект 371
 Цветоконтрастные фильтры 71—72
 Целльнер 18, 274, 299, 311, 352
 Центр диска 534
 Центральный меридиан 536
 Цераский В. К. 18, 298, 299
 Церера 23, 99
 Цесевич В. П. 270—271

 Чандрасекар 446
 Чекирда А. Т. 283, 342, 364
 Черулли 211.

 Шайн Г. А. 19
 Шар Тейлора 315
 Шаровой фотометр 313—314
 Шаронов В. В. 210, 282, 283, 320, 323, 354, 361—362, 364—365, 379, 459, 472, 487, 490, 493, 503, 506, 513—515
 Шатцель 271
 Шейнер 282, 284, 296, 360, 377
 Шенберг 353, 435, 445, 471, 472, 489, 490, 513, 519
 Широта планетографическая 160, 536
 — подсолнечной точки 127, 534
 — центра диска 125, 159, 534
 Шифрин К. С. 433
 Шкала охлаждения 277
 — Никкеринга 66—67
 Шкловский И. С. 393
 Шмидт 195
 Шмидт О. Ю. 12
 Шпитцер 393
 Шретер 17, 195, 221, 467, 469, 470
 Штауде Н. М. 320, 354
 Штраке 268
 Штумпф 299—301, 305, 311, 312
 Шулейкин В. В. 433, 435, 436
 Шур 197, 209, 221

 Щеголев Д. Е. 361

 Эйдук Р. А. 466
 Эйхельберг 243
 Экватор 536
 — интенсивности 103, 535
 Экспониметрия 80
 Экстинкция 64, 258, 336, 407, 413—414, 418—421, 454, 458, 481, 539
 Эксцентриситет 26, 101
 Элементы вращения 118—120, 151, 159, 165—169
 — —, определение 165—169

 Элементы орбит планет 24—27, 28
 — — спутников 29, 30—31, 32
 Элонгация 33, 39, 104, 110, 123, 467
 Энгельс 7
 Элик 525
 Эпоха вращения 120
 — прохождения перигелия 26—27
 Эрнст 197
 Эталон яркости 329
 Эталонные объекты 321
 Эффект Костинского 92
 — Эбергарда 92, 326

 Юнг 210
 Юнона 23, 99
 Юпитер 9, 14, 23, 28—29, 38, 71, 73, 94, 112, 119, 121, 132—133, 136, 139, 151, 155—156, 163—164, 165, 168, 220—230, 259, 263, 266, 284, 312, 326, 512—514, —, атмосфера 428, 429, 512—514, 515—517, 518
 —, блеск 266
 —, детали поверхности 224—230
 —, колебания блеска 517
 —, координаты полюса 220—221
 —, красное пятно 228—229, 518
 —, период вращения 221—222, 224
 —, периодичность явлений 517—518
 —, показатель цвета 284
 —, радиоизлучение 518
 —, размеры 220, 221
 —, распределение яркости по диску 513—515
 —, системы нивиграфических координат 222, 223
 —, сжатие 112, 220—221
 —, температура 512—513
 —, фаза 515
 —, южное тропическое возмущение 229—230
 Юпитерова группа планет 33, 307
 Юстова Е. Н. 459

 Явления в системах спутников 32—33
 — Ломоносова 17, 416
 Яковкин А. А. 84
 Янст 277
 Яркостный фактор 293
 Яркость 286
 — атмосферного ореола 64—66
 — диска Солнца 331
 — неба 64—65, 108, 111