

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава I. Введение	7
§ 1. Солнечная система как объект физического исследования; предмет планетоведения	7
§ 2. Некоторые сведения по истории планетоведения	15
§ 3. Общий обзор солнечной системы	24
§ 4. Элементы орбит планет и спутников	24
§ 5. Аспекты и условия видимости планет в различные сезоны	33
Литература к гл. I	40
Глава II. Телескопическое исследование поверхности планет и спутников	41
§ 6. Телескоп как средство планетных исследований	41
§ 7. Свойства зрения	54
§ 8. Влияние земной атмосферы на видимость деталей планет- ного диска	59
§ 9. Техника визуальных наблюдений планет	69
§ 10. Теория передачи деталей на фотографическом снимке	76
§ 11. Практика фотографирования планет и спутников	88
Литература к гл. II	97
Глава III. Геометрические и механические характеристики тел солнечной системы	99
§ 12. Диск и фазы шарообразного тела	99
§ 13. Диск и фазы планеты, имеющей заметное сжатие	111
§ 14. Элементы вращения; физические координаты	117
§ 15. Техника измерения планетных дисков	131
§ 16. Масса и определяемые ею величины	141
Литература к гл. III	152
Глава IV. Топография и картография	154
§ 17. Задачи картографического изучения планет и спутников	154
§ 18. Определение планетографических координат	156
§ 19. Определение элементов вращения из наблюдений	165
§ 20. Физические методы исследования вращения планет	169
§ 21. Методы определения возвышений точек поверхности не- бесного тела; зенитное расстояние и азимут Солнца и Зем- ли для этих точек	175
Литература к гл. IV	179

Шаронов Всеволод Васильевич.

Природа планет.

Редактор Л. В. Самсоненко.

Корректор А. С. Бакулова

Техн. редактор С. С. Газрилов.

Сдано в набор 12/XI 1957 г. Подписано к печати 14/III 1958 г. Бумага 60×92¹/₁₆.
Физ. печ. л. 34,5+1 вклейка. Условн. печ. л. 34,62. Уч.-изд. л. 34,0. Т-02275.
Тираж 3000 экз. Заказ № 1494. Цена книги 19 р. 05 к.

Государственное издательство Физико-математической литературы.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

16-я типография Московского городского Совнархоза.
Москва, Трехпрудный пер., д. 9.

Глава V. Топографическое описание отдельных тел солнечной системы	180
22. Луна и проблемы селенографии	180
23. Морфология лунной поверхности	187
24. Меркурий	196
25. Венера	201
26. Марс	208
27. Юпитер	220
28. Сатурн	230
29. Кольца Сатурна	234
30. Уран и Нептун	240
31. Астероиды и спутники больших планет	244
<i>Литература к гл. V</i>	247
Глава VI. Интегральная фотометрия	254
§ 32. Роль фотометрических наблюдений как метода физического исследования планет и спутников	254
§ 33. Блеск планеты и его изменения	257
§ 34. Итоги интегральной фотометрии планет и спутников	263
§ 35. Колориметрия и спектрофотометрия	277
§ 36. Величины, количественно характеризующие отражательную способность вещества	286
§ 37. Геометрическое и иллюстративное альbedo; фотометрические диаметры малых тел	297
§ 38. Сферическое альbedo	305
<i>Литература к гл. VI</i>	315
Глава VII. Фотометрия планетных дисков	319
§ 39. Задачи и проблемы поверхностной фотометрии тел солнечной системы	319
§ 40. Техника поверхностной фотометрии	322
§ 41. Методы стандартизации; получение светлоты и яркостного фактора	327
§ 42. Измерения светлоты в лабораторных и полевых условиях	339
§ 43. Фотометрическое исследование поверхности Луны	351
§ 44. Исследования лунной поверхности колориметрическим и спектрофотометрическим путем	358
§ 45. Поляриметрия и ее приложения к исследованию поляризации на лунном диске	366
§ 46. Применение исследований отражательной способности к изучению природы поверхности Луны	375
<i>Литература к гл. VII</i>	384
Глава VIII. Оптика планетных атмосфер	391
§ 47. Газовая оболочка небесного тела	391
§ 48. Стрoение планетной атмосферы	396
§ 49. Рефракция	401
§ 50. Рефракционные явления, наблюдаемые на планетах	406
§ 51. Экстинкция	418
§ 52. Поглощение; спектроскопическое исследование планетных атмосфер	421
§ 53. Рассеяние излучения в газах и аэрозолях	430
§ 54. Яркость рассеивающей среды	439
§ 55. Распределение яркости по диску планеты, окруженной атмосферой	446

§ 56. Влияние рассеивающей атмосферы на цвет планеты	455
§ 57. Сумеречные явления	460
<i>Литература к гл. VIII</i>	472
Глава IX. Физические условия на планетах и спутниках	476
§ 58. Солнечное облучение и температурные условия	476
§ 59. Определение температуры путем радиометрических измерений	482
§ 60. Атмосфера Венеры	486
§ 61. Атмосфера и поверхность Марса	496
§ 62. Природа планет группы Юпитера	511
§ 63. Температурные условия на телах, лишенных атмосферы; проблема лунной атмосферы	520
<i>Литература к гл. IX</i>	527
Приложение. Список некоторых специальных терминов и буквенных обозначений, относящихся к области планетоведения и принятых в настоящей книге	534
Алфавитный указатель	541

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателя книга содержит имеющиеся в нашем распоряжении сведения о природе планет и спутников Солнечной системы. Они даются соответственно состоянию наших знаний на 1956 г. Основной упор сделан на факты, полученные путем наблюдений, в то время как вопросы теоретического порядка затрагиваются лишь в том минимальном объеме, который был необходим для изложения наблюдательного материала.

Для раздела астрономических наук, занимающегося вопросами природы планет и спутников, автором в 1949 г. было предложено наименование «планетоведение», посредством которого указанный выше раздел планетной астрономии выделяется из всех других подразделений астрономии и противопоставляется небесной механике, изучающей движение планет в пространстве. Этот термин в настоящее время получил в нашей литературе известное распространение. Принимая его, мы можем определить тему настоящей книги как «практическое» или «наблюдательное планетоведение».

В. В. Шаронов.

ГЛАВА I

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Солнечная система как объект физического исследования; предмет планетоведения

К изучению планет и их спутников можно подходить с двух точек зрения.

Во-первых, можно изучать их кажущееся перемещение по небосводу, известное еще первобытным народам, от видимой картины движений переходить к изучению действительных орбит, описываемых этими телами в пространстве, и, наконец, применяя закон всемирного тяготения, подвергать найденные движения точному анализу и строгому расчету. С таких позиций солнечная система изучается в тех разделах астрономии, которые принято называть теоретической астрономией и небесной механикой, а в части наблюдательной — практической астрономией* или астрометрией.

Такой геометрический и механический подход к изучению планет и Луны — дело очень большой давности, ибо уже древние астрономы настойчиво занимались определением положений планет на фоне зодиакальных созвездий и, размышляя о сущности их перемещений, строили наивные «системы мира» с Землей в центре. Лишь в бессмертных трудах гениального польского мыслителя Николая Коперника, а затем Иоганна Кеплера теоретическая астрономия, т. е. искусство определения истинной орбиты небесного тела по полученному из наблюдений перемещению его проекции по небесной сфере, нашла свое оформление в качестве настоящей науки и притом науки передовой, поскольку в эпоху Возрождения астрономия была тем революционным знаменем, под которым шло на бой со средневековой схоластикой все зарождавшееся естествознание. Недаром Энгельс писал: «Чем в религиозной области было сожжение Лютером папской буллы, тем в естествознании было великое творение Коперника, в котором он, — хотя и робко, после 36-летних колебаний и, так сказать, на смертном одре, — бросил вызов церковному суеверию. С этого времени исследование природы по существу освободилось от религии...»*).

*) Ф. Энгельс, Диалектика природы, Госполитиздат, 1948, стр. 153.

Затем наступила эпоха Ньютона, когда были открыты основные законы движения и закон всемирного тяготения; все они были с необыкновенным успехом применены и подтверждены на примере движений Луны, планет и комет. С тех пор небесная механика сделалась самой развитой и зрелой отраслью естествознания для своей эпохи. Ее способность точным расчетом предсказывать небесные явления на много лет вперед давно уже перестала служить предметом удивления и восхищения, как это было когда-то. Абсолютная достоверность и высокая точность тех предсказаний, какими в сущности являются все те числа, которые печатаются в астрономических календарях и ежегодниках, считаются вполне естественным и необходимым атрибутом той большой вычислительной работы, которая ведется в специальных астрономических учреждениях. Это не значит, конечно, что небесная механика исчерпала все свои проблемы и не имеет перед собою перспектив для дальнейшего прогресса. Напротив, именно перед ней стоят в настоящее время очень актуальные проблемы по дальнейшей разработке абсолютных теорий движения Луны и планет, создания новых, более удобных практически методов расчета, а также по решению общих проблем движения в системах, состоящих из трех и более тел.

Второе направление в исследовании тел солнечной системы, которое иногда называют несколько неточным и отчасти устаревшим термином «физическое», изучает непосредственно само тело планеты или спутника. Если небесная механика рассматривает член солнечной системы преимущественно как материальную точку, движущуюся под влиянием притяжения других тел, то второе направление изучает каждое из таких светил как комплекс материи, не только движущейся, но и непрерывно изменяющейся, преобразующейся из одного состояния в другое, заполняющей определенный объем, имеющей определенную форму, химический состав и физические свойства. Вот это направление мы и будем называть общим термином *планетоведение*.

Таким образом, в задачи планетоведения входят решение таких вопросов, как размеры и фигура планеты, детали и структура ее поверхности и характер устилающих эту поверхность материалов, температура поверхности и ее изменения на протяжении оборота планеты вокруг оси и вокруг Солнца, связанные с этими изменениями сезонные перемены ландшафта тех или иных зон планеты, а также строение, физическое состояние и химический состав атмосферы, если последняя на данном небесном теле имеется.

Как известно, астрономические науки можно классифицировать по двум линиям. Во-первых, можно выделять отдельные дисциплины по методу исследования. Это будет общепринятая в наших учебных планах номенклатура, приводящая к таким разделам, как сферическая астрономия, астрометрия, небесная механика, астро-

физика. Во-вторых, возможно и часто применяется разделение по группе изучаемых светил. В этом случае мы говорим о звездной, кометной, солнечной астрономии и т. п. Очевидно, что планетоведение входит в число разделов второй номенклатуры астрономических знаний. По отношению к разделам первой группы оно будет дисциплиной комплексной, так как пользуется данными и методикой весьма различных подразделений.

Так, вопросы, связанные с положением на небесной сфере проекции оси и координатной сетки на поверхности планеты, очевидно, представляют собою главу сферической астрономии, хотя относящиеся сюда величины в наших ежегодниках до сих пор называются устаревшим наименованием «физические координаты планеты». Техника измерения угловых размеров и сжатия планетного диска, а также определения положения различных деталей на нем представляет собою вопрос астрометрии. Теорию фигуры и внутреннего строения небесного тела обычно относят к области небесной механики. Наконец, изучение яркости, цвета и поляризации, исследование спектра планеты и теоретическую интерпретацию результатов таких наблюдений можно рассматривать как применение к планетам и спутникам методов астрофизики.

Каково значение таких проблем и исследований в системе наших естественнонаучных знаний? Помимо того общего соображения, что изучение планет является необходимой частью исследования вселенной вообще, ибо планеты и спутники являются, по-видимому, весьма распространенными и типичными классами небесных тел, можно указать ряд больших теоретических и практических проблем, в решении которых планетоведение играет ведущую роль.

Во-первых, поскольку наша Земля—тоже одна из планет, многие вопросы географии и геофизики получают свое разрешение только благодаря сравнительному изучению других небесных тел. Обращаясь к историческим примерам, напомним, что важнейшая в свое время проблема формы Земли возникла отчасти из аналогии с шарообразной формой Луны, а критерием для ее окончательного решения послужила круговая форма земной тени, наблюдаемой на диске Луны при лунных затмениях. Вращение планет вокруг оси, обнаруженное еще в раннюю эпоху телескопических наблюдений, явилось одним из важнейших доводов в пользу правильности идеи суточного вращения Земли. Далее, явно сгруппированная форма таких планет, как Юпитер и Сатурн, навела Ньютона на мысль построить теорию фигур небесных тел и на ее основе указать, что Земля имеет форму сжатого сфероида, хотя геодезические данные того времени, казалось, приводили к противоположному выводу. Многие важные вопросы атмосферной оптики были поставлены и решены в связи с проблемами, выдвигаемыми изучением планет. Недаром значительная часть исследований по оптике

земной атмосферы выполняется астрономами, преимущественно теми, кто занимается проблемами планетоведения.

Правда, и само дело исследования планет в значительной мере базируется на аналогиях с тем, что мы имеем в столь хорошо знакомой нам земной обстановке. Например, мы охотно склоняемся к мысли, что белые покровы на Марсе—снег, а зеленые области—растительность, именно потому, что так обстоит дело у нас на Земле. Поэтому будет вполне правильно сказать, что планетоведение и геофизика находятся между собою в самой тесной связи. Иначе, конечно, не может и быть, поскольку Земля—одна из планет, и если бы не коренное различие методов исследования, то географию и геофизику нужно было бы рассматривать как соответствующие частные разделы общей дисциплины—планетоведения. Правда, сейчас различия в реальных возможностях и в степени детальности исследования настолько велики, что очень значительная часть науки о Земле с наукой о других планетах вовсе не соприкасается. Но наряду с этим есть и такие вопросы, где обе эти ветви знания тесно переплетены.

Первый пример этому—теория фигуры и внутреннего строения, которая является общей для всех планет. Отметим, что при построении гипотез, описывающих внутреннее строение земного шара, наше местонахождение на его поверхности дает сравнительно мало преимуществ. В частности, гипотезы, согласно которым центральная часть Земли занята металлическим ядром, состоящим из железа, основаны не столько на каких-либо исследованиях земного шара, сколько на аналогии с химическим и минералогическим составом метеоритов. Конечно, анализ таких явлений, как распространение сейсмических колебаний внутри земного шара, приливные деформации твердой оболочки Земли и движение земных полюсов, дает некоторый материал для суждения о внутреннем состоянии нашей планеты. Несмотря на это, гипотезы, описывающие внутреннее состояние земного шара, не намного достовернее, чем аналогичные гипотезы, построенные для других планет.

Другим примером тесного сочетания вопросов планетоведения и геофизики могут служить фотометрическое исследование поверхности и атмосферы планет, с одной стороны, и проблема видимости далеких предметов ландшафта,—с другой. Обе эти проблемы, в сущности говоря, представляют собою прямое и обратное решение одной и той же задачи, а поэтому естественно, что их решение основано на применении одинакового теоретического аппарата и подобного экспериментального материала. Астроном определяет из наблюдений яркость и цвет различных участков на планетном диске и по их значениям ищет физические свойства атмосферы и поверхности планеты. При расчете видимости объектов ландшафта с самолета, напротив, свойства земной поверхности и атмосферы

предполагаются заданными, а предметом расчета являются яркость и цвет фона и расположенных на нем объектов, как они видны сквозь атмосферу, что и определяет возможность или невозможность обнаружить данный объект путем визуального наблюдения или фотографирования.

Вторая большая проблема, тесно связанная с вопросами физического планетоведения,—это проблема обитаемости других миров. Смутные догадки о населенности небесных светил мы находим уже у писателей античной эпохи. Но лишь после того как Коперником было установлено космическое тождество Земли и планет, идея эта получила надлежащее астрономическое обоснование. Впервые ясно сформулированная в блестящих сочинениях Джордано Бруно, она в течение четырех последующих веков служила предметом самых острых и оживленных споров.

Практическое планетоведение наших дней включает в круг своего ведения только планеты солнечной системы. Среди последних по крайней мере две могут оказаться ареной развития жизни. Это—Марс и Венера. В настоящее время мнение о том, что сезонные изменения в окраске темных областей Марса вызываются появлением какого-то растительного покрова, разделяется многими исследователями. Многочисленные статьи и выступления Г. А. Тихова и его учеников, имеющие целью защиту такой точки зрения и определяющие направление, получившее название «астроботаники», являются иллюстрацией того интереса, который вызывает проблема обитаемости планет.

Конечно, в результате дальнейших исследований может оказаться, что суждения о наличии растительности на Марсе были слишком оптимистичны; нельзя отрицать возможность того, что в нашей солнечной системе в настоящее время помимо Земли нет ни одной обитаемой планеты. Но если даже окажется, что дело обстоит именно так, то идея множественности населенных миров этим ни в коей мере не будет затронута. Ясно, что столь тонкое и сложное явление, как жизнь, может возникать и развиваться лишь при наличии специальных, особо благоприятных к тому условий, встречающихся во вселенной далеко не часто. Но как бы редко эти условия ни осуществлялись, в беспредельных просторах мироздания должно быть бесчисленное количество планет, для которых они выполнены и на которых развитие живых организмов достигло соответствующего этим условиям масштаба и уровня.

Третьей важнейшей проблемой, стоящей перед всем комплексом естественных наук, является вопрос о происхождении, развитии и будущей судьбе Земли. Давно осознано, что проблема эта не может быть решена изучением только самой Земли (например, на основе тех материалов, которые дают география и геология). Только через изучение солнечной системы в целом, через

сопоставление с другими планетами можно делать попытки построить научно обоснованную историю Земли, начиная с момента ее зарождения.

Со времени первых работ Ломоносова, Канта, Гершеля и Лапласа научная мысль упорно работает над созданием космогонической теории, выдвигая различные схемы образования планет и спутников. На этом трудном поприще проделана большая и плодотворная работа. Иллюстрацией этому могут служить те идеи, которые выдвинули в своих работах наши крупнейшие ученые—В. А. Амбарцумян, В. Г. Фесенков, О. Ю. Шмидт и другие. В частности, теория происхождения солнечной системы, разработанная О. Ю. Шмидтом, послужила основой для широкого обмена мнениями и общего оживления космогонических исследований в нашей стране.

Последнее, но может быть наиболее важное значение планетоведения состоит в том, что оно заблаговременно подготавливает нам картину той части вселенной, которую человечеству рано или поздно суждено освоить не только умозрительно, но и чисто практически. Великая проблема путешествия на другие планеты, о которой грезил мечтатели и фантазеры всех веков, в настоящее время перешла из области фантастики в область точного знания. Принципы реактивного движения, т. е. перемещения за счет отдачи, научно обоснованный и указанный К. Э. Циолковским как единственный способ управляемого полета в пустоте безвоздушного мирового пространства, уже сейчас нашел широкое практическое применение и как замена винта в скоростных реактивных самолетах, и как средство перебрасывать ракеты-снаряды на огромные расстояния, и как способ закидывать ракеты с автоматическими регистрирующими приборами в недоступные ранее слои атмосферы, на высоты до 500 км.

Первый блестящий успех в области практического осуществления идей астронавтики, выразившийся в удачном запуске в октябре и ноябре 1957 г. в СССР двух искусственных спутников Земли, дает основание утверждать, что уже недалеко то время, когда человек достигнет Луны, а вслед за нею—Марса, Венеры и других планет. А раз он достигнет их, то и освоит, т. е. сумеет извлечь для себя из этих, пока столь далеких миров какую-то практическую, хозяйственную пользу. Принимая в расчет ускоренно возрастающие темпы технического прогресса в нашу эпоху, можно надеяться, что первый полет на Луну совершится еще в текущем столетии, быть может, даже на глазах у нашего поколения. Но когда бы это ни случилось, запасы сведений, накопленные планетоведением, сразу получат ценнейшее практическое применение. Современные исследователи планет даже представить себе не могут, какие многочисленные, разнообразные и ответственные запросы предъявит к ним практика с того дня, когда первый ра-

кетный «звездолет» вынесет первых «звездоплывателей» за пределы земной атмосферы.

Физическое исследование планет, с одной стороны, легче, чем исследование звезд, а с другой,—труднее. Преимущество здесь состоит в относительной близости планет к Земле. Это позволяет видеть их в телескопы как довольно крупные диски. На этих дисках можно различать разнообразные детали, перемещение которых позволяет легко следить за вращением планеты вокруг оси. Общий характер деталей—пятен и полос на твердой поверхности, облаков и туманов, плавающих в атмосфере, а также их изменение со сменой сезонов и под влиянием других факторов—дает обильный материал для суждения о природе как планеты в целом, так и о характере отдельных участков на ней. Многие вопросы, например определение фигуры небесного тела, изучение его вращения вокруг оси или распределения яркости по его диску, которые для звезд решаются с большим трудом и только путем сложных косвенных методов, для планет нередко получают быстрое и простое решение.

К несчастью, этой легкостью можно воспользоваться далеко не всегда. Например, вращение Венеры вокруг оси до сих пор остается для нас загадкой, хотя эта планета и является самым близким к нам небесным телом после Луны; размеры, фигура и распределение яркости по поверхности неизвестны для Плутона, почти для всех спутников, а также для астероидов. Таким образом, преимущества, которыми пользуется планетная астрономия перед звездной, оказываются довольно ограниченными; во всяком случае они распространяются лишь на некоторые объекты исследования.

Зато основная трудность, встающая на пути физического исследования планет, имеет универсальный характер. Основным методом исследования природы Солнца, звезд и туманностей является спектроскопия. Этот мощный метод научного анализа позволяет нам с полной достоверностью установить химический состав и физическое состояние материи на отдаленнейших небесных объектах. Но в отношении близких планет он почти неприменим.

Дело в том, что в отличие от звезд и туманностей планеты и спутники в области спектра, обычно используемой для наблюдений, собственного излучения не дают. Их свет—это только отраженные от твердой поверхности или рассеянные в толще атмосферного аэрозоля лучи Солнца. Поэтому и спектр всякой планеты—это прежде всего солнечный спектр с присущим ему комплексом фраунгоферовых линий. Отражение от поверхности планеты не добавляет к этому комплексу линий ничего нового, оно в лучшем случае проявляется в некотором изменении распределения интенсивности в непрерывном спектре и в поляризации отражаемого лучистого потока. Правда, движение планеты

относительно Земли вызывает смещение спектральных линий согласно принципу Доплера. Для изучения движения самой планеты это явление не используется, поскольку астрометрические методы фиксации положения планеты на небесной сфере дают результаты и более точные и более удобные. Но зато в области исследований вращения планет вокруг оси спектроскопический метод находит ценное применение.

Другая не менее важная область его приложения—это исследование химического состава планетных атмосфер. Проходя толщу атмосферы дважды: на пути от Солнца к поверхности и от поверхности к наблюдателю, поток лучей испытывает селективное поглощение, которое выражается в появлении полос поглощения в спектре. Для некоторых планет, например для Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна, эти полосы очень интенсивны и известны еще с прошлого столетия, хотя дать им должное истолкование удалось лишь недавно. В спектре Марса и Венеры полосы поглощения открыты лишь за последнее время, так как они лежат в инфракрасной области спектра и очень трудны для наблюдения. Подавляющее большинство членов солнечной системы, будучи лишено атмосфер, дает спектр, ничем не обогащенный по сравнению с солнечным; методы спектрального анализа к ним, очевидно, неприменимы.

Второе затруднение в исследовании планет, особенно крупных, состоит в их малочисленности. Звездный астроном имеет в своем распоряжении неопределенно большое число объектов. Это позволяет ему широко пользоваться методами статистики, отделяя от огромной массы светил исключительное и надежно устанавливая то, что является нормальным или средним. Иначе обстоит дело для планет. Так называемые большие планеты все различны, каждая из них представляет собою уникальный образец, подобного которому мы на небе больше не наблюдаем. Эта исключительность, эта приписываемая планетным мирам уникальность, является, конечно, кажущейся: она проистекает, с одной стороны, из малочисленности состава самой солнечной системы, а с другой—от ограниченности наших наблюдательных средств, которые не позволяют нам наблюдать и изучать другие планетные системы Галактики. Принцип массовости, статистику как метод научного исследования в пределах нашей солнечной системы можно применить только к астероидам, общая численность которых составляет тысячи.

Затруднения, указанные выше, а также многие другие препятствия и осложнения, встречающиеся на пути физического исследования планет, ведут к тому, что степень развития физики планет несколько отстает не только от небесной механики, но и от звездной астрофизики. Тем больше внимания мы должны уделять этому разделу астрономических знаний.

§ 2. Некоторые сведения по истории планетоведения

Планетоведение, если его понимать широко и относить к нему такие вопросы, как оценка блеска и цвета планеты, наблюдаемой невооруженным глазом, зародилось очень давно, в эпоху античного общества. Но как самостоятельный раздел астрономических знаний, обладающий своим комплексом проблем и вопросов и особой методикой для их разрешения, физика планет оформилась лишь после XVI в., когда великий переворот в астрономии, осуществленный Коперником, создал почву для исследования природы планет. Поскольку последние были признаны небесными телами, аналогичными Земле, естественно вставал вопрос о подобии не только в отношении положения во вселенной и характера движения, но и в области физической природы. По аналогии с Землей естественно было предположить наличие на планетах гор, океанов, атмосферы и, наконец, обитателей. Такого рода идеи весьма ярко прозвучали уже в произведениях Джордано Бруно.

Будучи величайшим мыслителем-материалистом своей эпохи, Бруно вел энергичную и непримиримую борьбу против теологии и схоластики. Он не только распространял и защищал новую тогда систему Коперника, но и пошел значительно дальше. Высказанные им замечательные идеи относительно строения и развития бесконечной вселенной в известной мере предвосхитили выводы науки позднейших веков. К числу этих идей относится и утверждение, что планеты представляют собою другие «миры», т. е. объекты, с физической точки зрения подобные нашему земному «миру». Так, в главном произведении Бруно по вопросам астрономии, озаглавленном «О бесконечности вселенной и мирах», мы читаем:

«Поскольку вселенная бесконечна, необходимо, чтобы существовало множество солнц. Вокруг этих солнц могут вращаться земли, имеющие большие или меньшие массы, чем наша Земля... Существуют, следовательно, бесчисленные солнца, бесчисленные земли, которые кружатся вокруг своих солнц, подобно тому, как наши семь планет кружатся вокруг нашего Солнца... Звезды, которые мы видим за пределами Сатурна,... являются бесчисленными солнцами или огнями, вокруг которых движутся в свою очередь невидимые для нас земли... Отсюда мы можем заключить, что между бесчисленными звездами существует множество других лун, множество других миров, подобных нашему... Эти тела существуют, движутся, живут, развиваются, вступают во взаимодействие, производят, питают и поддерживают своих обитателей и животных... На этих мирах обитают живые существа, которые возделывают их».

За эти и многие другие «еретические» мысли великий бунтарь и мыслитель погиб на костре в 1600 г. Но через десять лет после его мученической кончины другой гигант той же эпохи—Галилео

Галилей изобрел телескоп и этим вывел проблемы планетоведения из области чистой теории и абстрактного умозрения на практическую почву.

Общеизвестно, что применение телескопа позволило Галилею сделать большое количество открытий прежде всего в области солнечной системы. Он обнаружил горы, равнины и другие элементы рельефа Луны, фазы Венеры, диски Марса, Юпитера и Сатурна, четыре главных спутника Юпитера, признаки кольца Сатурна. В то время представление о планетах как о твердых, непрозрачных, несамосветящихся телах с матовой рассеивающей поверхностью еще не было установлено, и Галилей его утверждал, последовательно обсуждая и отвергая различные другие точки зрения. Обширный и интересный материал по этому вопросу мы находим в его знаменитом сочинении «Диалоги о двух главнейших системах мира».

В дальнейшем планетоведение развивалось вместе с другими проблемами астрономии и в меру тех возможностей, какие представляло непрерывное усовершенствование наблюдательной техники. Так, уже в 1655 г. Х. Гюйгенс распознал в непонятном объекте, замеченном подле Сатурна еще Галилеем, плоское кольцо, окружающее эту планету. Он же открыл самый крупный спутник Сатурна—Титан. Несколько позднее Доменико Кассини заметил в кольце щель, носящую его имя, а также открыл еще четыре спутника. Он же обратил внимание на сжатие дисков Юпитера и Сатурна, обнаружил пятна на Юпитере и Марсе, видимое движение которых доказывало вращение этих планет вокруг оси и позволяло определить периоды этого вращения.

Подобного рода наблюдения и открытия продолжались и в XVIII в. На середину этого столетия приходится и столь важное для физики планет событие, как открытие атмосферы Венеры, сделанное М. В. Ломоносовым в результате наблюдений над прохождением этой планеты перед солнечным диском, имевшим место 26 мая (6 июня по н. ст.) 1761 г.

Это прохождение было первым явлением такого рода, широко наблюдавшимся учеными разных стран. Основной целью наблюдений было определение солнечного параллакса, значение которого в то время было известно еще с очень небольшой точностью. Ломоносов горячо откликнулся на это крупнейшее для того времени международное научное мероприятие. Благодаря его усилиям ученые России организовали точные определения моментов контактов прохождения в трех пунктах: в Петербурге (на академической обсерватории), Иркутске и Селенгинске. В последние два города были отправлены весьма трудные по тем временам экспедиции. Кроме того, русское правительство оказало большую помощь и поддержку французской экспедиции, возглавлявшейся Шаппом д'Отерошем и работавшей в Тобольске.

Сам Ломоносов вел наблюдения у себя дома с целью изучить физическую сторону явления. Следя за последовательным вхождением Венеры на солнечный диск, он заметил, что часть диска планеты, находившаяся еще на фоне неба, была окружена тонкой световой каймой, по яркости близкой к яркости фотосферы,— феномен, который мы теперь называем «явлением Ломоносова». То же наблюдалось и при схождении Венеры. Ломоносов совершенно правильно указал, что замеченная им кайма создается солнечными лучами, обогнувшими шар Венеры благодаря рефракции в окружающей его газовой оболочке, и пояснил эту мысль чертежом, на котором представлен ход преломленных лучей. Как следствие из этого Ломоносов сделал вывод, что «планета Венера окружена знатною воздушною атмосферою, таковою (лишь бы не большею), какова обливается около нашего пара земного». Подробности, относящиеся к этим явлениям, читатель найдет в § 50.

Труды Ломоносова о прохождении Венеры были уже в июле 1761 г. изданы отдельной брошюрой на русском языке, а вскоре вслед за тем вышло и немецкое издание этого сочинения. Надо полагать, что последнее было разослано академиям и другим научным учреждениям различных государств. Тщательное сопоставление текста труда Ломоносова с другими описаниями прохождения, в то время довольно многочисленными, показывает, что приоритет Ломоносова здесь совершенно бесспорен. Тем более удивительно, что и сейчас еще находятся авторы, склонные сомневаться в этом совершенно ясном вопросе.

Во второй половине XVIII в. много ценных открытий сделал знаменитый английский наблюдатель Вильям Гершель. Как известно, он открыл планету Уран и двух ее спутников, а также ряд новых спутников Сатурна. Он неутомимо работал над изучением планетных дисков, измеряя сжатия, периоды вращения и др. Он первым заметил сезонные изменения полярных шапок Марса и удлинение рогов серпа Венеры.

Другим выдающимся наблюдателем той же эпохи был Иоганн Шретер, более 30 лет потративший на изучение топографии Луны и планет на своей частной обсерватории в Лилиентале (Германия).

XIX в. принес с собой существенный прогресс в области небесной механики и астрометрии. На многих обсерваториях были поставлены точные микрометрические наблюдения планетных спутников, начались измерения диаметров планетных дисков, чему способствовала постройка все более крупных телескопов. Из работ этой эпохи отметим наблюдения Германа Струве в Пулковке, которые во многом сохраняют свою ценность и в настоящее время. Новый прибор—гелиометр, изобретенный немецким астрономом Бесселем, позволил повысить точность определений размеров и сжатия планет. Благодаря этим работам значительно

возросла точность данных относительно диаметров, фигур, масс и плотностей больших планет.

Наличие крупных телескопов позволило сильно расширить исследования и по топографии планет. Так, весьма ценные исследования этого рода были выполнены на обсерватории Московского университета Ф. А. Бредихиным. Большую известность получили исследования итальянского астронома Скиапарелли, в особенности наблюдения Марса, которые в 1877 г. привели его к открытию так называемых «каналов». Эти исследования были в дальнейшем продолжены Антониади во Франции и Ловеллом в Америке. Последний построил для исследования планет специальную обсерваторию около города Флагстаффа (Аризона, США), где проведены долготлетние систематические наблюдения Марса и других планет.

Быстрое развитие астрофизики во второй половине XIX в. дало возможность применить к исследованию планет новые методы: фотографию, спектроскопию, радиометрию.

Некоторые вопросы, относящиеся к фотометрии (например, распределение яркости по лунному диску), обсуждались уже в трудах Галилея. Однако законченную научную формулировку они получили только в двух знаменитых трактатах основоположников современной фотометрии Ламберта и Бугера в XVIII в. В XIX в. вопросы специально астрономической фотометрии, в том числе и относящиеся к телам солнечной системы, получили широкое развитие в трудах В. К. Церасского в России Целльнера в Германии, Бонда в США и других.

Особенно большой интерес представляют сочинения профессора Петербургского университета Ф. Ф. Петрушевского, в которых на примере Луны впервые выдвигается и обосновывается идея исследования природы покрова несамосветящегося небесного тела путем параллельного сопоставления с земными образцами по нескольким оптическим характеристикам одновременно. Для выполнения таких сопоставлений, согласно идеям Петрушевского необходимы «наблюдения и измерения фотометрические, измерения фотоспектральные, наблюдения поляризационные и измерения силы химических лучей...», которые «получат особенную важность, когда будут исследованы земные тела по той же программе», а потому «следует продолжать подобные исследования над горными породами, как такими, каковыми они встречаются на поверхности земли, т. е. покрытыми лишаями, окислами железа и других металлов, так и обнаженными... Спектральные наблюдения такого рода могут быть производимы как в кабинетах, так и в природе над различными породами и почвами, водою и снежными вершинами и даже над лесами и лугами».

Это было началом того направления исследований в области планетоведения, которое позднее получило широкое развитие в трудах многих советских исследователей.

Первые шаги в области фотометрии планет и спутников были сделаны Пиккерингом в США, Вислиценусом в Германии и В. Г. Фесенковым в Харькове. С тех пор Харьковская обсерватория стала одним из центров планетной фотометрии, причем на ней впервые была применена фотографическая фотометрия в разных участках спектра (это, впрочем, относится уже к текущему столетию).

Применение фотографии к исследованию планет и спутников началось с того, что в 1840 г. Дрэнпером еще по старинному методу дагерротипии был получен первый удачный снимок Луны. В дальнейшем начали фотографировать также диски планет. В 1909—1911 гг. Г. А. Тихов впервые применил к планетам метод фотографирования в узких спектральных зонах, что дало в руки исследователей новый и весьма эффективный метод изучения поверхности и атмосферы планет.

Первые опыты по спектроскопии Луны и планет, предпринятые еще в 70-х годах XIX в., были основаны на применении визуальных спектроскопов и не привели к сколько-нибудь существенным успехам. Зато ценные результаты дали фотографирование спектров и последующее точное измерение спектрограмм. Так, в 90-х годах этим методом А. А. Белопольский в Пулковке, Деландр в Медоне, а также Килер и Кемпбелл на обсерваториях США успешно исследовали вращение таких объектов, как разные зоны Юпитера и кольца Сатурна, по смещению линий, вызванному эффектом Доплера. В это же примерно время были открыты полосы в спектрах планет юпитеровой группы, вызванные поглощением в газах планетных атмосфер.

В XIX в. были выполнены также первые работы по применению к Луне методов поляриметрии (Араго, 1811) и радиометрии (Ланглей, Вери).

Все эти чисто физические методы исследования получили надлежащее развитие уже в XX в., когда техника астрофизических измерений и методика их теоретической интерпретации достигли достаточно высокого уровня.

Большое значение для развития планетоведения имело применение мощных астрономических инструментов, как, например, больших рефракторов Пулковской, Иерксской и Ликской обсерваторий и, особенно, больших рефлекторов обсерваторий Маунт Вилсон и других. Именно это позволило выполнить на современном уровне термоэлектрические определения температуры Луны и планет, получить прекрасные снимки планет в различных участках спектра, детально исследовать спектры поглощения атмосфер многих планет при помощи спектрографов с большой дисперсией. В СССР некоторые исследования планет с помощью рефлекторов были предприняты на Крымской обсерватории (Г. А. Шайн, Н. А. Козырев).

В области планетных исследований совершенно новые пути открываются в связи с использованием методов радиоастрономии. Уже выполнена радиолокация Луны, изучается собственное излучение лунной поверхности в радиодиапазоне, открыто радиоизлучение Юпитера и Венеры, а также Марса.

В настоящее время на земном шаре нет ни одной обсерватории, которая была бы специально предназначена для планетных исследований. Наблюдения планет ведутся попутно с другими небесными объектами при помощи приборов, имеющих общее назначение и в основном используемых для работ по звездной астрономии. Тем не менее можно указать некоторые учреждения, в работе которых исследование планет занимает если не главное, то по крайней мере весьма существенное место. Сюда прежде всего относится Ловелловская обсерватория, о которой мы уже говорили выше, где после смерти ее основателя Персифаля Ловелла работают как его старые сотрудники, так и ученые молодых поколений. Плодотворную работу по планетам развернул Д. Койпер на обсерватории Мак Дональд в США. В Европе выделяются исследования, ведущиеся французскими астрономами на обсерватории Пик-дю-Миди в Пиренеях. Туда по инициативе Лио был перенесен из Медона (под Парижем) 33-дюймовый рефрактор. В прекрасных горных условиях этот старый инструмент позволил последователям Лио—Дольфюсу, Камиселю и другим—получить много новых результатов.

Видное место в некоторых разделах планетоведения (Луна, лунные затмения) занимают исследования чехословацких ученых.

В СССР многолетнюю и весьма успешную работу по изучению планет ведет коллектив сотрудников Харьковской обсерватории, возглавляемой Н. П. Барабашевым. Г. А. Тихов энергично продолжает свои исследования по обитаемости Марса и других планет в Алма-Ате, где он организовал для этой цели специальное научное учреждение—Сектор астроботаники Академии наук Казахской ССР. В течение четверти века изучением планет занимался также коллектив сотрудников фотометрической лаборатории обсерватории Ленинградского университета, в состав которого входили Н. С. Орлова, Л. Н. Радлова, Н. Н. Сытинская, а также автор этой книги.

Говоря о путях развития планетоведения, не следует оставлять без внимания и скромные, но многочисленные труды астрономов-любителей. Регулярные наблюдения за переменами на поверхности Юпитера, многочисленные определения периода оборота различных деталей на этой планете, описания сезонных перемен и облачных образований на Марсе, наблюдения блеска Урана, Нептуна и астероидов и многое другое—вот что мы находим в статьях и сообщениях, напечатанных наблюдателями-добровольцами в различных астрономических изданиях. Работа астрономов-

любителей в области планетоведения у нас возглавляется и руководится отделом планет Коллектива наблюдателей Всесоюзного астрономо-геодезического общества, в Англии—специальными секциями Британской астрономической ассоциации, во Франции—секцией Луны и планет Французского астрономического общества и аналогичными организациями—в других странах.

§ 3. Общий обзор солнечной системы

В деле изучения планет, как и во всякой другой области естествознания, первым шагом является овладение подлежащим исследованию материалом, т. е. регистрация и учет объектов исследования и установление для них надлежащей номенклатуры.

В настоящее время из состава солнечной системы нам известны девять больших планет, 1622*) малые планеты или астероида (планетоида) и 31 спутник больших планет. Перечень этот, вероятно, является неполным даже в отношении больших планет. Отсутствие какой-либо крупной планеты с орбитой, расположенной к Солнцу ближе, чем орбита Меркурия, в настоящее время может считаться общепризнанным, хотя при полных солнечных затмениях и теперь еще предпринимаят иногда поиски близких к Солнцу интрамеркуриальных небесных тел. Зато в отношении того, что Плутон является последней планетой солнечной системы, у нас нет никакой уверенности, и здесь возможны дальнейшие открытия. В отношении же астероидов и спутников совершенно бесспорно, что нам известны далеко не все объекты этого рода; новые астероиды открываются ежегодно, находки новых спутников, хотя и не столь частые, продолжают и в наши дни.

В состав солнечной системы входят также многочисленные кометы, а также метеорные потоки. Существует весьма обоснованное мнение, что все кометы и вся метеорная материя полностью принадлежат солнечной системе; во всяком случае, нельзя указать ни одного объекта, для которого галактическое, т. е. внесолнечное, происхождение было бы бесспорным. Указания на кометы с гиперболическими орбитами и на метеоры с гиперболическими скоростями хотя и имеются, но не являются достаточно достоверными. Однако изучение природы комет и метеоров к области планетоведения не относится, почему мы им здесь заниматься не будем.

Как известно, планеты обозначаются собственными именами. Для пяти больших планет, известных уже в древности, эти наименования, сложившиеся в эпоху античного общества, представляют

*) Число окончательно зарегистрированных астероидов на 1 января 1957 г.

собою имена главных персонажей—богов и богинь—римско-греческой мифологии. При новых открытиях планет, осуществленных уже современной астрономией, эта старая традиция в номенклатуре была сохранена, и позже открытые планеты также носят имена, заимствованные из мифологии. Исключение составляет Земля: причисленная к числу планет Коперником, она сохранила те названия, которые она имела на языках различных народов до установления гелиоцентрической системы.

Религия у древних римлян и греков была, в общем, одинаковая, но имена богов и богинь разные. Это породило некоторую двойственность и в наименованиях планет. Общеупотребительны названия л а т и н с к и е, но при составлении прилагательных, включающих в себя корни греческих слов, считается правильным пользоваться греческими наименованиями планет. Аналогично тому, как широты и долготы точек земной поверхности называют географическими (термин, составленный из греческих корней *ге*—Земля и *графо*—пишу, описываю), соответствующие координаты для Луны называют селенографическими (Селена—богиня Луны у греков), для Марса—ареографическими (Арей или Арес—греческое наименование бога, называвшегося у римлян Марсом) и т. д. Некоторые из составленных таким путем терминов звучат очень непривычно; например, координаты точек на Сатурне пришлось бы называть «критографическими». Поскольку иногда встречающийся термин «сатурнографический» с филологической точки зрения считается неправильным, в таких случаях проще всего пользоваться общими терминами типа «планетографический», «планетоцентрический» и т. д.

В табл. 1 приводится список больших планет вместе с их латинскими и греческими наименованиями, старинными условными значками и некоторыми другими данными.

В отношении спутников больших планет единообразия в номенклатуре нет. Большинство спутников имеет собственные имена, заимствованные из мифологии, но для спутников Юпитера вместо этого принято обозначение римскими цифрами, а для четырех главных спутников этой планеты, открытых Галилеем и потому называемых «галилеевыми» (сам Галилей предлагал для них наименование «медицейские звезды», не получившее распространения), введены также собственные имена.

Для обозначения астероидов установлены нижеследующие правила. Всякая вновь найденная малая планета получает временное обозначение, составленное из номера года и двух латинских букв, отражающих порядок регистрации открытий в данном году: первая буква означает половину месяца, в которую было сделано открытие (первая половина января—А, вторая половина—В, первая половина февраля—С и т. д.), а вторая буква соответствует номеру открытия в этой половине. Например, обозначение

Таблица 1

Перечень больших планет солнечной системы
(в порядке расстояния от Солнца)

№	Название			Условный знак	Открыта		Количество спутников
	Принятое на русском языке	Латинское	Греческое		Когда	Кем	
1	Меркурий	Меркуриус	Гермес	☿	—	Древними	0
2	Венера	Венус	Афродита	♀	—	»	0
3	Земля	Теллус	Гея	♁	(1543)	(Коперник)	1
4	Марс	Марс	Арес	♂	—	Древними	2
5	Юпитер	Юпитер (род. надеж Иовис)	Зевс	♃	—	»	12
6	Сатурн	Сатурнус	Кронос	♄	—	»	9
7	Уран	Уранус	Уран	♅	1781	В. Гершель	5
8	Нептун	Нептунус	Посейдон	♆	1846	Левеверье, Адамс, Галле	2
9	Плутон	Плутон	Гадес	♇	1930	Томбо	0

1927 SK означает 11-ю планету, найденную в первой половине октября 1927 г. Однако одиночное наблюдение еще не считается открытием, так как оно не позволяет вычислить орбиту и тем отождествить планету в дальнейшем. Поэтому планета включается в список известных астероидов только после того, как для нее получены три полных наблюдения (определение обеих координат α и δ), по ним вычислены элементы эллиптической орбиты, с их помощью составлена эфемерида и эта эфемерида проверена четвертым наблюдением, выполненным в следующее противостояние. После того как все это сделано, планета получает окончательный номер в порядке нумерации, ведущейся со времени открытия первого астероида, и ее условным знаком принимается кружок со вписанным в него номером (у нас по техническим причинам кружок заменен скобками). Кроме того, лицо, открывшее планету, получает право присвоить ей наименование по своему выбору.

Вначале имена для астероидов, по аналогии с большими планетами, брали из греко-римской мифологии. Так, первая планета, открытая Пиацци в 1801 г., была названа Церерой, вторая, найденная Ольберсом в 1802 г., получила название Паллады, третья—Юноны, четвертая—Весты и т. д. Однако в дальнейшем открытия сделались столь многочисленными, что ограничиться только мифологическими именами оказалось невозможно. Поэтому стали применять обычные женские имена, например (45) Евгения, (101) Елена, (110) Лидия, (265) Анна, (310) Маргарита, (304) Ольга, (675) Людмила, (769) Татьяна, (779) Нина; названия стран и горо-

дов: (232) Россия, (334) Чикаго, (397) Вена, (434) Венгрия, (487) Венеция, (753) Тифлис, (762) Пулкова, (780) Армения, (787) Москва, (862) Франция, (1125) Китай, (1316) Казань и т. д.; наименования, связанные с научными методами: (443) Фотография, (566) Стереоскопия, и, наконец, имена, данные в честь древних и современных ученых: (697) Галилея, (786) Бредихина, (807) Цераская, (857) Глазенаца, (1004) Белопольская, (1129) Неуймина, (1134) Кеплер, (1322) Коперник, (1572) Идельсона, и политических деятелей: (852) Владилена, (981) Мартина.

Большое количество новых малых планет было открыто в Симеизе (Крым), где на поприще поисков астероидов особенно прославились С. И. Белявский и Г. Н. Неуймин, обнаружившие и обеспечившие орбитами свыше 400 неизвестных ранее планет.

Необходимость держать под непрерывным наблюдением и обеспечивать эфемериды столь большое количество объектов потребовала специальной организации теоретической и наблюдательной работы в этой области, что и составляет предмет так называемой «Службы малых планет», ведущейся на коллективных началах рядом обсерваторий и научных институтов. Руководящим центром этого сложного и большого дела является Институт теоретической астрономии Академии наук СССР, где работа по малым планетам сосредоточена в специальном отделе, возглавляемом Н. С. Самойловой-Яхонтовой.

§ 4. Элементы орбит планет и спутников

Общий план солнечной системы с точки зрения теоретической астрономии определяется элементами орбит планет и спутников. Напомним, какие величины входят в число таких элементов.

Первые два элемента определяют положение плоскости орбиты. Это будут:

1. *Наклон i* , представляющий собою двугранный угол, образуемый плоскостью планетной орбиты с плоскостью эклиптики. В проекции на небесной сфере плоскость орбиты дает большой круг, пересекающийся с большим кругом эклиптики в двух точках, называемых *узлами*. Та из этих точек, в которой планета переходит из южного полушария в северное, называется *восходящим узлом* и обозначается Ω ; противоположная точка называется *нисходящим узлом* Υ . Диаметр сферы, соединяющий эти точки и, следовательно, параллельный линии пересечения плоскостей орбиты и эклиптики, называется *линией узлов*. Очевидно, что наклон i представляет собою сферический угол при точке узла, образуемый эклиптикой и проекцией орбиты.

В качестве значения i берется тот из двух углов, который образован дугами эклиптики и орбиты, направленными соответственно в сторону движения Солнца и планеты. Поэтому если движение

светила прямое, т. е. происходит в ту же сторону, что и движение Земли по ее орбите, то наклон i будет лежать в первой четверти, в то время как в случае обратного движения этот угол будет заключаться между 90 и 180°.

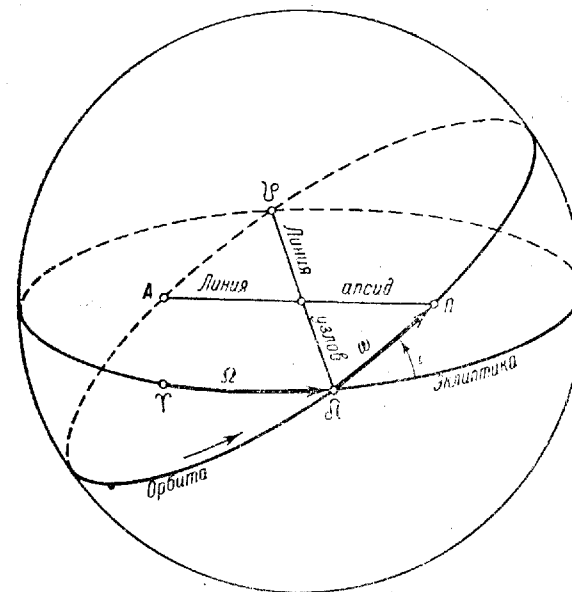


Рис. 1. Элементы планетной орбиты.

2. *Долгота восходящего узла Ω* . Так называется дуга эклиптики, заключенная между точкой весеннего равноденствия Υ и точкой восходящего узла.

Элементы i и Ω однозначно определяют как положение плоскости орбиты в пространстве, так и положение ее проекции на небесной сфере. Положение этой плоскости можно задать также и другими величинами, например эклиптикальными или экваториальными координатами того полюса орбиты, при наблюдении с которого движение светила по орбите происходит в направлении, обратном часовой стрелке.

Следующие два элемента определяют размеры и форму планетной орбиты. Это будут:

3. *Большая полуось эллипса a* , или среднее расстояние планеты от Солнца. Этот элемент принято выражать в астрономических единицах (сокращенно а. е.), т. е. относить к большой полуоси земной орбиты как к единице. Поскольку международно принятым значением экваториального горизонтального параллакса Солнца остается прежнее число 8", 80, астрономическую единицу мы должны принимать равной $1,495 \cdot 10^8$ км.

4. *Эксцентриситет эллипса* $e = \sqrt{a^2 - b^2}$. Часто вместо величины e задают так называемый *угол эксцентриситета* φ , определяемый соотношением

$$\sin \varphi = e.$$

Можно также задать малую полуось b . Напомним, что ближайшая к Солнцу вершина Π орбиты планеты называется *перигелием*, а наиболее удаленная от Солнца A — *афелием*. Отрезок прямой, соединяющий планету с Солнцем, называется *радиусом-вектором*. Значения радиуса-вектора в точке перигелия и афелия достигают максимального и минимального значений, определяемых равенствами:

$$r_{\text{макс}} = a(1 + e); \quad r_{\text{мин}} = a(1 - e),$$

откуда следует, что отношение максимального расстояния планеты от Солнца к минимальному будет:

$$\frac{r_{\text{макс}}}{r_{\text{мин}}} = \frac{1 + e}{1 - e}.$$

Наименования вершин эллипсов орбит спутников строятся из сочетаний приставок «пери» (близко) и «ап» (далеко) с названием планеты. Так, для лунной орбиты эти точки носят названия перигей и апогей, для спутников Юпитера — периювий и апоиювий и т. д.

Пятый элемент определяет направление большой оси эллипса в плоскости орбиты планеты. Это будет:

5. *Угловое расстояние перигелия от узла* ω , т. е. угол, составляемый большой осью орбиты с линией пересечения плоскости орбиты с плоскостью эклиптики, или дуга большого круга проекции планетной орбиты, заключенная между точкой восходящего узла и точкой проекции перигелия. Иногда вместо ω задается сумма $\Omega + \omega$, называемая *долготой перигелия* и представляющая собою пополю дугу. Диаметр небесной сферы, параллельный большой оси орбиты планеты или спутника, называется *линией апсид*.

Наконец, шестой и последний элемент определяет положение самой планеты на орбите. Это будет:

6. *Эпоха прохождения планеты через перигелий* T_0 . Зная один из бесчисленного количества таких моментов, выбранный произвольно, можно получить и всякий иной момент T , если известен период P оборота планеты по орбите:

$$T = T_0 + NP,$$

где N — очередной номер прохождения, считаемый от исходного. Время оборота P , называемое *звездным оборотом* планеты, не входит в число элементов потому, что в силу третьего закона Кеплера оно однозначно определяется большой полуосью a , но крайней мере постольку, поскольку мы рассматриваем вопрос

в рамках задачи двух тел и поскольку массой планеты пренебрегаем по сравнению с массой Солнца.

Элементы больших планет приведены в табл. 2. Их изучение показывает, что система девяти больших планет обладает рядом характерных особенностей, не вытекающих из правил теоретической астрономии или законов небесной механики:

1. Все планеты движутся по орбитам в одном направлении — против часовой стрелки, если смотреть со стороны северного полюса эклиптики. Поэтому значения наклонов для всех планет лежат в первом квадранте.

Таблица 2

Элементы орбит больших планет (для эпохи 1950,0)

Планета	Среднее расстояние от Солнца		Звездный период обращения		Средний синод. период в тропических годах	Эксцентриситет e	Наклон i
	в а. е.	в млн. км	в тропических годах	в средних сутках			
Меркурий	0,387	57,8	0,24085	87,97	0,31726	0,2056	7° 0' 14"
Венера	0,723	108,1	0,61521	224,70	1,59872	0,0068	3 23 39
Земля	1,000	149,5	1,00004	365,26	—	0,0167	—
Марс	1,524	227,7	1,88089	686,98	2,13539	0,0934	1 51 00
Юпитер	5,203	777,6	11,86223	4332,59	1,09211	0,0484	1 18 21
Сатурн	9,539	1425,6	29,45772	10759,20	1,03518	0,0557	2 29 25
Уран	19,191	2868,1	84,01529	30685,93	1,01209	0,0472	0 46 23
Нептун	30,071	4494,1	164,78829	60187,64	1,00614	0,0086	1 46 28
Плутон	39,518	5896,9	248,4302	90737,2	1,00409	0,2486	17 8 38

Планета	Долгота восходящего узла Ω	Годичное изменение	Долгота перигелия 1950,0	Годичное изменение	Средняя долгота в начальную эпоху	Средняя скорость движения по орбите в км/сек	Средняя угловая скорость движения по орбите за сутки
Меркурий	47° 44' 19"	+0",71	76° 40' 39"	+0",93	33° 10' 06"	47,83	4° 5' 32",42
Венера	76 13 39	+0,54	130 52 03	+0,84	81 34 19	34,99	1 36 7,67
Земля	—	—	102 4 50	+1,03	99 35 18	29,76	59 8,49
Марс	49 10 19	+0,46	335 8 19	+1,10	144 20 07	24,11	31 26,52
Юпитер	99 56 36	+0,61	13 31 02	+0,97	316 09 33	13,05	4 55,13
Сатурн	113 13 12	+0,52	92 04 06	+1,18	158 18 14	9,64	2 0,46
Уран	73 44 24	+0,30	169 51 05	+0,96	98 18 30	6,80	42,23
Нептун	131 13 42	+0,66	44 9 31	+0,48	194 59 09	5,43	21,53
Плутон	109 39 04	+0,72	223 11 34	+0,84	165 35 26	4,82	14,28

2. Наклоны невелики, что составляет свойство *компланарности* планетной системы. Наибольшим наклоном обладает орбита Плутона— 17° .

3. Эксцентриситеты малы, так что орбиты лишь немного отличаются от окружностей. Наибольший эксцентриситет имеют орбиты Плутона ($e = 0,25$) и Меркурия ($e = 0,21$).

4. Величины больших полуосей составляют закономерную последовательность, что было замечено еще в XVIII в. Обычно приводят следующую эмпирическую формулу, известную под названием «закона» или «правила» Боде—Тиддиуса:

$$a_k = 0,4 + 0,3 \cdot 2^k.$$

Здесь a_k —значение большой полуоси, выраженное в астрономических единицах, а k —порядковый номер планеты, считая от Солнца. При этом для Венеры надо принять $k = 0$, для Земли $k = 1$, для Марса $k = 2$, для астероидов в совокупности $k = 3$ и т. д. Меркурий в эту последовательность, в сущности говоря, не укладывается, так как для него второй член должен быть равен нулю, т. е. $k = -\infty$. Замечательно, что астероиды, Уран и Плутон, открытые после того, как указанная формула была предложена, удовлетворяют ей с достаточной точностью, однако Нептун из нее выпадает.

Все перечисленные особенности должны отражать специфические обстоятельства возникновения планетной системы, и потому ответ на вопрос о причинах их наличия мы получаем в космогонических теориях, которые именно в особенностях современного строения солнечной системы ищут ключ к решению проблемы происхождения планет.

Система астероидов повторяет особенности, характерные для системы больших планет, но в менее резко выраженной форме. Движения здесь, правда, тоже все без исключения прямые, но наклоны и эксцентриситеты в некоторых случаях достигают больших значений. Так, малая планета (1373) 1935 NQ движется по орбите с наклоном $38^\circ,9$, а астероид (1566) Икар имеет орбиту с эксцентриситетом 0,83. Приведенные крайние значения i и e , вероятно, еще не являются предельными, и в будущем можно ожидать открытия малых планет с еще большими значениями этих параметров.

Орбиты подавляющего числа астероидов лежат между орбитами Марса ($a=1,5$) и Юпитера ($a=5,2$). Для 97% всех известных астероидов значения a заключены в пределах от 2,2 до 3,6. Однако благодаря значительным эксцентриситетам некоторые малые планеты в перигелии заходят за орбиту Марса, другие же в афелии оказываются дальше Юпитера. Некоторые астероиды имеют значение a большее, чем у Юпитера; крайний пример—планета (944) Ги-

дадьго, у которой $a=5,79$ и время оборота вокруг Солнца 13,9 года; в афелии Гидальго доходит почти до орбиты Сатурна. У других астероидов a меньше, чем у Марса. Минимальным значением этого параметра отличается упоминавшийся уже выше Икар, у которого $a=1,082$ и период оборота 1,12 года. Благодаря значительному эксцентриситету орбиты этот астероид в афелии оказывается дальше Марса, а в перигелии—ближе Меркурия, проходя от Солнца на расстоянии всего 0,19 а. е. За орбиту Земли заходят такие астероиды, как Аполлон, Адонис и Гермес. Последний в 1937 г. проходил от земного шара на расстоянии всего 0,004 а. е., т. е. был ближе Луны. У астероида 1949 OA вся орбита лежит внутри орбиты Марса.

Известностью пользуется астероид (433) Эрос, который в противостояниях, совпадающих с перигелием, оказывается от Земли на расстоянии всего 0,15 а. е., чему соответствует экваториальный горизонтальный параллакс $58''$. Поскольку блеск Эроса в этих условиях приближается к 6^m , наблюдения его оказываются очень удобными, почему они и используются для получения параллакса Солнца. Еще ближе от Земли, а именно на расстоянии всего в 0,11 а. е., может быть астероид (1221) Амур, но его слабый блеск (16^m) делает точные наблюдения затруднительными.

Особый интерес представляет группа из 14 малых планет, элементы орбит которых близки к элементам орбиты Юпитера. Эти астероиды движутся практически по самой орбите Юпитера, одни—впереди последнего, другие—позади, причем те и другие все время образуют с Юпитером и с Солнцем примерно равносторонние треугольники. Возможность такого движения была указана еще Лагранжем в 1772 г. как частный случай решения задачи трех тел. Практическое осуществление этого случая на примере группы астероидов представляет с точки зрения небесной механики выдающийся интерес. Астероидам этой группы условились давать имена персонажей из мифа о Троянской войне, почему их обычно называют «троянцами»; тем, которые составляют группу, идущую впереди Юпитера, дают имена героев греческой армии, осаждавшей Трою, а следующим за Юпитером—имена защитников Трои.

Имеется ряд важных статистических исследований, относящихся к распределению астероидов по различным элементам орбит. Это позволяет выделить среди них различные естественные группы и получить ряд других выводов, ценных для космогонии.

Орбита спутника может быть определена теми же элементами, что и орбита планеты. В некоторых случаях, однако, предпочитают относить эти элементы не к плоскости эклиптики, а к плоскости орбиты самой планеты. В других случаях представляет интерес давать наклон по отношению к плоскости экватора планеты. Элементы того и другого типа приведены в табл. 3.

Элементы орбит спутников планет

Название планеты и спутника	Кем и когда открыт	Среднее расстояние от планеты		Звездный пе- риод обраше- ния в сутках	Наклон орбиты		Эксцент- риситет орбиты
		в радиусах планеты	в километ- рах		к эква- тору пла- неты	к орбите планеты	
Земля	—	60,27	384 000	27,32166	18°18'— 21°36'	5°9'	0,035
Луна							
Марс							
Фобос	Холл 1877	2,77	9 400	0,31891	1°	27°29'	0,017
Деймос	Холл 1877	6,95	23 600	1,26244	2°	27°25'	0,003
Юпитер							
V Амальтея	Барнард 1892	2,53	181 000	0,49818	0	3°7'	0,003
I Ио	Галилей 1610	5,91	422 000	1,76914	0	3°7'	0,000
II Европа	Галилей 1610	9,40	671 000	3,55118	0	3°6'	0,000
III Ганимед	Галилей 1610	14,99	1 070 000	7,15455	0	3°2'	0,001
IV Каллисто	Галилей 1610	23,36	1 881 000	16,68902	0	2°43'	0,007
VI	Перрайн 1904	160,46	11,4·10 ⁶	250,621	31°	28°45'	0,155
VII	Перрайн 1905	164,46	11,7·10 ⁶	260,07	30°	27°58'	0,207
X	Никольсон 1938	164,70	11,7·10 ⁶	254,2	—	28°16'	0,140
XII	Никольсон 1951	296	21,0·10 ⁶	620	145°	148°	0,13
XI	Никольсон 1938	316,00	22,6·10 ⁶	692,5	—	163°	0,207
VIII	Меллот 1908	329,30	23,5·10 ⁶	738,9	145°	148°4'	0,378
IX	Никольсон 1914	351,00	25,1·10 ⁶	745,0	154°	156°	0,275

Продолжение табл. 3

Название планеты и спутника	Кем и когда открыт	Среднее расстояние от планеты		Звездный пе- риод обраше- ния в сутках	Наклон орбиты		Эксцент- риситет орбиты
		в радиусах планеты	в километ- рах		к эква- тору пла- неты	к орбите планеты	
Сатурн							
Кольцо	Гюйгенс 1658	1,48—2,29	90 000— 138 000	4 — 14 часов	0	28°6'	—
I Мимас	Гершель 1789	3,08	185 000	0,94242	2°	26°44'	0,019
II Энцелад	Гершель 1789	3,95	238 000	1,37022	0	26°44'	0,005
III Тефия	Кассини 1684	4,88	294 300	1,88780	1°	26°44'	0,000
IV Диона	Кассини 1684	6,26	377 000	2,73692	0	26°44'	0,002
V Рея	Кассини 1672	8,74	527 000	4,51750	0	26°42'	0,001
VI Титан	Гюйгенс 1655	20,26	1,2·10 ⁶	15,94545	0	26°7'	0,029
VII Гиперион	Бонд 1848	24,56	1,5·10 ⁶	21,27666	1°	26°0'	0,119
VIII Япет	Кассини 1671	59,03	3,6·10 ⁶	79,33082	14°	16°18'	0,028
IX Феба	Пиккеринг 1898	214,49	12,9·10 ⁶	550,45	149°	174°42'	0,166
Уран							
V Миранда	Кейпер 1948	5,25	130 400	1,41	0	98°	—?
I Ариэль	Лассель 1851	7,10	191 700	2,52038	0	97°59'	0,007
II Умбриэль	Лассель 1851	10,00	267 100	4,14418	0	97°59'	0,008
III Титания	Гершель 1787	16,41	488 200	8,70588	0	97°59'	0,002
IV Оберон	Гершель 1787	21,94	585 900	13,46326	0	97°59'	0,001
Нептун							
I Тритон	Лассель 1846	14,24	353 700	5,87638	—	139°49'	0,000
II Нереида	Кейпер 1949	292	8·10 ⁶	359,4	—	5—6°	0,76

Просматривая эту таблицу, мы прежде всего замечаем, что при общем преобладании прямого движения среди спутников встречаются объекты и с обратным движением. Из 31 известного в настоящее время спутника 11, или 35%, имеют обратное движение. Из них пять спутников Урана составляют закономерную систему, в которой плоскости орбит близки к плоскости экватора планеты и вместе с последней расположены почти перпендикулярно к плоскости эклиптики.

К категории спутников обычно относят и кольца Сатурна, представляющие собою собрание огромного количества крошечных телец, обращающихся вокруг планеты подобно спутникам. Поэтому некоторые данные, относящиеся к кольцам, также приводятся в табл. 3.

В случае движения спутников возмущающее действие других небесных тел, и в первую очередь Солнца, становится особенно сильным, вследствие чего некоторые элементы орбиты спутника меняются весьма быстро. В связи с этим напомним основные неравенства движения Луны:

1. *Регрессия*, или обратное движение линии узлов. Узлы лунной орбиты перемещаются по эклиптике на $19^{\circ},3$ в год и завершают полный оборот за 18,6 года.

2. *Прямое движение линии апсид*. Точки перигея и апогея движутся по большому кругу проекции орбиты со скоростью $40^{\circ},7$ в год и завершают оборот за 8,85 года.

3. *Периодические колебания наклона*, который меняется в пределах от $4^{\circ}59'$ до $5^{\circ}18'$ (при среднем значении $5^{\circ}9'$) с периодом 18,6 года.

4. *Периодические колебания эксцентриситета* в пределах от 0,043 до 0,072 с периодом 8,85 года.

Множество других неравенств, важнейшими из которых являются эвекция, вариация, годичное уравнение и параллактическое уравнение, осложняют движение Луны по орбите, вызывая его ускорение и замедление по отношению к тому, что вытекает из закона площадей.

Аналогичные неравенства наблюдаются и у других спутников.

В связи с движением спутников мы можем наблюдать некоторые специальные явления, важнейшими из которых являются:

- 1) покрытие спутника диском планеты;
- 2) прохождение спутника перед диском планеты;
- 3) затмение спутника, состоящее в том, что спутник погружается в тень планеты;
- 4) прохождение тени спутника по диску планеты, причем в части поверхности, занятой тенью, очевидно, происходит полное солнечное затмение. Последнее, естественно, может наблюдаться только в отношении крупных спутников, поскольку мелкие спутники дают кольцообразное затмение.

Предвычисление перечисленных явлений и публикация соответствующих эфемерид в настоящее время выполняются регулярно только в отношении галилеевых спутников Юпитера. Для этих спутников накоплен большой наблюдательный материал, представляющий значительный интерес не только с точки зрения небесной механики, но и с точки зрения планетоведения. В системе спутников Сатурна указанные явления могут наблюдаться не всегда, а только в эпохи прохождения Земли и Солнца через плоскости орбит спутников, близко совпадающих с плоскостью экватора планеты, что сопровождается исчезновением колец. Для таких эпох в некоторых ежегодниках публикуются эфемериды с указанием моментов наступления различных явлений. Для остальных спутников предвычисление явлений не делается, в связи с чем имеющийся случайно полученный материал очень незначителен.

§ 5. Аспекты и условия видимости планет в различные сезоны

Для практики физического исследования планет и спутников большое значение имеет положение светила на небесной сфере по отношению к Солнцу, поскольку этим определяется фаза планеты, а также возможность наблюдать ее на фоне темного ночного неба. Напомним, что угловое расстояние планеты от центра солнечного диска называется *элонгацией*. Очевидно, что оно представляет собою угол между радиусом-вектором Земли и направлением на данный объект.

Правила, определяющие перемещение планеты по отношению к Солнцу, были хорошо известны уже древним наблюдателям, которые различали в положении планеты четыре главных случая, или *аспекта*. По характеру видимого перемещения планеты были разделены на две существенно различные группы: *нижние*, к которым принадлежали Меркурий и Венера, и *верхние*, в число которых входили Марс, Юпитер и Сатурн. Происхождение этих терминов связано с геоцентрической системой мира, в которой сферы или деференты нижних планет располагались между Землей и сферой Солнца, т. е. ниже последней, в то время как у остальных они лежали вне или выше сферы Солнца. Встречающееся иногда в литературе применение в качестве синонимов таких терминов, как *внутренние* и *внешние* планеты, создает путаницу, так как эти последние термины были предложены для разграничения группы планет от Меркурия до Марса, с одной стороны («внутренние»), и от Юпитера до Нептуна, — с другой («внешние»), т. е. того, что теперь чаще называют планетами *земной* и *юпитеровой* групп.

Общим для всех планет является аспект, называемый *верхним соединением с Солнцем* и обозначаемый знаком $\nearrow$. Так называется

положение планеты (а также момент времени), при котором долгота планеты равна долготе центра солнечного диска. Иногда говорят также о *соединении по прямому восхождению*, при котором равны прямые восхождения планеты и Солнца. В верхнем соединении элонгация бывает минимальной, однако момент минимума элонгации с моментом соединения, вообще говоря, не совпадает. Расстояние планеты от Земли в верхнем соединении является наибольшим, однако момент максимума расстояния с моментом соединения точно не совпадает. С точки зрения условий наблюдений планеты верхнее соединение является самым неблагоприятным: невооруженным глазом планета в это время вообще не видна: в телескоп найти планету возможно, но поскольку ее диск имеет минимальные угловые размеры и виден сквозь яркий фон неба, порою в условиях околосолнечного ореола и при частичном освещении внутренних стенок трубы и объектива косо скользящими солнечными лучами, условия для наблюдения оказываются очень трудными.

Дальнейшее описание перемещения по отношению к Солнцу для верхней и нижней планеты должно быть сделано отдельно.

Видимое движение всякой планеты в верхнем соединении прямое, т. е. направлено вдоль эклиптики в ту же сторону, что и годовое движение Солнца. Но верхняя планета движется медленнее, чем Солнце, и потому после верхнего соединения Солнце отходит от нее влево, и элонгация оказывается западной, т. е. планета располагается от Солнца к западу. В своем суточном движении по небу планета идет впереди Солнца и потому восходит раньше его. Начинается эпоха утренней видимости, когда планета становится видимой на рассвете в лучах утренней зари. С увеличением элонгации планета восходит все раньше и раньше, рассвет застает ее на небе все выше и выше и условия для наблюдения улучшаются. Это со временем приводит планету ко второму аспекту, называемому *западной квадратурой* (условный знак $\square$). Так называется положение планеты, при котором разность долгот Солнца и планеты равна ровно 90° . Элонгация достигает значения 90° в то же время, однако не точно в самый момент квадратуры, если только этот момент не совпадает с прохождением планеты через узел ее орбиты.

Дальнейшее увеличение элонгации приводит планету к аспекту, называемому *противостоянием* или *оппозицией* $\odot$. Так называется положение планеты в момент времени, при котором разность долгот планеты и Солнца равна 180° . Иногда говорят также о *противостоянии по прямому восхождению*, понимая под этим положение планеты, при котором значению 180° равна разность прямых восхождений планеты и Солнца. В момент противостояния элонгация становится наибольшей, однако, вообще говоря, она значения 180° не достигает. Кроме того, момент максимума элон-

гации с моментом противостояния не совпадает. Напомним, что движение планеты в противостоянии всегда обратное.

Противостояние является наиболее благоприятным временем для изучения диска планеты, поскольку последний освещен полностью, виден на темном ночном небе и на протяжении всей ночи (планета в противостоянии восходит на закате Солнца, кульминирует около полуночи, заходит на восходе Солнца), а кроме того, находится от Земли ближе всего и потому имеет наибольшие угловые размеры. Впрочем, минимум расстояния до Земли с моментом противостояния, вообще говоря, не совпадает.

Вследствие эксцентриситета орбит расстояние до планет в различные противостояния бывает различным. Из больших планет это различие имеет наибольшее значение для Марса. Противостояния этой планеты, случающиеся около перигелия и приходящиеся на август, называются *великими*. При таких противостояниях расстояние до Марса может составлять $55 \cdot 10^6$ км, в то время как при наименее выгодных противостояниях, случающихся около афелия и приходящихся на февраль, расстояние может быть не ближе $100 \cdot 10^6$ км, т. е. почти вдвое больше. Великие противостояния повторяются с периодом в 15 или 17 лет и настолько выигрышны в смысле условий наблюдений, что становятся эпохами интенсивных исследований Марса.

После противостояния элонгация становится восточной и быстро уменьшается, поскольку планета и Солнце движутся навстречу друг другу. Через некоторое время наступает аспект *восточная квадратура*, когда разность долгот планеты и Солнца точно равна 90° , элонгация близка к этому значению и планета, находясь к востоку от Солнца, следует за ним в суточном движении по небесному своду. Вслед за тем наступает время вечерней видимости, когда планета с наступлением вечерней темноты оказывается невысоко над западным горизонтом и заходит до полуночи. Закапываясь все раньше и раньше, она, наконец, скрывается в лучах вечерней зари, что для местностей с высокими широтами наступает несколько раньше, в тропиках и на экваторе—позже. На этом эпоха видимости планеты для невооруженного глаза заканчивается, а вслед за тем наступает очередное верхнее соединение с Солнцем.

Иначе протекают аспекты для нижней планеты. В момент верхнего соединения она, как и верхняя планета, находится за Солнцем примерно на максимальном расстоянии от Земли и движется по небесной сфере прямым движением. Но угловая скорость этого движения больше, чем у Солнца, а потому планета, обогнав Солнце, удаляется от него влево, т. е. к востоку. Благодаря этому после верхнего соединения элонгация у нижней планеты будет не западной, а восточной, и планета появляется не по утрам, а по вечерам. С каждым днем планета удаляется от Солнца все больше,

заходит все позже, все лучше видна на фоне более поздних, темных фаз зари. Но скорость прямого движения вместе с тем убывает и в некоторый момент оказывается равной скорости движения Солнца. В это время элонгация достигает максимума, что составляет второй аспект, называемый *наибольшим восточным удалением*. Вслед за тем Солнце начинает догонять планету, элонгация уменьшается, сначала медленно, а потом все быстрее и особенно быстро после того, как прямое движение планеты сменится на обратное, так что планета начинает двигаться навстречу Солнцу. Условия для наблюдения планеты в связи с этим ухудшаются, поскольку наступление темноты застает планету все ниже и ниже на небе, и она заходит все раньше. Это приводит планету к третьему аспекту, называемому *нижним соединением* с Солнцем φ . Это будет момент, когда долгота планеты равна долготе Солнца, причем планета находится перед Солнцем и расстояние ее от Земли становится наименьшим, хотя момент минимума расстояния с моментом соединения, вообще говоря, не совпадает. В момент нижнего соединения планета невооруженным глазом не видна как вследствие своей близости к Солнцу, так и потому, что повернута к Земле своей темной стороной.

После нижнего соединения планета быстро удаляется от Солнца к западу, поскольку она продолжает некоторое время двигаться обратным движением. Поэтому она вскоре появляется по утрам, перед восходом Солнца. С каждым днем рассвет застает ее на небе все выше, условия видимости улучшаются, но увеличение элонгации замедляется и, наконец, останавливается. Наступает четвертый аспект—*наибольшее западное удаление*. Возрастающая скорость прямого движения приводит к тому, что после этого планета начинает догонять Солнце, элонгация снова уменьшается, и, наконец, опять наступает очередное верхнее соединение.

Наибольшая возможная элонгация у Венеры может достигать до 48° , у Меркурия—до 28° .

Промежуток времени между двумя последовательными верхними соединениями планеты называется *синодическим оборотом* и обозначается через S . С истинным, или звездным оборотом P он связан *синодическим уравнением*, которое для нижних планет имеет вид:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E},$$

а для верхних

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P},$$

где E —звездный год. Значения S для всех больших планет даны в табл. 2 (стр. 28).

Меркурий и Венера в положении нижнего соединения могут проходить перед солнечным диском и тогда бывают видны на его фоне в виде резкого черного кружка, который в случае Венеры настолько велик, что хорошо виден невооруженным глазом. Есть основания предполагать, что прохождения Венеры были замечены уже в древности, но их систематическое наблюдение началось только после того, как Кеплер дал метод их предвычисления.

Очевидно, что условие, при котором наблюдается прохождение, состоит в том, чтобы нижнее соединение планеты совпало с ее прохождением через один из узлов орбиты. Поэтому прохождения повторяются через промежутки времени, заключающие в себе целое число синодических и драконических оборотов. Детальный расчет, подробности которого читатель найдет в книге А. А. Михайлова «Теория затмений», приводит к следующим результатам.

Прохождения Меркурия у восходящего узла случаются всегда в первой половине ноября и повторяются через промежутки времени 13, 13, 13 и 7 лет. До конца текущего столетия произойдет четыре таких прохождения, приходящихся на 1960, 1973, 1986 и 1999 гг. Прохождения у нисходящего узла бывают в первой декаде мая и повторяются через интервалы в 13 и 33 года. Ближайшее произойдет в 1970 г. Полная повторяемость всех прохождений Меркурия определяется периодом в 217 лет, на протяжении которых случается 19 ноябрьских прохождений и 10 майских.

Прохождения Венеры в нисходящем узле наблюдаются в первой декаде июня. Такими были прохождения 1761 и 1769 гг. и будут прохождения 2004 и 2012 гг. У восходящего узла прохождения случаются в первой половине декабря, как это было в 1631, 1639, 1874 и 1882 гг. и будут в 2117 и 2125 гг. Те и другие прохождения чередуются с интервалами в 8 и 235 лет, а если взять июньские и декабрьские вместе, то получается чередование в такой последовательности: 8, $121\frac{1}{2}$, 8, $105\frac{1}{2}$ лет.

Видимый путь Венеры на солнечном диске при некоторых прохождениях представлен на рис. 2.

Условия видимости планет в различных аспектах существенно меняются с сезоном, причем правила, предопределяющие это обстоятельство, легко устанавливаются из элементарных соображений.

Во время противостояния планета располагается в созвездии зодиака, противоположном тому, в котором находится Солнце. Из этого следует, что ее суточный путь на небе примерно соответствует пути Солнца за полгода до этого. Летом суточный путь Солнца высок, а суточный путь планеты в противостоянии соответственно низок и близок к условиям движения Солнца зимой. Поэтому противостояния, падающие на летние месяцы: май, июнь, июль,—невыгодны для наблюдений в северном полушарии земного

шара, особенно в пунктах, расположенных в высоких широтах. Например, в Ленинграде и Пулкове выполнять наблюдения при таких противостояниях часто бывает бесполезно, что зависит не только от небольшой высоты светила над горизонтом и сопутствующих этому значительных атмосферных помех (сильное поглощение лучей, дрожание и волнение изображений), но и от белых ночей, вынуждающих вести наблюдения при светлом фоне неба. На широте Москвы условия будут несколько лучше, но все же неблагоприятны.

Зимой, напротив, суточный путь планеты в противостоянии проходит высоко над горизонтом—примерно как путь Солнца летом, и потому условия для наблюдений благоприятны (по крайней мере, если не принимать в расчет значительную облачность и помехи,

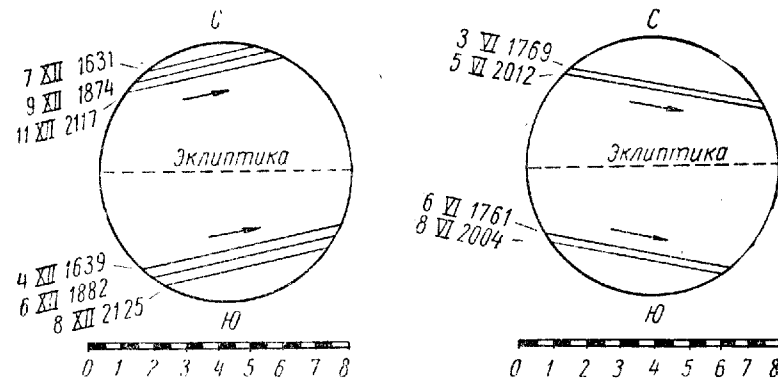


Рис. 2. Видимый путь Венеры при прохождении по солнечному диску. Шкалы внизу дают масштаб времени в часах.

связанные с морозами). Помимо большой высоты светила над горизонтом, большое значение имеет длительность зимней ночи и связанное с нею большое число часов видимости планеты. Это, например, позволяет за одну ночь пронаблюдать полный оборот Юпитера вокруг оси и составить карту всей планеты.

Было бы неверно думать, что наблюдения верхних планет ведут только около времени противостояния. Длительность промежутка времени, охватываемого наблюдениями, часто имеет очень большое значение. Например, изучение сезонных изменений на поверхности Марса или регулярная служба Юпитера обязательно предполагают длительное, продолжающееся много месяцев, регулярное наблюдение за соответствующей планетой. Это вынуждает наблюдателей стараться начинать наблюдения при первом появлении светила в лучах зари после верхнего соединения и продолжать его столько, сколько позволяют астрономические условия видимости. В некоторых случаях наблюдения продолжают и во время соединений с Солнцем, выполняя их днем и стараясь путем приме-

нения специальной методики ослабить невыгодную сторону этого дела (фотографирование в инфракрасных лучах и т. п.).

Условия видимости верхних планет в наибольших удалениях определяются тем, что при данной элонгации планета в момент начала или окончания сумерек оказывается на небе тем выше и видна на темном фоне тем дольше, чем больше ее склонение и чем меньше склонение Солнца. Отсюда следует, что наилучшими месяцами для наблюдений планеты при вечерней видимости, т. е. при восточных элонгациях, будут февраль, март и апрель, а при утренней видимости, т. е. при западных элонгациях,—август, сентябрь, октябрь. Это правило относится к северному полушарию земного шара. В южном полушарии будет, конечно, наоборот: там утренняя видимость благоприятна в марте, а вечерняя в сентябре. Но самые лучшие условия для наблюдений планет при малых элонгациях будут на экваторе, где разность зенитных расстояний Солнца и планеты приближается к значению элонгации последней.

Все сказанное о планетах, естественно, относится и к Луне. Такие факты, что полная Луна проходит летом низко над горизонтом, а зимой высоко или что молодая Луна бывает видна высоко и долго в весенние вечера и низко и коротко в осенние, можно считать общеизвестными.

Следует иметь в виду, что, поскольку Луна и планеты не находятся точно на эклиптике, указанные особенности их появления в разные месяцы года могут оказаться как усиленными, так и ослабленными. Возьмем, для примера, Луну. Поскольку ее орбита имеет наклон 5° , Луна на такой угол отходит к северу и к югу от эклиптики. В том случае, когда восходящий узел лунной орбиты совпадает с точкой весеннего равноденствия, северная половина проекции лунной орбиты будет вся лежать к северу от северной половины эклиптики, а южная часть—к югу от южной половины последней. Это приводит к тому, что при долготе 90° Луна будет иметь склонение $23^\circ,5 + 5^\circ = 28^\circ,5$. При таком значении склонения она уже на широте $61^\circ,5$ окажется незаходящим светилом, а на широте 60° (Ленинград) будет заходить лишь на очень короткое время. Равным образом при долготе 270° склонение Луны будет $-28^\circ,5$; она будет невосходящим объектом для всех мест, лежащих к северу от параллели $61^\circ,5$, а на широте 60° будет едва показываться на горизонте. Такие условия видимости Луны имели место в 1950 г. и будут иметь место в 1969 г.

Если же восходящий узел лунной орбиты совпадает с точкой осеннего равноденствия, то лунная орбита по отношению к северной половине эклиптики лежит к югу, а по отношению к южной—к северу. В таких условиях различия в высоте суточного пути Луны над горизонтом в разные дни будут меньше, чем для Солнца. Это было в 1941 г. и будет в 1960 г.

Литература к главе I

§§ 1—2

- Амбарцумян В. А., Эволюция звезд и астрофизика, Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1947.
- Барабашев Н. П., Луна и планеты, Сб. «Астрономия в СССР за 30 лет». Гостехиздат, 1948, стр. 71—82.
- Берри А., Краткая история астрономии, Гостехиздат, 1946.
- Бруно Джордано, О бесконечности вселенной и мирах, Флоренция, 1584; русск. перев. А. И. Рубина. Сб. «Диалоги», Госполитиздат, 1949.
- Всехсвятский С. К., Исследование природы тел солнечной системы в Пулков. Сб. «Сто лет Пулковской обсерватории», Изд. АН СССР, 1945, стр. 221—232.
- Галилей Галилео, Диалог о двух главнейших системах мира—птоломеевой и коперниковой, Флоренция, 1632; русск. перев. А. И. Долгова, Гостехиздат, 1948.
- Кларк А., Общедоступная история астрономии в XIX столетии, гл. VII—VIII. Изд. «Матезис», Одесса, 1913.
- Ломоносов М. В., Явление Венеры на Солнце наблюденное в Санкт-Петербургской Императорской Академии Наук мая 26 дня 1761 года. Изд. Академии наук, Санкт-Петербург, 1761; Соч., т. IV, 1955, стр. 361—376.
- Петрушевский Ф. Ф., План физического исследования поверхности Луны, Журн. русск. хим. о-ва и физ. о-ва 5, № 5, 1873, стр. 219—238.
- Фесенков В. Г., Космогония солнечной системы, Изд. АН СССР, 1944.
- Шаронов В. В., Планетоведение как научная дисциплина, Вестн. Ленингр. ун-та, 1949, № 8, 3—13.
- Шаронов В. В., Явление Ломоносова и его значение для астрономии, Астрон. журн. 29, № 6, 728—737, 1952.
- Шаронов В. В., Успехи советского планетоведения, Вестник АН СССР, 1953, 34—37.
- Шаронов В. В., К вопросу о приоритете М. В. Ломоносова в открытии атмосферы Венеры, Научн. бюлл. Ленингр. ун-та 33, 12—15, 1955.
- Шмидт О. Ю., Четыре лекции о теории происхождения Земли, Изд. АН СССР, 1950.
- Циолковский К. Э., Исследование мировых пространств реактивными приборами, Калуга, 1903.
- Graff K., Die physische Beschaffenheit des Planetensystems, Handbuch der Astrophysik, Bd. IV, Kap. 4, 358—425, Berlin, 1929.

§§ 3—5

- Куликов К. А., Фундаментальные постоянные астрономии, Гостехиздат, 1956.
- Михайлов А. А., Теория затмений, 2-е изд., Гостехиздат, 1954.
- Орлов А. Я. и Орлов Б. А., Курс теоретической астрономии, Гостехиздат, 1940.
- Путин И. И., Малые планеты, Гостехиздат, 1953.
- Самойлова-Яхонтова Н. С., Обзор работ по малым планетам за 1947—1952 гг., Бюлл. Ин-та теоретич. астрон. 5, № 9 (72), 561—570, 1954; за 1953 г.—там же 6, № 1 (74), 1—7, 1955; за 1954 г.—там же 6, № 3 (76), 157—161, 1956; за 1955 г.—там же 6, № 7 (80), 429—433, 1957.
- Субботин М. Ф., Курс небесной механики, т. I, ОНТИ 1933.
- Субботин М. Ф., Теоретическая астрономия, Сборн. «Астрономия в СССР за 30 лет», Гостехиздат, 1948, стр. 50—70.
- Эфемериды малых планет на 1957 г. Изд. АН СССР, 1956, стр. 10—12.
- Sitter, de, W., On the system of astronomical constants, Bull. Astron. Inst. Neetherlands 8, № 307, 213—231, 1938.

ГЛАВА II

ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАНЕТ И СПУТНИКОВ

§ 6. Телескоп как средство планетных исследований

Первый по времени и наиболее употребительный способ изучения поверхности планет и происходящих на них явлений состоит в визуальном наблюдении диска планеты при помощи телескопа с достаточно сильным увеличением. Цель такого наблюдения состоит в том, чтобы, внимательно взглядываясь в изображение планеты, рассмотреть на нем как можно больше деталей—мелких пятен и полос, областей различной яркости или различной окраски, зон с постепенным изменением яркости или цвета и т. п.

Три рода факторов кладут предел возможностям такого метода. Первые связаны с оптикой телескопа, вторые определяются свойствами нашего глаза и зрения, третьи определяются состоянием земной атмосферы, сквозь толщу которой выполняется всякое наблюдение небесного светила. В этом параграфе мы рассмотрим первую группу факторов.

Способность оптической системы давать отдельные изображения двух близких по угловому расстоянию объектов называется ее *разрешающей силой* или *разрешающей способностью*. Количественно она выражается тем минимальным угловым расстоянием δ_m , на котором два точечных объекта (например, компоненты двойной звезды) дают отдельные изображения, в то время как при меньшем угловом расстоянии получается одно слитное изображение. Поскольку исследование природы планет и спутников требует детального изучения очень малых по угловым размерам дисков или мельчайших деталей на более крупных дисках, высокая разрешающая способность является основным требованием, предъявляемым к телескопу, предназначенному для наблюдений планет. Можно сказать, что ни одна другая область астрономии не предъявляет в этом отношении столь высоких требований, как планетоведение. Поэтому главу о технике телескопического изучения планет мы начнем с того, что напомним читателю оптические явления, определяющие разрешающую способность телескопа.

Рассмотрим идеальный, т. е. свободный от всяких aberrаций, телескопический объектив. Если со стороны пространства объек-