

**А. БЕРРИ
КРАТКАЯ
ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ**





ЛУНА
(с фотографии Линской обсерватории).

АРТУР БЕРРИ

БРАТКАЯ ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
С. Г. ЗАЙМОВСКОГО

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ
ПОД РЕДАКЦИЕЙ И С ДОПОЛНЕНИЯМИ
проф. Р. В. КУНИЦКОГО

*Допущено Всесоюзным Комитетом по делам
высшей школы при СНК СССР в качестве
учебного пособия для государственных уни-
верситетов*

ОГИЗ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1946 ЛЕНИНГРАД

АННОТАЦИЯ

Книга А. Берри представляет собой очерк истории астрономии до конца XIX в. Наряду с систематическим изложением фактов истории астрономии автор даёт в живой и популярной форме общие сведения из астрономии, что делает книгу доступной широкому кругу читателей. Она может быть рекомендована всем занимающимся самообразованием и учащимся средней школы. Книга может служить также пособием по истории астрономии для университетов и преподавателей средних учебных заведений.

Редактор *Н. И. Полякова.*

Техн. редактор *Н. А. Тумаркина.*

А 09769. Подписано к печати 24/VII 1946 г. 22,75 печ. л.+1 вклейка; 24,84 авт. л., 26,4 уч.-изд. л., 48 000 тип. зн. в печ. л. Тираж 12 000 экз. Цена книги 9 р. Переплет 1 р. 50 к. Зак. 918.

16-я типография треста «Полиграфкнига» ОГИЗа при Совете Министров РСФСР.
Москва, Трёхпрудный пер., 9.

ОТ РЕДАКТОРА

Первое издание книги Берри на русском языке появилось в 1904 г. Оно представляло собой перевод английского издания 1898 г. Таким образом, книга была написана почти на рубеже двух столетий.

С тех пор прошло около 50 лет, и если позиционная астрономия, трактующая о механическом перемещении небесных тел, за это время и ушла значительно вперед, то главным образом в областях, мало доступных для популярного изложения. Одновременно другой раздел астрономии—астрофизика,—самое название которого ещё не оформилось во времена писания книги Берри, трактующий о физической природе и развитии небесных тел, успел за истекшие годы превратиться в большую самостоятельную дисциплину, теснейшим образом связанную с современной экспериментальной и теоретической физикой.

Автор книги, дав краткий, но в большей своей части систематически изложенный очерк истории астрономии вплоть до начала XIX века включительно, ограничился (в последней главе книги) значительно более сжатым описанием астрономических открытий XIX века. Не сделай он этого, книга должна была бы увеличиться по объёму, по крайней мере, в два раза. Однако одна характерная особенность изложения была сохранена автором до конца книги. Эта особенность, имеющая большую ценность для читателей без углублённых познаний в области астрономии, состоит в том, что наряду с изложением исторического материала автор останавливается на самой сути дела, сообщая читателям необходимые астрономические сведения в их современном виде. Совершенно естественно, что такая система изложения при переиздании книги Берри заставляет отнестись с особым вниманием к последней главе книги, в которой автор в большинстве случаев придерживается точки зрения, вполне приемлемой для конца XIX века, но архаической в настоящее время.

Этим объясняется, что наибольшее число изменений было внесено именно в последнюю главу книги. При этом имелось в виду дать современную характеристику только тем вопросам (почти исключительно из области астрофизики), которые были уже достаточно оформлены в конце XIX века и о которых вследствие этого упоминается в книге. Рассмотрение же (хотя бы и не в историческом разрезе) вопросов, возникших в текущем столе-

тии, было бы возможно лишь при условии замены последней главы книги, по крайней мере, двумя заново написанными главами. Столь радикальное изменение книги Берри не имелось в виду при её переиздании. Внесение упомянутых изменений в последнюю главу книги имело целью, сохранив по возможности оригинальный текст автора, довести книгу до современного научного уровня в пределах тех вопросов, которые затрагивает сам автор.

Что касается первых двенадцати глав, то в них было внесено сравнительно небольшое число изменений. Они выразились в первую очередь в пропуске некоторых мест, содержащих рассуждения автора (преимущественно общего характера), не представляющие интереса для советского читателя. С другой стороны, было исправлено несколько неточностей, часть которых вкралась при переводе, а также сделано довольно много мелких поправок стилистического характера. Наконец, в текст было внесено и небольшое число добавлений.

Автор книги не является последовательным материалистом. Правда, причину развития науки он видит в стремлении людей удовлетворить свои жизненные нужды. Однако он нигде не ставит это развитие в прямую связь с потребностями производства, нигде не вскрывает подлинных исторических причин, вызвавших периоды застоя или расцвета науки. Так, касаясь в начале IV главы эпохи Ренессанса, автор игнорирует значение появления нового социального фактора—торгового капитала и характеризует причины, подготовившие гелиоцентрический переворот, как результат борьбы авторитета Аристотеля с авторитетами других древнегреческих учёных, борьбы, вызванной, по его мнению, «всеобщим увеличением понимания и интереса к объектам мысли и знания». При этом автор не задаётся вопросом, что вызвало этот «всеобщий интерес» в западных европейских странах после многовекового застоя мысли. В частности, он даже не затрагивает в сколько-нибудь явной форме вопрос о влиянии в эту эпоху развития мореплавания на развитие астрономии.

Несколько лучше обстоит дело с пониманием автором процесса познания. Так, характеризуя научный метод Ньютона, автор по сути дела проводит мысль, что подлинной наукой является та, теория которой не только возникает на основе фактов, но и проверяется в дальнейшем путём сопоставления вытекающих из неё следствий с новыми фактами. Однако и в этих суждениях автора отсутствует чёткость и законченность.

Автор (как это явствует и из его предисловия) не стремился создать научную монографию по истории астрономии. Его книга представляет собой лишь научно-популярный очерк, который, несмотря на сжатость изложения, написан настолько мастерски, что читается с интересом как специалистами-астрономами, так и лицами, не имеющими к астрономии прямого отношения. По-

мимо этого автор даёт в большинстве случаев достаточно объективную оценку деятельности творцов современной астрономии, нередко характеризуя их не только как учёных, но и как исторические личности. К этим несомненным достоинствам книги необходимо добавить указанную раньше тенденцию автора помоч читателю разобраться в астрономических вопросах.

К этому можно добавить, что до настоящего времени «Краткая история астрономии» Берри является единственной на русском языке книгой, более или менее систематически излагающей историю астрономии от древнейших времён до конца XIX в.

Р. В. Куницкий.

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА

В этой книге я пытался набросать очерк развития астрономии с древнейших исторических времён до настоящего времени, притом в форме, доступной читателю, не получившему специально астрономической или математической подготовки, а обладающему лишь способностью следить за научным изложением мыслей.

Не желая выходить из пределов небольшого томика, я по необходимости должен был излагать предмет возможно более сжато; до некоторой степени я достиг своей цели тем, что, за исключением самого необходимого, воздержался от изложения многих вопросов, — вопросов, которые в книге иного размера и характера заняли бы видное место. Например, я позволил себе лишь слегка коснуться астрономии египтян, халдеев, китайцев и других народов, которым обыкновенно приписываются первые шаги в развитии науки о небе. С одной стороны, мне казалось невозможным составить себе независимое мнение по данному вопросу без непосредственного ознакомления с документами и надписями, из которых мы черпаем наши знания; с другой стороны, ориенталисты, обладающие вышесказанными знаниями, настолько ещё расходятся в истолковании одних и тех же данных, что мы считаем преждевременным публиковать их результаты в догматической форме учебника. Кроме того, мне показалось целесообразным — за вычетом особо важных случаев — пропустить описания астрономических инструментов; насколько мне помнится, я никогда не извлекал ни удовольствия, ни пользы из описания инструмента, если мне не приходилось раньше ознакомиться с ним или подобным ему научным прибором на практике; естественно, что у меня нет желания предлагать читателям то, чем я сам не был удовлетворён. Равным образом, ввиду намеченной цели, мне пришлось обойти молчанием несколько важных астрономических открытий, требующих для наилучшего

своего уяснения знакомства с техническим языком математики. Поэтому я лишь в кратких и самых общих чертах обрисовал великодушную, чудесную надстройку, воздвигнутую последующими поколениями математиков на фундаменте, заложенном Ньютоном. По той же причине я иногда принуждён был тратить немало времени на изложение обыденным языком таких истин, которые гораздо яснее и короче выражаются алгебраической формулой; для тех, кто знаком с математикой, я добавил несколько выносок специального характера. Вообще же я всячески старался избегать математики, кроме, разве, арифметики да немногих технических терминов, разъясняемых в тексте. Труд мой значительно сократился ещё тем, что я целиком пропустил или ограничился самым беглым упоминанием о множестве астрономических фактов, не связанных с какой-либо прочно обоснованной общей теорией; по тем же соображениям я вообще воздержался от изложения умозрительных теорий, не установленных прочно или не опровергнутых положительным образом. В частности по тем или иным мотивам (об этом подробнее в начале гл. XIII) я старался возможно короче останавливаться на огромной массе наблюдений, накопленных современной астрономией; например, отчётом о наблюдениях солнечных пятен за последние полвека и о теориях, основанных на них, можно без труда наполнить несколько томов; я же посвятил этому предмету всего страничку-другую.

Где можно было, я даю биографические очерки выдающихся астрономов (сошедших уже со сцены), желая сообщить изложению больше живости; вместе с тем я боролся с искушением заполнить страницы интересными подробностями, не имеющими реального отношения к научному прогрессу. Процедура суда над матерью Кеплера по обвинению в колдовстве представляет, быть может, столько же драматического интереса, сколько и отречение Галилея перед инквизицией; однако я совершенно умолчал о первой и уделил много места второму; тогда как первое представляет интерес эпизода, второе составило не только важный инцидент в жизни великого астронома, но и эпоху в истории астрономической мысли. Я нашёл уместным включить большое количество дат, так как они не занимают много места, и тем, кто ими интересуется, могут оказаться полезными, остальные же без труда пропускают их.

Я отвёл немало места описанию таких устарелых теорий, которые, как мне казалось, составляли существенную часть астрономического прогресса. Одна из причин, по которым история науки достойна всяческого изучения, заключается в том, что она проливает свет на процессы, посредством которых научная теория вырабатывается для уяснения фактов, установленных наблюдениями, затем претерпевает последовательные изменения по мере накопления новых фактов и в конце концов может быть

и отвергнута, когда её разногласия с фактами сделаются слишком явными или перестанут находить себе объяснение. Например, ни один современный астроном не нуждается в древнегреческой схеме эпициклов; тем не менее история её изобретения, постепенного совершенствования, по мере накопления свежих наблюдений, наступившего затем бессилия противостоять строгому анализу и конечного забвения её в пользу более совершенной теории,—всё это, кажется мне, может послужить интересным и полезным примером того, как протекает процесс научного познания. По крайней мере, свою книгу я писал, исходя именно из такого убеждения, и именно с вышесказанной точки зрения решал вопрос о том, что выпустить из книги, что включить в неё.

Мы не считаем свой труд самостоятельным вкладом в литературу; материал почерпался из «вторых рук», так сказать, из второстепенных источников, из коих не все, однако, легко доступны читателю.

Королевский Колледж, Кембридж
Сентябрь 1898 г.

Артур Берри.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА I

Первобытная астрономия, § 1—18

Предмет астрономии	17
Основные понятия. Движение Солнца. Движение и фазы Луны.	17
Суточное движение звёзд	17
Успехи, достигнутые древними цивилизованными народами: египтянами, китайцами, индусами и халдеями	19
Небесная сфера. Её научное значение. Кажущиеся расстояния между звёздами. Измерение углов	19
Вращение небесной сферы. Северный и южный полюсы. Суточное движение. Небесный экватор. Околополярные звёзды	21
Годичное движение Солнца. Большие круги. Эклиптика и её наклонение. Равноденствия и солнцестояния	24
Созвездия. Зодиак, знаки зодиака и зодиакальные созвездия. Пять планет. Прямое и попятное движение. Точки стояния	26
Порядок расстояний планет. Покрытия. Верхние и нижние планеты	28
Измерение времени. Сутки и деление их на часы. Лунный месяц. Год. Неделя	30
Затмения. Сарос	31
Возникновение астрологии	32

ГЛАВА II

Астрономия греков (от 600 г. до н. э. до 400 г. после н. э.), § 19—54

Астрономия до Аристотеля. Греческий календарь. Полный и неполный месяцы. Октаэдрис. Метонов цикл	34
Римский календарь. Введение юлианского календаря	35
Грегорианский календарь	36
Древнейшая греческая умозрительная астрономия. Фалес и Пифагор. Шарообразность Земли. Небесные сферы. Музыка сфер	36
Филолай и другие пифагорейцы. Первые сторонники движения Земли: Аристарх и Селевк	37
Платон. Равномерное круговое и сферическое движение	38
Эвдокс. Изображение небесных движений комбинацией сфер. Описание созвездий. Калипп	39
Аристотель. Его сферы. Фазы Луны. Доказательства шарообразности Земли. Доводы Аристотеля против движения Земли. Относительные расстояния небесных тел. Оценка заслуг Аристотеля в области астрономии	40
Древнейшая александрийская школа. Её рост. Аристарх. Его оценки расстояний Солнца и Луны. Наблюдения Тимохариса и Аристилла	44

Развитие сферыки. «Реномена» Эвклида. Горизонт, зенит, вертикали, круги склонения, меридиан, небесная широта и долгота, прямое восхождение и склонение. Солнечные часы.	45
Разделение земной поверхности на зоны.	47
Эратосфен. Его измерение Земли и наклона эклиптики.	48
Гиппарх. Его жизнь и главные заслуги перед астрономией. Аполлониево изображение небесных движений с помощью кругов. Эпициклы и эксцентрики.	49
Гиппархово объяснение движения Солнца с помощью эксцентрика; апогей, перигей, линия апсид, эксцентриситет. Уравнение центра. Эпицикл и деферент.	50
Теория Луны. Синодический и сидерический месяцы. Движение лунных узлов и апсид. Драконический и аномалистический месяцы.	53
Наблюдения планет. Метод затмений, связывающий расстояния Солнца и Луны. Оценка этих расстояний.	55
Звёздный каталог Гиппарха. Открытие предварения равноденствий. Тропический и звёздный годы.	56
Затмения Солнца и Луны. Соединения и противостояния. Частное, полное и кольцеобразное затмение. Параллакс.	60
Отзыв Деламбра о Гиппархе.	63
Медленность успехов астрономии после Гиппарха. Доказательство Платина шарообразности Земли. Новое измерение Земли Посидонием.	64
Птоломей. «Альмагест» и «Оптика». Теория преломления.	64
Обзор Альмагеста. Птолемеи постулаты. Доводы против движения Земли.	65
Теория Луны. Эвекция и просневзис.	66
Астролябия. Параллакс и расстояния Солнца и Луны.	68
Звёздный каталог. Прецессия.	68
Теория планет. Экант.	69
Заслуги Птолемея.	72
Упадок древней астрономии. Теон и Гипатия.	72
Оценка греческой астрономии.	73

ГЛАВА III

Средние века (от 600 до 1500 г. после н. э.), § 55—69

Медленное развитие астрономии в этом периоде.	75
Восток. Появление астрономической школы при дворе халифов. Возрождение астрологии. Переводы с греческого Гонецина бен-Исака, Исака бен-Гонецина, Табита бен-Корра и других.	75
Багдадская обсерватория. Измерение Земли. Поправки астрономических данных греков. Трепидация.	77
Альбатений. Открытие движения солнечного апогея.	77
Абул-Вафа. Мнимое открытие вариации Луны. Ибн-Юнис. «Гакемитские таблицы»	78
Развитие астрономии в магометанских владениях. Марокко и Испания. Арагаль. «Толедские таблицы»	79
Нассир-Эддин и его школа. «Ильханские таблицы». Более точная оценка прецессии.	79
Татарская астрономия. Улуг-Бег. Его звёздный каталог.	80
Оценка восточной астрономии этого периода. Арабские цифры. Арабские названия звёзд и астрономические термины.	80
Запад. Общий застой после упадка римской империи. Бада. Возрождение наук при дворе Карла Великого. Алкуин.	81
Влияние мусульманской науки. Герберт. Переводы с арабского. Платон Тиволийский, Ателлар из Бата, Герардо из Кремоны. Альфонс X и его школа. «Альфонсинские таблицы» и «Libros del Saber».	82

Учёные тринадцатого века: <i>Альберт Великий. Чекко д'Асколи, Роджер Бэкон. «Sphaera mundi» Сакробоско</i>	83
<i>Пурбах и Региомонтан</i> . Влияние оригинальных греческих авторов. Нюрнбергская школа. <i>Вальтер</i> . Книгопечатание. Конфликт между взглядами Аристотеля и Птолемея. Небесные сферы средних веков. Твердь и первый двигатель	83
<i>Леонардо да Винчи</i> . Пепельный свет. <i>Фракастор</i> и <i>Апиан</i> . Наблюдения комет. <i>Нониус</i> . Измерение Земли <i>Фернеля</i>	87

ГЛАВА IV

Коперник (1473—1543 гг.), § 70—92

Возрождение наук	89
Жизнь <i>Коперника</i> . Развитие его идей. Обнародование « <i>Commentariolus</i> ». <i>Ретикус</i> и « <i>Prima Narratio</i> ». Обнародование « <i>De Revolutionibus</i> ». Центральная идея труда Коперника. Отношение к прежним писателям	90
<i>De Revolutionibus</i> . Первая книга. Постулаты. Принцип относительного движения в приложении к кажущемуся годичному движению Солнца и суточному движению небесной сферы	96
Два движения Земли. Ответы на возражения	97
Движение планет	101
Времена года	102
Конец первой книги. Вторая книга. Увеличение наклонения эклиптики. Звёздный каталог	103
Третья книга. Прецессия	103
Третья книга. Годичное движение Земли. Афелий и перигелий	103
Четвёртая книга. Теория Луны. Расстояния Солнца и Луны. Затмения	104
Пятая и шестая книги. Теория планет. Синодический и сидерический периоды	105
Объяснение точек стояния	109
Подробная теория планет; её недостатки	110
Коперник пользуется эллипсами	111
Затруднения в его системе	112

ГЛАВА V

Признание Коперниковой теории и успехи наблюдения (1543—1601 гг.), § 93—112

Первый приём, оказанный « <i>De Revolutionibus</i> ». <i>Рейнгольд</i> . «Прусские таблицы»	114
Коперниканство в Англии. Проникновение коперниканства в Россию	115
Затруднения в признании Коперниковой системы. Недостаток успехов динамики и наблюдений	116
Кассельская обсерватория. Ландграф <i>Вильгельм IV</i> , <i>Ротман</i> и <i>Бюрги</i> . Звёздный каталог. Бюрги изобретает маятник	117
Тихо Браге. Первые годы его жизни	118
Новая звезда 1572 года. Путешествия по Германии	120
Поселение на Гвэне. Уранибург и Стьернеборг. Жизнь и труды на Гвэне	121
Комета 1577 года и другие	123
Книги о новой звезде и комете 1577 года	123
Тихова система мира. Ссора с <i>Реймерсом</i> <i>Бэром</i>	124

Последние годы на Гвэне; разрыв с королём	125
Издание « <i>Astronomiæ Instauratæ Mechanica</i> » и звёздного каталога. Приглашение от императора	126
Жизнь в Бенатене. Сотрудничество <i>Кеплера</i> . Смерть	127
Судьба тиховых наблюдений и инструментов	127
Оценка трудов Тихо. Точность его наблюдений. Усовершенствование искусства наблюдений	127
Исправленные оценки астрономических постоянных. Теория Луны. Вариация и годичное уравнение	129
Звёздный каталог. Отказ от трепидации. Неоконченный труд о планетах	130

ГЛАВА VI

Галилей (1564—1642 гг.), § 113—134

Первые годы	131
Маятник	131
Обращение от медицины к математике. Его первая книга	132
Профессура в Пизе. Опыты над падающими телами. Протесты против ига авторитета	132
Профессура в Падуе. Усвоение взглядов Коперника	135
Телескопические открытия. Изобретение телескопа <i>Липперсгеймом</i> . Его применение к астрономии <i>Гарриотом</i> , <i>Симоном Мариусом</i> и Галилеем	135
«Звёздный Вестник». Наблюдения Луны	136
Новые звёзды. Разрешение на звёзды частей Млечного Пути	137
Открытие спутников Юпитера. Их важность для коперниканского спора	137
Назначение к Тосканскому двору	139
Наблюдения Сатурна. Открытие фаз Венеры	139
Наблюдения <i>Фабриция</i> , <i>Гарриота</i> , <i>Шейнера</i> и Галилея над солнечными пятнами. « <i>Macchie Solari</i> ». Доказательство, что пятна не планеты. Наблюдения над тенью и полутенью	139
Богословские споры. Письмо к великой герцогине <i>Христине</i>	142
Поездка в Рим. Первое осуждение. Запрещение коперниковых книг. Метод определения долготы. Спор о кометах. « <i>Il Saggiatore</i> ».	144
Разговор о двух главных системах мира. Его подготовка и обнародование	145
Собеседники. Опора для коперниковой системы в телескопических открытиях. О звёздном параллаксе. Дифференциальный метод параллакса	146
Динамические доводы в пользу движения Земли. Первый закон движения. Приливы	148
Тонко замаскированное коперниканство «Разговора». Предисловие. Вызов в Рим. Суд инквизиции. Осуждение и отречение. Запрещение «Разговора».	150
Последние дни. Жизнь в Арчетри. Либрация Луны. «Две новые науки». Равномерное ускорение и первый закон движения. Слепота и смерть	152
Оценка трудов Галилея. Его научный метод	155

ГЛАВА VII

Кеплер (1571—1630 гг.), § 135—151

Первые годы и богословские занятия	157
Лекции математики в Граце. Астрономические исследования и размышления. « <i>Mysterium Cosmographicum</i> »	158

Религиозные волнения в Штирии. Работа с Тихо	160
Назначение в преемники к Тихо от императора <i>Рудольфа</i> . Сочинение о новой звезде 1604 г. и по оптике. Теория преломления и новая форма телескопа	160
Изучение движения Марса. Неудачные попытки объяснить его. Эллипс. Открытие первых двух законов применительно к Марсу. «Комментарии о движениях Марса»	161
Предположительное распространение кеплеровых законов на другие планеты	164
Отречение и смерть Рудольфа. Назначение Кеплера в Линц	164
«Гармония мира». Открытие третьего закона. «Музыка сфер». «Сокращение коперниковой астрономии». Его запрещение. Своеобразная поправка расстояния Солнца. Наблюдение солнечной короны	165
Трактат о кометах	167
Религиозные волнения в Линце. Переезд в Ульм	168
«Рудольфинские таблицы»	169
Работа у Валленштейна. Смерть	169
Желкие открытия. Размышления о тяжести	170
Оценка трудов Кеплера	171

ГЛАВА VIII

От Галилея до Ньютона (1638—1687 гг.), § 152—163

Общий характер астрономического прогресса в течение этого периода	172
Шейнеровы наблюдения солнечных факелов. <i>Гевелий</i> . Его «Селенография» и сочинения о кометах. Его звездный каталог. «Новый Альмагест» <i>Риччиоли</i>	172
Планетные наблюдения. Открытие <i>Гюйгенсом</i> спутника Сатурна и его кольца	173
Изобретение микрометра <i>Гаскойнем</i> и <i>Озу</i> . Телескопические перекрестные нити <i>Пикара</i>	175
<i>Горрокс</i> . Распространение кеплеровой теории на Луну. Наблюдение прохождения Венеры	176
Гюйгеново открытие часового маятника. Его теория кругового движения	177
Измерение Земли <i>Снеллиусом</i> , <i>Норвудом</i> и <i>Пинаром</i>	177
Парижская обсерватория. <i>Доминик Кассини</i> . Его открытие четырех новых спутников Сатурна. Прочие его работы	178
Кайеннская экспедиция <i>Рише</i> . Наблюдения над маятником. Наблюдения Марса в противостоянии. Горизонтальный параллакс. Годичный или звездный параллакс	179
<i>Ремер</i> и скорость света	181
<i>Декарт</i>	181

ГЛАВА IX

Всемирное тяготение (1643—1727 гг.), § 164—195

Деление жизни <i>Ньютона</i> на три периода	183
Первые годы, 1643—1665 гг.	183
Большой продуктивный период, 1665—1687 гг.	184
Главные подразделения его трудов: астрономия, оптика, чистая математика	184
Оптические открытия. Отражательные телескопы <i>Грегори</i> и <i>Ньютона</i> . Спектр	184
<i>Ньютоново</i> описание своих открытий, 1665—1666 гг.	184

Начало его работы над тяготением. Прежние мысли об этом предмете Кеплера, <i>Борелли</i> и Гюйгенса	186
Проблема кругового движения. Ускорение	187
Закон обратных квадратов, полученный из третьего закона Кеплера планетных орбит, рассматриваемых как круги	188
Распространение земной тяжести до Луны. Несовершенство теории	189
Размышления <i>Гука</i> и <i>Рена</i> о планетных движениях и о тяжести. Ньютоново второе вычисление движения Луны. Согласие с наблюдением.	192
Решение задачи эллиптического движения. Посещение Ньютона <i>Галлеем</i> .	193
Представление в Королевское Общество трактата « <i>De Motu</i> ». Издание « <i>Principia</i> ».	193
« <i>Principia</i> ». Их деление	194
Законы движения. Первый закон. Ускорение в его общей форме. Масса и сила. Третий закон	194
Закон всемирного тяготения	196
Притяжение сферы.	197
Общая задача объяснения движений солнечной системы тяготением и законами движения. Возмущения	198
Лунная теория Ньютона	199
Измерение массы планеты силой, с какой она притягивает своих спутников.	199
Движение Солнца. Центр тяжести солнечной системы. Относительность движения	200
Несферичность формы Земли и Юпитера	201
Объяснение прецессии	202
Приливы. Масса Луны, вычисленная на основании приливных наблюдений	203
Движения комет. Параболические орбиты	204
Принятие « <i>Principia</i> »	205
Третий период жизни Ньютона, 1687—1727 гг. Парламентская карьера. Улучшение лунной теории. Назначение к монетному двору и переезд в Лондон. Выпуск « <i>Оптики</i> » и второго и третьего изданий « <i>Principia</i> » <i>Котсом</i> и <i>Пембертоном</i> . Смерть	206
Оценка трудов Ньютона <i>Лейбницем</i> , <i>Лагранжем</i> и им самим.	208
Сравнение его астрономических трудов с работами его предшественников. Понятие о материальной вселенной, как о состоящей из тел, действующих друг на друга по определенным законам.	208
Научный метод Ньютона.	210

ГЛАВА X

Наблюдательная астрономия в XVIII в.; § 196—227

Астрономия тяготения. Её развитием мы почти всецело обязаны астрономам континента. Польза анализа. Английская наблюдательная астрономия.	212
<i>Фламстид</i> . Основание Гринвичской обсерватории. Его звёздный каталог	213
<i>Галлей</i> . Каталог южных звёзд	216
Комета <i>Галлея</i>	217
Векное ускорение среднего движения Луны	217
Прохождения Венеры	218
Собственные движения неподвижных звёзд	218
Лунные и планетные таблицы. Жизнь в Гринвиче. Мелкие работы.	218
<i>Брадлей</i> . Его жизнь	220
Открытие и объяснение аберрации. Постоянная аберрации	222

Неудачные попытки открыть параллакс	227
Открытие нутации. <i>Мэчин</i>	229
Таблицы спутников Юпитера <i>Брадлея</i> и <i>Варгентина</i> . Определе- ние долгот и другие труды.	230
Наблюдения <i>Брадлея</i> . Редукция	231
Плотность земли. <i>Маскелайн</i> . Опыт <i>Кэвендиша</i>	233
Французская школа <i>Кассини-Маральди</i>	234
Измерения Земли. Лапландская и Перуанская дуги. <i>Мопертюи</i> . <i>Лакайль</i> . Его жизнь. Экспедиция на мыс Доброй Надежды.	235
Звёздные каталоги и другие труды.	238
<i>Тоуил Майер</i> . Его наблюдения. Лунные таблицы. Премия за нахож- дение метода долгот	240
Прохождения Венеры 1761 и 1769 годов. Расстояние Солнца.	242

ГЛАВА XI

Астрономия тяготения в XVIII столетии, § 228—250

Ньютонова проблема. Задача о трёх телах. Метод приближения.	245
Лунная теория и планетная теория.	245
Прогресс принципов Ньютона во Франции. Популяризация <i>Вольтера</i> . Пять великих астрономов-математиков. Первенство Франции.	248
<i>Эйлер</i> . Его жизнь. Петербург и Берлин. Его сочинения.	249
<i>Клеро</i> . Фигура Земли. Возвращение кометы Галлея.	250
<i>Даламбер</i> . Его динамика. Прецессия и нутация. Его равносторон- ность. Соперничество с Клеро.	251
Лунные теории и лунные таблицы <i>Эйлера</i> , <i>Клеро</i> и <i>Даламбера</i> . Усовершенствование лунной теории Ньютона	252
Планетная теория. Определение масс Луны и Венеры, сделанное <i>Клеро</i> . <i>Лаланд</i>	255
Планетная теория <i>Эйлера</i> . Метод вариации элементов или пара- метров.	256
<i>Лагранж</i> . Его жизнь. Берлин и Париж. «Аналитическая меха- ника».	258
<i>Лаплас</i> . Его жизнь. «Небесная механика» и «Система мира». Поли- тические назначения.	261
Успехи <i>Лагранжа</i> и <i>Лапласа</i> по сравнению с трудами их ближай- ших предшественников.	262
Объяснение векового ускорения Луны <i>Лапласом</i>	262
Лунная теория <i>Лапласа</i> . Таблицы <i>Бюрга</i> и <i>Буржардта</i>	264
Периодические и вековые неравенства.	265
Объяснение взаимных возмущений Юпитера и Сатурна. Большие неравенства	266
Теоремы устойчивости солнечной системы. Фонд эксцентриситета и фонд наклонения	268
Величина некоторых вековых неравенств	271
Периодические неравенства. Солнечные и планетные таблицы на основе «Небесной механики».	271
Малые задачи астрономии тяготения. Спутники. Кольцо Сатурна. Прецессия и нутация. Фигура Земли. Приливы. Кометы. Массы пла- нет и спутников	272
Решение Ньютоновой проблемы астрономами восемнадцатого века. Небулярная гипотеза	273

ГЛАВА XII

Гершель (1738—1822 гг.), § 251—271

Юность <i>Вильяма Гершеля</i> . Его первый телескоп.	276
Открытие планеты Урана и его последствия. Переезд Гершеля в Слоу.	279

Фабрикация телескопов. Женитьба. Сорокафутовый телескоп.	
Открытие Урана и спутников Сатурна	280
Жизнь и работа в Слоу. Последние годы. <i>Каролина Гершель</i> . . .	282
Астрономическая программа Гершеля. Исследование неподвижных звёзд	283
Распределение звёзд в пространстве. Черпание звёзд. Теория вселенной—жернова. Недостатки основной предпосылки; частичное исправление их. Пользование яркостью как критерием расстояния.	
Измерение яркости. Пространство проникающая сила телескопа . .	284
Туманности и звёздные скопления. Большие каталоги Гершеля.	288
Отношение туманностей к звёздным кучам. Теория островной вселенной. Теория светящейся жидкости. Распределение туманностей.	
Сгущение туманностей в звёздные скопления	290
Неразрешимость Млечного Пути	291
Звёздные пары. Их предположительная пригодность для определения параллакса. Каталоги. Вероятная связь между членами пары.	291
Открытие обращения звёздных пар. Двойные звёзды. Их непригодность для определения параллакса.	293
Движение Солнца в пространстве. Различные положения, указанные для <i>апекса</i>	294
Переменные звёзды. Мира и Алголь. Каталоги сравнительной яркости. Метод последовательности. Переменчивость α Геркулеса.	296
Труды Гершеля о солнечной системе. Новые спутники. Наблюдения Сатурна, Юпитера, Венеры и Марса	298
Наблюдения Солнца. <i>Вильсон</i> . Теория строения Солнца . . .	299
Другие исследования Гершеля	300
Сравнение Гершеля с современниками. <i>Шретер</i>	301

ГЛАВА XIII

Деятнадцатый век, § 272—320

Три главных подразделения астрономии: наблюдательная, тяготения и описательная	302
Сильный рост описательной астрономии в XIX в.	303
Наблюдательная астрономия. Прогресс инструментов. Введение фотографии	304
Метод наименьших квадратов. <i>Лежандр</i> и <i>Гаусс</i>	304
Другие труды Гаусса. « <i>Theoria Motus</i> ». Вторичное открытие малой планеты Цереры	306
<i>Бессель</i> . Его улучшение метода редукции. Таблица преломления. « <i>Fundamenta Nova</i> » и « <i>Tabulae Regiomontanae</i> »	306
Параллакс 61 Лебеда. Её расстояние	307
<i>Гендерсон</i> —параллакс α Центавра и <i>Струве</i> —параллакс Веги.	
Новейшие способы определения параллаксов	308
Звёздные каталоги. Фотографическая карта неба. Деятельность Пулковской обсерватории	309
Расстояние Солнца. Прохождения Венеры. Наблюдение Марса и малых планет в противостоянии. Суточный метод. Гравитационный метод, лунный и планетный. Методы, основанные на скорости света. Сводка результатов. Изменение широты. Твёрдость Земли	312
Астрономия тяготения. Лунная теория. <i>Дамуазо</i> , <i>Пуассон</i> , <i>Понтекулан</i> , <i>Леббок</i> , <i>Ганзен</i> , <i>Делонэ</i> , <i>Ньюкомб</i> , <i>Адамс</i> , <i>Хилл</i> .	
Вековое ускорение среднего движения Луны. Адамсова поправка Лапласа. Приливное трение в объяснении Делонэ	315
Планетная теория. <i>Леверрье</i> , <i>Гюльден</i> , <i>Пуанкаре</i>	316
Открытие Нептуна <i>Леверрье</i> и <i>Адамсом</i>	316
Лунные и планетные таблицы. Разногласия между теорией и наблюдением.	317

Кометные орбиты. Возвращение кометы Галлея в 1835 г. Комета Энке и другие периодические кометы	318
Теория приливов. Анализ приливных наблюдений Леббока, Уэселла, лорда Кельвина и Дж. Дарвина. Приливы Земли	318
Устойчивость солнечной системы	319
О п и с а т е л ь н а я а с т р о н о м и я. Открытие малых планет или астероидов. Их число, распределение и размеры	319
Открытие спутников Нептуна, Сатурна, Урана, Марса и Юпитера и флерового кольца Сатурна	323
Поверхность Луны. Трещины. Лунная атмосфера	327
Поверхности Марса, Юпитера и Сатурна. Каналы на Марсе и их объяснение. Максвеллова теория Сатурнова кольца. Вращение Меркурия и Венеры	326
Поверхность Солнца. Открытие периодичности солнечных пятен, сделанное Швабе. Связь между солнечными пятнами и земным магнетизмом. Наблюдения Каррингтона над движением и распределением пятен	330
Спектральный анализ. Ньютон, Воластон, Фраунгофер, Кирхгофф. Химия Солнца	331
Затмения Солнца. Корона, хромосфера и выступы. Спектроскопические методы наблюдения	334
Спектроскопический метод определения движения по лучу зрения наблюдателя. Принцип Доплера. Приложение его к Солнцу	336
Состав Солнца	337
Наблюдения комет. Ядро. Теория образования и классификация хвостов комет, предложенная Бредигиным. Их спектры. Родство между кометами и метеорами.	337
Звёздная астрономия. Жизнь Джона Гершеля. Его каталоги туманностей и двойных звёзд. Экспедиция на мыс Доброй Надежды. Измерение солнечной теплоты	341
Двойные звёзды. Наблюдения Струве и других. Орбиты физических пар	344
Телескопы лорда Росса. Его наблюдения туманностей. Возрождение теории островных вселенных	345
Применение спектроскопа к изучению туманностей	347
Спектроскопическая классификация звёзд Секки. Химия звёзд. Звёзды, в спектре которых наблюдаются светлые линии	347
Движение звёзд по лучу зрения. Открытие физических пар с помощью спектроскопа. Затменные переменные звёзды.	347
Наблюдения переменных звёзд	348
Звёздная фотометрия. Погсоново световое отношение. Оксфордская, Гарвардская и Потсдамская фотометрия	348
Структура звёздной системы. Различные типы туманностей	350
Лапласова небулярная гипотеза в свете новейших открытий. Солнечная теплота. Теория сжатия Гельмгольца. Влияние приливного трения на развитие солнечной системы. Теория Дж. Дарвина относительно происхождения Луны. Заключение	353
Литература	357
Именной указатель	358
Краткий предметный	362

ГЛАВА I

ПЕРВОБЫТНАЯ АСТРОНОМИЯ

Неутомимое Солнце и круглый, сверкающий Ме-
сяц,
Также и звёзды, что свод необъятного неба вен-
чают;
И Орион, и Плеяды, и семеро дочерей Атласа;
Тесная кучка Гиад, и Медведица, что Колесницы
Прозвище носит. Свой оборот вокруг небесного
вала свершая,
На Ориона она око всегда устремляет,
И лишь одна из бесчисленных светочей неба
Не поникает челом золотым в глубину океана.

И л и а д а

1. Астрономия есть наука, изучающая Солнце, Луну, звёзды и другие светила (например, кометы), встречающиеся на небесном своде. До некоторой степени она занимается и Землёй, но интересуется при этом только теми её свойствами, которые при-
сущи и небесным телам.

В древности астрономы почти исключительно занимались наблюдением видимых движений небесных светил. Позднее они научились определять расстояния и размеры многих светил, а некоторые даже и взвешивать; в последнее же время они при-
обрели массу сведений относительно природы этих светил и веще-
ства, из которого они состоят.

2. Мы ничего не знаем о зарождении астрономии и можем только догадываться, каким образом некоторые из простейших научных фактов, особенно те, которые имели непосредственное влияние на человеческую жизнь, постепенно вошли в сознание первобытного человечества.

С таких фактов всего удобнее начинать изложение, знакомясь с ними в том порядке, в каком они сами представляются обыкновенному наблюдателю.

3. Солнце, как мы видим, ежедневно восходит в восточной части неба, подымается вверх, достигает к полудню наивысшего своего положения на юге, затем начинает спускаться вниз и, на-
конец, закатывается в западной части небосклона. Но дневной путь, описываемый им на небе, не всегда одинаков: точки гори-
зонта, в которых оно восходит и заходит, высота его на небе в полдень и время, протекающее от восхода до заката,—все эти

элементы подвержены ряду изменений, сопровождаемых переменами в состоянии погоды, растительности и т. д.; благодаря этому происходит смена времён года, возвращающихся через промежуток времени, называемый годом.

4. Солнце всегда представляется нам в виде яркого, круглого диска. Наиболее заметное после него небесное светило, Луна, претерпевает изменения в форме, поражающие глаз наблюдателя. Легко заметить, что эти изменения повторяются в правильном порядке и приблизительно через равные промежутки времени.

Несколько труднее уловить связь между формой Луны и её положением на небе относительно Солнца. Когда Луна появляется вскоре после заката, недалеко от того места, где зашло Солнце, то она имеет вид тонкого серпа (рис. 11), вогнутая сторона которого обращена от Солнца, а выпуклая—к Солнцу; в это время Луна закатывается вскоре после дневного светила. В следующий вечер она уже дальше от Солнца, серп её шире, и заходит она позже. Так продолжается дальше, пока не пройдёт неделя, в конце которой Луна приобретает форму полудиска; плоский край его обращён в сторону, противоположную Солнцу. Полудиск растёт и в конце второй недели превращается в полный диск; в это время Луна находится почти прямо против Солнца и потому восходит при солнечном закате, а заходит при восходе Солнца. Затем она начинает приближаться к Солнцу с противоположной стороны и в конце недели снова приобретает форму полудиска, плоский край которого опять обращён от Солнца, но теперь уже не к востоку, а к западу. Полудиск превращается в постепенно суживающийся серп, время восхода Луны приближается ко времени солнечного восхода и, наконец, Луна совсем исчезает из глаз. Через два-три дня показывается «новая» Луна, и ряд перемен повторяется снова. Различные формы, приобретаемые Луной, называются *фазами* её; промежуток, обнимающий цикл таких перемен, т. е. месяц, естественно должен был показаться удобным мерилем времени; таким образом, день, месяц и год легли в основу первобытной грубой системы измерения времени.

5. Несколько наблюдений над звёздами с достаточной ясностью могут убедить в том, что и эти светила, подобно Солнцу и Луне, изменяют своё положение на небесном своде: те из них, которые находятся в восточной части горизонта, поднимаются вверх, находящиеся на западе спускаются вниз и закатываются, иные передвигаются по небосклону с востока на запад, а другие, хотя и участвуют в движении, никогда не восходят и не заходят. Хотя первые попытки полной классификации звёзд относятся к более поздней стадии развития астрономии, однако уже и первым наблюдателям легко было распознать и выделить несколько звёздных групп, и их положением на небе могли пользоваться

для грубой оценки времени в ночную пору, подобно тому, как положение Солнца определяет время дня.

6. Впоследствии, когда стали возможны более точные и более длительные наблюдения и когда к объяснению их приложены были известные усилия мысли, перечисленные нами элементарные представления были значительно дополнены и расширены.

Некоторые народы, достигшие высокой ступени цивилизации уже в древнейшее время, претендуют на важные успехи в области астрономии. Греческие предания приписывают значительные астрономические познания египетским жрецам, жившим за тысячи лет до начала христианской эры, и некоторые особенности в устройстве пирамид действительно указывают на существование довольно точных астрономических наблюдений в ту отдалённую эпоху; у китайцев имеются записи наблюдений, восходящих, как думают, к XXV в. до н. э.; некоторые священные книги индусов заставляют предполагать у них существование астрономических сведений ещё несколькими веками раньше этой эпохи, а первые наблюдения вавилонских жрецов-халдеев, повидимому, относятся приблизительно к той же эпохе, разве что немногим позже.

С другой стороны, первые записи астрономических наблюдений, подлинность которых не подлежит никакому сомнению, встречаются только в VIII в. до н. э.

Мы не будем пытаться выделить из массы сомнительных преданий и гадательных толкований надписей, трактующих об этой древней астрономии, несколько зёрен истины, заключающихся в них, а займёмся теми астрономическими познаниями, какие находились в распоряжении первых исторически известных астрономов—греков, оставив открытым вопрос о том, какую часть их они получили от египтян, халдеев, какую—от своих предков или из других источников.

7. Если вы взглянете на небо в ясную ночь, то вам покажется, что вы видите бесчисленное множество ¹⁾ звёзд, разбросанных по сферической поверхности, в центре которой находится наблюдатель. Эта сферическая поверхность, т. е. небо, в астрономии носит название *небесной сферы*; видимая часть этой сферы ограничена Землёй, так что глаз обозревает лишь половину её; но достаточно самого слабого усилия воображения, чтобы представить себе и другую её половину, как бы лежащую под Землёй и заключающую в себе остальные звёзды и Солнце. Эта сфера представляется наблюдателю очень большой, хотя он и не в состоянии произвести точной оценки её размеров.

Большей частью мы ещё в детстве узнаём о том, что звёзды находятся от нас на различных расстояниях и что никакой сферы

¹⁾ В нашем климате наибольшее число звёзд, которые даже очень зоркий наблюдатель может видеть одновременно, равно примерно 2000.

в действительности не существует. Древние народы этого не знали: для них небесная сфера обладала реальным существованием и представлялась твёрдым полым хрустальным шаром.

Но и современные астрономы, подобно древним, находят удобным пользоваться этой несуществующей сферой для очень многих целей, так как она даёт наилучший способ представления тех направлений, по которым мы видим небесные тела и их движения. Направление—это всё, что нам может сказать прямое наблюдение относительно положения такого, например, объекта, как звезда; расстояние, если только его можно вообще узнать, определяется значительно более сложными способами.

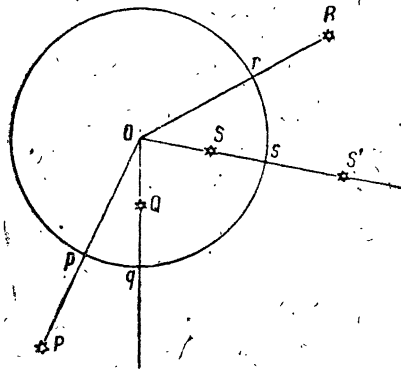


Рис. 1. Небесная сфера.

Начертим сферу и поместим в центре её, в точке O глаз наблюдателя (рис. 1), затем проведём прямую линию от O к звезде S ; она пересечёт небесную сферу в точке s . Звезда нам представится тогда в точке s , и кажущееся положение её не изменится, где бы она ни помещалась: в точке ли S или S' , лишь бы на той же линии. Значит, когда мы говорим, что звезда находится в точке s на небесном своде, то этим мы хотим лишь сказать, что она лежит

в направлении точки s , другими словами—где-нибудь на прямой линии OS , продолженной в мировое пространство.

Преимущества этого метода определения положений звёзд сразу станут нам понятны, если мы пожелаем сравнить положения нескольких звёзд между собою. Разница в направлении двух звёзд выражается углом, составленным прямыми, идущими от этих звёзд к глазу; например, если звёзды суть R и S , то углом ROS . Равным образом, различие в положении другой пары звёзд, P и Q , выражается углом POQ . Звёзды P и Q кажутся ближе или дальше друг от друга сравнительно со звёздами R и S , в зависимости от того, какой угол больше, POQ или ROS . Если мы отметим положение звёзд соответственными точками p, q, r, s на небесной сфере, то угол POQ (или, что всё равно, POQ) окажется больше или меньше угла ROS (или ROS), в зависимости от того, будет ли дуга pq больше или меньше дуги rs , и в таком же отношении; если, например, угол POQ вдвое меньше угла ROS , то и дуга pq окажется вдвое меньше дуги rs . Вот почему во всех случаях, где дело идёт о направлении звёзд, мы можем заменять угол между их направлениями дугой, соединяющей соответственные точки на небе, другими словами,—расстоянием между этими точками на небесной сфере. Эти дуги небесной сферы и глазом,

и геометрическим путём легче определять, чем углы, и поэтому небесная сфера имеет для нас важное значение, помимо исторического.

Не следует забывать, что видимое, *кажущееся* расстояние между двумя звёздами, т. е. расстояние между ними на небесной сфере, не имеет ничего общего с их действительным расстоянием друг от друга в пространстве. Например, на рисунке Q гораздо ближе к S , чем к P ; однако кажущееся расстояние, измеряемое дугой qs , в несколько раз превосходит дугу qr . Это кажущееся расстояние между двумя точками на небесной сфере численно измеряется углом между линиями, идущими от этих точек к глазу, в *градусах, минутах и секундах*¹⁾.

Мы уже говорили, что наблюдатель всегда остаётся в центре небесной сферы; это справедливо даже и в том случае, если он меняет своё местопребывание. Шар, однако, обладает только одним центром, и если сфера неподвижна, то наблюдатель не может передвигаться внутри её, оставаясь постоянно в центре. Древние астрономы устранили эту несообразность допущением, что небесная сфера настолько огромна, что все передвижения наблюдателя оказываются ничтожными по сравнению с её радиусом, и потому ими можно пренебречь. Так как мы пользуемся небесной сферой, как геометрической фикцией, то удобнее всего считать, что она передвигается вместе с наблюдателем, благодаря чему он и остаётся в центре.

8. Хотя все звёзды кажутся нам движущимися по небу и быстрота их движений различна, тем не менее расстояние между любыми двумя звёздами остаётся неизменным; вследствие этого их считали прикреплёнными к небесной тверди. Кроме того, мало-мальски внимательное наблюдение показывает, что, несмотря на кажущееся различие звездных движений, в них есть и нечто общее; именно, движение их происходит таким образом, как будто небесная сфера (с прикреплёнными к ней звёздами) вращается на оси, проходящей через центр сферы и через точку, лежащую поблизости от так называемой Полярной звезды. Эта точка называется *полюсом*. Но так как всякая прямая, проведённая через центр сферы, встречает её поверхность в двух точках, то ось небесной сферы пересекает её и во второй точке, противоположной первой и лежащей в той половине небесной сферы, которая находится под горизонтом. Эта вторая точка также носит название полюса; для отличия первую называют *северным*, а вторую — *южным полюсом*. Звёзды, рассеянные вблизи северного полюса, описывают вокруг него круги в направлении, обратном движению часовой стрелки; в этом направлении вращается, значит, и вся небесная сфера. Вращение это совершается рав-

¹⁾ Прямой угол делится на девяносто градусов (90°), градус — на шестьдесят минут ($60'$), минута — на шестьдесят секунд ($60''$).

номерно в течение двадцати четырёх часов без четырёх минут, так что звезда, занявшая какое-нибудь определённое положение

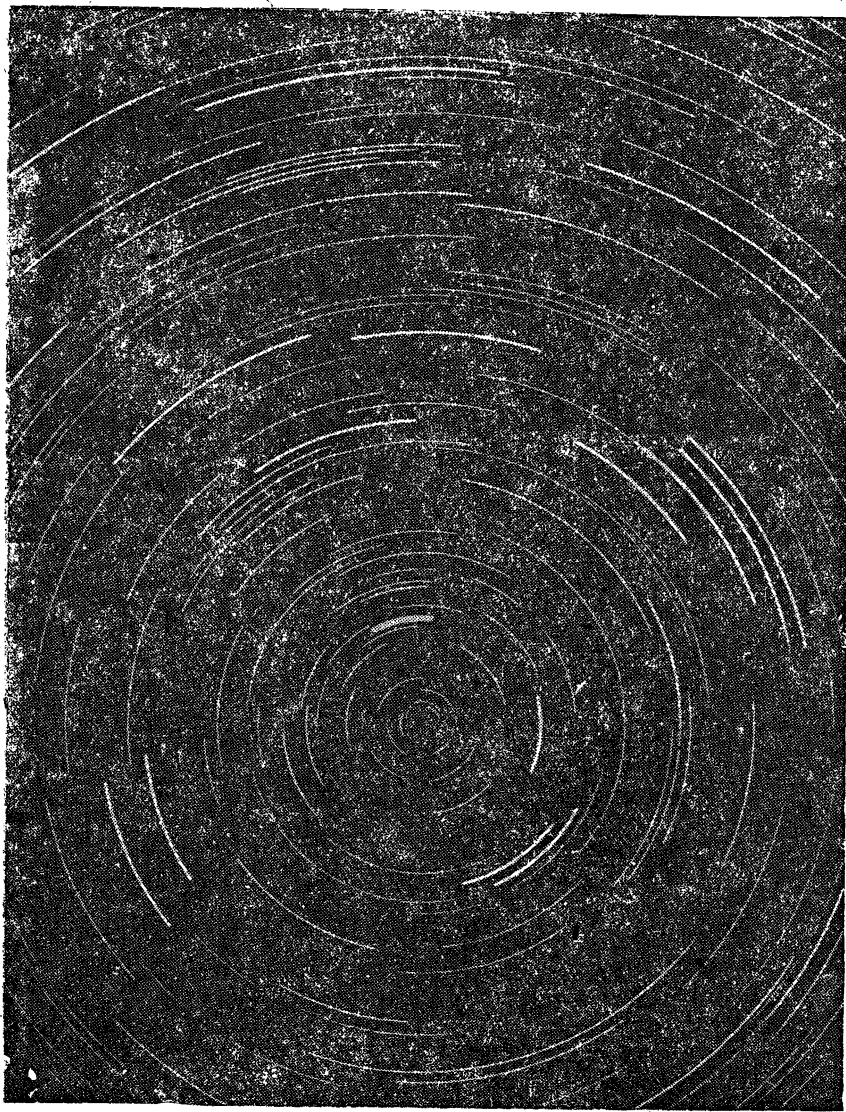


Рис. 2. Пути околополярных звёзд, отмечающие их перемещение за семи-часовой промежуток. Самая толстая линия обозначает путь Полярной звезды

на небе в полночь, займёт то же положение на следующую ночь в двенадцать часов без четырёх минут.

Луна подобно звёздам участвует в этом движении небесной сферы, точно так же и Солнце, хотя последнее обстоятельство труднее заметить благодаря тому, что звёзд не видно при солнечном свете.

Подобное движение, присущее всем небесным телам, в отличие от других, какими они обладают, называется *суточным движением*, или *суточным вращением* неба.

9. Дальнейшее изучение суточного вращения приведёт нас к знакомству с некоторыми важными кругами небесной сферы.

Каждая звезда, вращаясь, описывает круг, величина которого зависит от расстояния звезды от полюсов. Рис. 2 (стр. 22) представляет собой фотографический снимок, на котором видны пути, пройденные некоторыми околополярными звёздами в течение части ночи. Полярная звезда описывает столь малый круг, что движение её лишь с трудом распознается простым глазом, следующие за нею звёзды описывают большие круги и так далее, пока на полдороге между полюсами мы не встретим звёзд, которые описывают наибольший из кругов, какие только может описать звезда на небесной сфере. Этот круг называется *экватором*. Взглянув на рис. 3, легко убедиться в том, что половина экватора (EQW) лежит над горизонтом, а другая половина (WRE , отмечена пунктиром) под горизонтом. Вследствие этого звезда s , лежащая на экваторе, половину суток проводит над горизонтом, половину — под ним. Если звезда, как, например, S , лежит к северу от экватора (т. е. в одном полушарии с северным полюсом P), то большую часть своего суточного пути она совершает над горизонтом, а меньшую, отмеченную пунктиром, под ним; если же звезда, скажем σ , лежит вблизи северного полюса, или, точнее, если она лежит ближе к северному полюсу, чем ближайшая к нему точка горизонта K , то такая звезда никогда не заходит и вечно остаётся над горизонтом. Поэтому такая звезда называется *незаходящей*. С другой стороны, звезда S' , находящаяся к югу от экватора, совершает над горизонтом меньшую часть своего суточного пути, а звезда σ' , расстояние которой от северного полюса больше расстояния отдалённой от него точки горизонта H (или, другими словами, звезда, более близкая к южному полюсу, чем точка H), вечно остаётся под горизонтом.

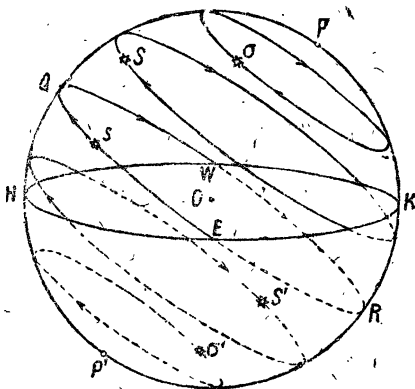


Рис. 3. Круги небесной сферы.

10. Достаточно самого поверхностного знакомства со звёздами, чтобы убедиться в том, что одни и те же звёзды не всегда бывают видны в одно и то же время ночи. Более внимательное и продолжительное наблюдение показывает, что вид неба правильно меняется из ночи в ночь и что по истечении года те же звёзды снова начинают наблюдаться в те же часы ночи, что и год тому назад. Объяснить эти перемены, обязанные своим существованием движению Солнца по небесной сфере, уже гораздо труднее, и неизвестный наблюдатель, открывший этот факт, несомненно сделал громадный шаг вперёд в развитии древней астрономии.

Заметьте какую-нибудь звезду в западной части небосклона, вскоре после заката Солнца, и попробуйте отыскать её спустя несколько дней в тот же самый час вечера; вы увидите, что она спустилась ниже и как бы придвинулась к Солнцу; ещё через несколько дней она исчезнет, а место её займет какая-нибудь другая звезда, лежащая к востоку от неё. В свою очередь, и эта звезда будет мало-помалу приближаться к Солнцу. С другой стороны, звёзды, после заката Солнца низко стоящие над восточным горизонтом, с каждым днём поднимаются выше, а место их занимают другие. Такого рода наблюдения над звёздами, восходящими или заходящими во время солнечного восхода или захода, убедили древних наблюдателей в том, что Солнце меняет своё положение относительно звёзд.

Только что описанные перемены в связи с неизменностью положения звёзд друг относительно друга показывают, что звёзды совершают своё суточное обращение быстрее Солнца и именно на такую величину, что в течение года успевают обогнать его на один полный оборот вокруг оси. Это можно выразить ещё иначе: звёзды как бы прикреплены к небесной сфере, а Солнце как бы движется по ней между звёздами с запада на восток (т. е. в направлении, противоположном суточному вращению) с такой скоростью, что в течение года успевает совершить полный оборот на небесной сфере и вернуться в прежнее положение.

Это *годовое движение* Солнца не исчерпывается, однако, одним лишь движением с запада на восток; в этом случае Солнце восходило бы и заходило, подобно звёздам, в одних и тех же точках горизонта, и его полуденная высота на небе, равно как и время от восхода до заката, была бы неизменна. Мы уже видели, что если звезда лежит на экваторе, то она проходит над горизонтом половину своего пути, если к северу от экватора—больше половины, а если к югу, то меньше половины суточного пути; это положение справедливо не для одних только звёзд, но и для всякого светила, участвующего в суточном движении небесной сферы. В летние месяцы (с марта по сентябрь), когда день длиннее ночи и большую половину суток Солнце остаётся над горизонтом, оно, естественно, должно находиться к северу от экватора; в зимние же месяцы (с сентября по март) Солнце должно быть южнее экватора.

Эта перемена в расстоянии Солнца от полюса сказывается ещё и в том обстоятельстве, что в зимние месяцы Солнце занимает более низкое положение на небе, чем в летние, и особенно это заметно по его высоте над горизонтом в полдень.

11. Следовательно, путь Солнца по небесной сфере наклонён к экватору; часть его лежит по одну сторону экватора, часть — по другую. Потребовалось, однако, немало тщательных наблюдений, прежде чем удалось доказать, что путь Солнца по небесной сфере — не что иное, как *большой круг* (т. е. круг, центр которого совпадает с центром сферы). Этот большой круг называют *эклиптикой* (от слова *eclipses*, затмения, происходящие тогда, когда Луна во время новолуния или полнолуния находится поблизости от этого круга или на нём), а угол, под которым он пересекает экватор, называется *наклоном* эклиптики. Существует мнение, что в 1100 г. до н. э. китайцам удалось измерить угол наклона эклиптики и найти для него удивительно точную величину в $23^{\circ}52'$ (см. гл. II, § 35). В справедливости этого утверждения можно сомневаться, но, с другой стороны, мнение некоторых позднейших греческих писателей будто Пифагор или Анаксимандр (в VI в. до н. э.) впервые открыли наклон эклиптики следует считать безусловно ошибочным, так как этот факт с достаточной точностью был известен халдеям и египтянам задолго до означенной эпохи.

Когда Солнце находится на экваторе (в точке пересечения его с эклиптикой), то день равен ночи; поэтому эпохи, в которые это случается, называются *равноденствиями*; *весеннее равноденствие* наступает, когда Солнце переходит через экватор из южной половины в северную (около 21 марта), а *осеннее равноденствие* наступает тогда, когда Солнце переходит экватор в обратном направлении (около 23 сентября). Точки пересечения экватора с эклиптикой называются *точками равноденствия* (весеннего или осеннего).

После весеннего равноденствия Солнце постепенно удаляется от экватора к северу, пока не достигнет, спустя три месяца, наибольшего расстояния от экватора, после чего снова начинает приближаться к нему. Момент, когда Солнце достигает наибольшего удаления к северу от экватора, называется *летним солнцестоянием*, так как в это время поступательное движение Солнца к северу прекращается, и оно как бы останавливается на одном месте. В момент *зимнего солнцестояния* Солнце находится в наибольшем удалении к югу от экватора. Точки эклиптики (B и D на рис. 4), в кото-

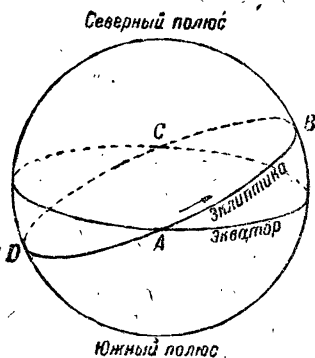


Рис. 4. Экватор и эклиптика.

рых Солнце находится в моменты солнцестояний, можно назвать *точками солнцестояний* (летнего или зимнего); они лежат на полпути между точками равноденствия.

12. Древнейшие наблюдатели, по всей вероятности, уже обращали своё внимание на некоторые группы звёзд, замечательные по своей форме или по яркости звёзд, их образующих, и пытались находить в них сходство с теми или иными предметами; таким образом, мы встречаемся уже в самые отдалённые времена с грубыми попытками разделить звёзды на группы, называемые *созвездиями*, и дать этим последним имена.

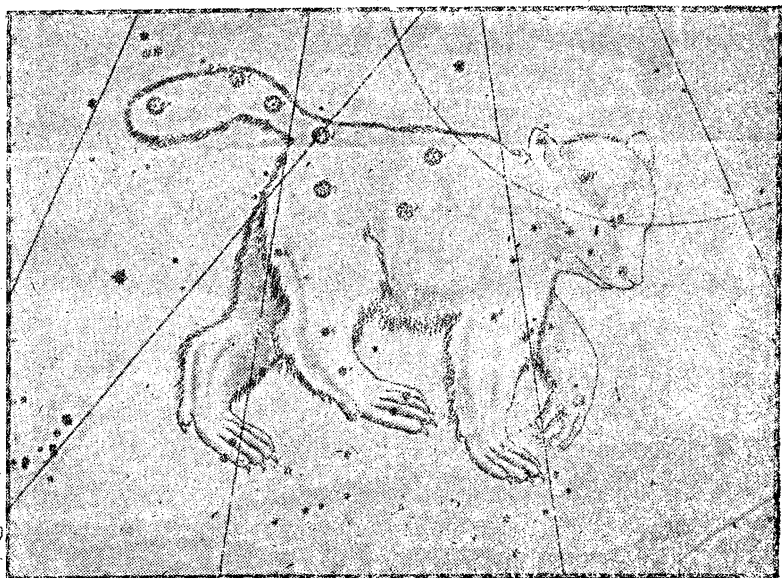


Рис. 5. Большая Медведица. Из *Уранометрии* Байера (1603).

В некоторых случаях звёзды, отнесённые к какому-либо созвездию, образуют настолько заметную группу на небе, что её легко отделить от других, хотя сходство между группой и тем предметом, именем которого она названа, может быть самым ничтожным. Например, семь ярких звёзд Большой Медведицы сразу бросаются в глаза всякому наблюдателю, и как бы напрашиваются на то, чтобы соединить их в созвездие, но сходство группы этих, а также других—менее ярких звёзд этого созвездия с фигурой медведя более чем отдалённое (рис. 5); яркая часть Большой Медведицы называется ещё и Колесницей, а в Америке—Черпаком. Созвездие Лиры называется ещё иногда Ястребом. Во многих случаях выбор звёзд представляется настолько произ-

вольным, что наводит на мысль, уж не происходило ли дело таким образом, что сначала изобреталась какая-нибудь фантастическая фигура, а затем выбирались звёзды для заполнения её контуров. В самом деле, как замечает Джон Гершель, «созвездиям давались имена и очертания как бы с нарочной целью породить возможно большую путаницу и неудобства. Бесчисленные змеи извиваются длинными кольцами, удержат которые не в силах ни одна память, на всём пространстве небесного свода; медведи, львы и рыбы, большие и малые, безнадежно путают номенклатуру» (*Очерки астрономии*, § 301).

В настоящее время названия созвездий, за исключением некоторых, преимущественно южных, присоединённых в современную эпоху, удержаны нами приблизительно в таком виде, в каком они существовали у древних греков; сведения, какими мы располагаем относительно системы созвездий у халдеев и египтян, показывают, что греки кое-что у них позаимствовали. Имена (кроме животных и обыкновенных предметов: Медведица, Змея, Лира и др.) заимствованы главным образом у героев греческой мифологии (Геркулес, Персей, Орион и т. д.). Созвездие Волосы Вероники, названное в честь египетской царицы III в. до н. э., — одно из немногих, связанных с именем исторического лица¹⁾.

13. В число первых созвездий, получивших названия, попали те, через которые проходит Солнце в своём годичном движении по небу, т. е. те, через которые протекает эклиптика. Месячный путь Луны также представляет собой большой круг, немногим отличающийся от эклиптики, и пути планет (§ 14) в свою очередь не очень сильно уклоняются от неё. Следовательно, Солнце, Луна и планеты (числом пять) всегда наблюдались древними в определённой области неба, границы которой удалены на 8° по обе стороны от эклиптики. Эта полоса названа *зодиаком* (греческое ζῳον, животное), потому что все расположенные в ней созвездия (за исключением одного) носят названия живых существ. Область зодиака разделили на двенадцать равных частей, названных *знаками зодиака*; каждый знак Солнце проходит приблизительно в течение месяца, так что положение его во всякое время можно приблизительно определить указанием на «знак» зодиака, в котором оно находится.

Звёзды в каждом «знаке» группировались в созвездие, причём знак и созвездие получали одно и то же название. Таким путём произошли двенадцать *зодиакальных созвездий*, имена которых, с

¹⁾ Я не пытался дать здесь описание созвездий и их положений, так как считаю такое описание почти бесполезным. Для начинающего лучше всего обратиться к какому-нибудь опытному лицу и под его руководством ознакомиться с наиболее заметными созвездиями в различных частях неба. Остальные уже легко отыскать с помощью звёздного атласа или звёздных карт, помещённых во многих руководствах.

незначительными изменениями, дошли до нас от древних греков¹⁾.

Однако благодаря некоторым изменениям в положении экватора и, следовательно, равноденственных точек, знак Овна, в котором по определению Гиппарха во II в. до н. э. (см. гл. II, § 42) находилась точка весеннего равноденствия, теперь уже совпадает не с созвездием Овна, а с созвездием Рыб; соответственно с этим произошли изменения во всём зодиаке.

В настоящее время при тех точных методах, какими располагает современная астрономия, знаки зодиака являются устарелым способом координации. Однако знаки созвездия Овна (γ) и созвездия Весов (\pm) до сих пор употребляются для обозначения точек весеннего и осеннего равноденствий.

В некоторых случаях отдельные звёзды также получали название или специально для них придуманное или по той части созвездия, на которую они приходятся, например: Сириус, Глаз Тельца, Сердце Льва и т. п. Но большинство названий звёзд арабского происхождения (гл. III, § 64).

14. Как мы видели, звёзды в целом сохраняют неизменное положение на небесной сфере²⁾, тогда как места Луны и Солнца изменяются. Но ещё в отдалённые времена было известно, что пять светил, по внешнему виду похожих на остальные звёзды, также меняют свои места на небе.

Эти пять светил—Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн—вместе с Солнцем и Луной были названы *планетами*³⁾ или странствующими звёздами, в отличие от остальных *неподвижных звёзд*. Меркурий наблюдается чрезвычайно редко, только вскоре после захода или незадолго до восхода Солнца, низко над горизонтом, и в нашем климате отыскание его требует немало внимания и труда; замечательно, что у нас не сохранилось никаких известий относительно того, как и когда его открыли. Венера известна под названием Вечерней или Утренней звезды. Честь открытия тождества Вечерней и Утренней звёзд приписывается Пифагору (VI в. до н. э.), но несомненно, это открытие было сделано ещё раньше, хотя в поэмах Гомера упоминаются оба эти звезды без указания на их тождественность. Юпитер и Марс

¹⁾ Приведём их в латинском двустииши:

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,

Libraque, Scorpius, Arcitenens, Capre, Amphora, Pisces.

или по русски:

Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева,
Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы.

²⁾ Мы при этом не считаем движений, почти или совсем недоступных простому глазу, из которых некоторые составляют наиболее интересные открытия телескопической астрономии; см., например, гл. X, § 207—215.

³⁾ Древний обычай включать Луну и Солнце в число планет теперь вышел из употребления, и мы не придерживаемся его в этой книге:

достигают иногда блеска Венеры, а Сатурн, при благоприятных условиях, по яркости приближается к самым ярким из неподвижных звёзд.

Пути планет на небесной сфере, как мы видели (§ 13), не очень уклоняются от эклиптики; но, в то время как Луна и Солнце постоянно движутся с запада на восток, движение планет иногда бывает *прямым*, с запада на восток, иногда же *попятным*, с востока на запад. Если мы станем следить за планетой, идущей среди звёзд к востоку, то заметим, что с течением времени она

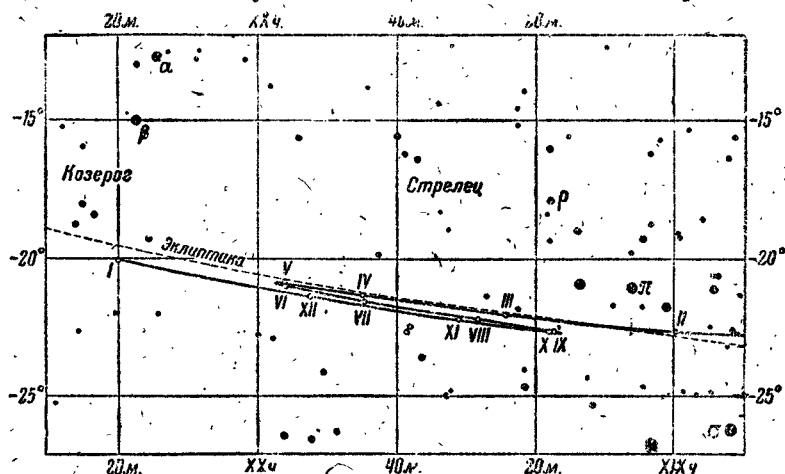


Рис. 6. Видимый путь Юпитера в 1937 г. Римскими цифрами отмечены начала месяцев.

начнет замедлять свое движение, пока совсем не остановится, а затем начнет двигаться с постепенно возрастающей скоростью в противоположном направлении; через некоторое время её стремление на запад замедлится и совсем прекратится, после чего планета снова пойдёт на восток, сначала медленно, затем быстрее, пока не вернётся в прежние условия и не претерпит тех же перемен. Точки небесной сферы, в которых планета меняет направление своего движения, называются *точками стояния* планеты. Время попятного движения всегда, однако, меньше периода движения прямого; у Юпитера, например, прямому движению в 270 дней соответствует попятное в 120 дней, а прямому движению Меркурия, продолжающемуся около 100 дней, соответствует попятное всего лишь в 20 дней (рис. 6 и 7). В результате планета движется поступательно с запада на восток и описывает свои пути на небесной сфере в периоды, различные для каждой планеты. Объяснение этих неправильностей планетного движения долгое время составляло одну из труднейших задач астрономии.

15. На мысль о том, что некоторые небесные тела лежат к нам ближе, чем другие, человека должны были навести затмения (§ 17) и *покрытия* Лунной звёзд и планет. Таким путём узнали, что Луна—самое близкое к нам из небесных тел. Так как для определения расстояний не имелось прямых методов, то за приблизительный критерий расстояния принята была скорость движения. Сатурн возвращается в прежнее положение между

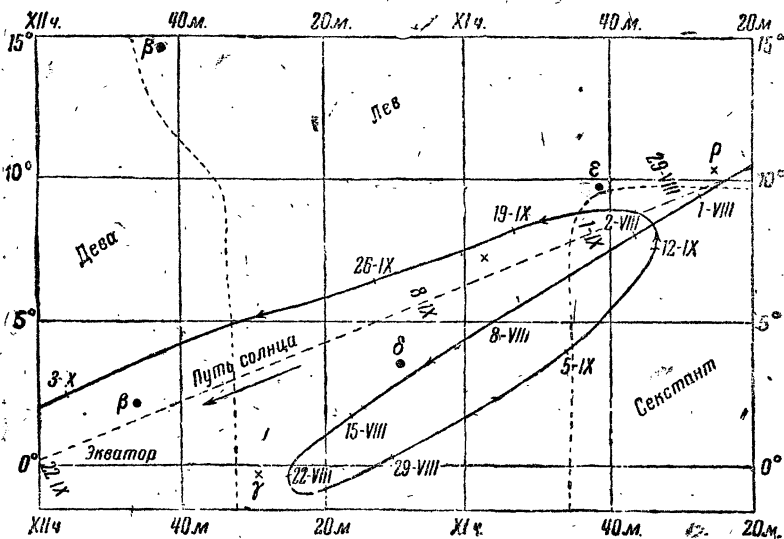


Рис. 7. Видимый путь Меркурия с 1 августа по 3 октября 1898 г. Числа при пунктирной линии отмечают положение Солнца, остальные—положение Меркурия.

звёздами в среднем через $29\frac{1}{2}$ лет, Юпитер—через 12, Марс—через 2 года. Солнце, Венера, Меркурий и в особенности Луна обнаруживают ещё более быстрое движение; этот порядок как бы указывал последовательность расстояний, и, таким образом, Сатурн считался самым отдалённым телом, а Луна—самым близким.

Поскольку мы видим звёзды всегда над нами, естественно было считать, что наиболее далёкие небесные тела являются в то же время наиболее высокими, и соответственно этому Юпитер, Сатурн и Марс, находившиеся (судя по скорости движения) дальше Солнца, назывались *верхними планетами* в отличие от *нижних планет*—Меркурия и Венеры. Это деление соответствует также разнице в характере движения: Меркурий и Венера как бы сопровождают Солнце в его годичном пути и никогда не удаляются от него больше чем на (соответственно) 29° и 47° , тогда как другие планеты занимают относительно Солнца всевозможные положения и не стеснены, таким образом, в своих движениях.

16. Астрономические знания, прежде всего, были приложены к измерению времени. Так как попеременное исчезновение и появление Солнца, несущего с собой тепло и свет, являлось самым заметным астрономическим фактом, то сутки естественно стали простейшей единицей времени¹⁾. Некоторые из цивилизованных народов древности делили время от восхода до заката, а также и ночь на 12 равных промежутков или часов. Сообразно с этим дневной час летом был длиннее, чем зимой, и длина часа менялась в течение года. В Вавилоне, например, где существовало такое обыкновение, длина дневного часа в середине лета была почти на половину длиннее, чем зимой, а на широте Лондона тот же промежуток оказался бы вдвое длиннее зимнего. Греки внесли поэтому значительное усовершенствование, разделивши, в сравнительно более позднее время, сутки на 24 равных часа. Некоторые древние народы делили сутки на 12 двойных часов, а другие даже на 60 часов.

Вслед за сутками напрашивается и другая, не менее очевидная единица времени—*лунный месяц*, или период, в течение которого Луна проходит через все свои фазы. Третья независимая единица времени есть год. Хотя для повседневной жизни год гораздо важнее месяца, однако древнейшие системы измерения времени основаны были на месяце, а не на годе; причина та, что год гораздо длиннее месяца, и точно уловить момент начала того или иного времени года гораздо труднее, чем начало лунной фазы, а, значит, труднее найти и продолжительность года. В месяце насчитывали почти точно $29\frac{1}{2}$ дней, а так как период из круглого числа суток был, очевидно, удобнее для практических целей, то его считали попеременно то в 29 дней, то в 30, приводя, таким образом, календарь в согласие с лунными фазами (гл. II, § 19).

И халдеи, и египтяне, повидимому, знали, что год состоит из $365\frac{1}{4}$ дней; египтяне, для которых год имел огромное значение ввиду разлития и обмеления Нила, раньше всех народов, по всей вероятности, предпочли год месяцу. Они установили продолжительность его в 365 дней.

Происхождение семидневной недели отлично от происхождения года или месяца и коренится в некоторых астрологических представлениях относительно планет. Каждым часом суток «управляла» какая-нибудь планета (включая сюда и Луну с Солнцем), и каждый день получал название от планеты, управляющей первым часом этого дня. Считая планеты в вышеуказанном порядке (§ 15), мы найдём, что Сатурн управлял первым часом первого дня, а, значит,—и 8, и 15, и 22 часом первого дня,

¹⁾ Нужно заметить, что наш «день» (и соответствующие слова в других языках) обыкновенно употребляется в двух значениях: им обозначается или время от восхода до заката Солнца (день в отличие от ночи), или весь период в 24 часа, т. е. день и ночь, или сутки.

затем 5, 12, 19 часом второго дня и т. д.; Юпитер управлял 2, 9, 16, 23 часом первого дня и, следовательно (как это нетрудно рассчитать), первым часом шестого дня. Таким образом, первые часы всех дней недели соответствовали планетам, расположенным в таком порядке: Сатурн, Солнце, Луна, Марс, Меркурий, Юпитер, Венера. Возьмём, например, английские названия субботы, воскресенья и понедельника—Saturday, Sunday, Monday (немецкое Sonntag, Montag), французские—вторника, среды, четверга и пятницы—Mardi, Mercredi, Jeudi (Jovis dies), Vendredi или, ещё лучше, итальянские: Martedì, Mercoledì, Giovedì, Venerdì.

17. *Затмения Луны и Солнца*, несомненно, уже в древнейшие времена возбуждали высокий интерес, смешанный с суеверным ужасом, и надежда узнать что-нибудь относительно них послужила, вероятно, важным стимулом к первым астрономическим наблюдениям. Открытие того факта, что затмения Солнца случаются только в новолуние, а затмения Луны только в полнолуние, потребовало, надо думать, небольших усилий; догадаться, что солнечные затмения вызываются прохождением Луны перед Солнцем, было, вероятно, немногим труднее, но открытие, что затмения Луны вызываются вступлением её в земную тень, было сделано, надо думать, гораздо позже. В самом деле, даже во времена Анаксагора (V в. до н. э.) афиняне были так мало знакомы с этой мыслью, что она казалась им богохульной.

Халдейские жрецы обогатили астрономическую науку в высшей степени замечательным открытием (сделанным во всяком случае за несколько веков до начала эры). Они заметили, что затмения повторяются в прежнем порядке через известный промежуток времени, названный саросским периодом, или *саросом*, состоящий из 6 585 дней [или восемнадцати лет и десяти-одиннадцати дней¹⁾]. Несомненно, что открытие это было сделано не путём вычислений, основанных на знакомстве с движением Луны и Солнца, а просто путём сравнения летописей. Но так как затмения Солнца, в отличие от лунных, бывают видимы только на небольшом участке земной поверхности, и притом не в одном и том же месте, хотя бы и по истечении восемнадцатилетнего промежутка, то можно сомневаться в том, применяли ли халдеи сарос к предвычислению солнечных затмений наравне с лунными. Для иллюстрации сароса можно привести такой ряд затмений Солнца: 8 июня 1918 г., 19 июня 1936 г. и 30 июня 1954 г. Первое из них наблюдалось в Северной Америке, второе—в СССР, а третье будет наблюдаться в Канаде, Скандинавии, СССР и Иране.

18. Халдеям приписывается ещё сомнительная заслуга развития *астрологии*—псевдонауки, признававшей влияние небесных светил на человеческие дела и предсказывавшей войну, голод, чуму, а также и судьбу отдельных личностей по положению,

¹⁾ В зависимости от числа високосных лет.

занимаемому звёздами и планетами в момент их рождения. Астрологические воззрения всегда преобладали у восточных народов. В своё время астрология процветала у греков и римлян; она составляла существенный элемент научной мысли в средние века и не исчезла совершенно даже и в наши дни¹⁾. Не следует, однако, забывать, что если история астрологии представляет печальное явление как доказательство невежественного суеверия, с одной стороны, и беззастенчивого надувательства,—с другой, тем не менее вера в астрологию служила, несомненно, могущественным стимулом к ревностному изучению астрономии (см. гл. III, § 56 и гл. V, § 99, 100).

¹⁾ Например, астрология пользовалась большой популярностью в фашистской Германии, где происходили даже астрологические конференции.

ГЛАВА II

АСТРОНОМИЯ ГРЕКОВ

«Астроном нашёл, что геометрия, чистая абстракция человеческого ума, служит мерой планетных движений».

Эмерсон

19. В древнейший период греческой истории одной из главных функций, возложенных на астрономов, было упорядочение календаря. Как и все древние народы, греки начали с календаря, основанного на лунных фазах. Во времена Гезиода был в общем употреблении год, составленный из 12 месяцев, по 30 дней в каждом; позже был введён год из 6 *полных* месяцев по 30 дней и 6 *неполных* по 29 дней. *Солону* приписывают введение в Афинах, около 594 г. до н. э., особой системы летосчисления, заключавшейся в том, что через каждые два года прибавлялся полный месяц. Таким образом, двухлетний период состоял из 13 месяцев по 30 дней и 12 по 29, т. е. из 738 дней, распределённых между 25 месяцами; в среднем на год приходилось 369 дней, а на месяц около $29\frac{1}{2}$. Для улучшения этого календаря введён был, по всей вероятности, в V в. до н. э., так называемый *октаэдрис*, т. е. восьмилетний цикл; к трём годам этого цикла присчитывался добавочный «полный» месяц, а остальные года попрежнему состояли из 6 «полных» и 6 «неполных» месяцев. Таким путём средняя длина года установлена была в $365\frac{1}{4}$ дней, длина же месяца почти не изменилась. Но так как греки любили начинать месяц с момента появления новой Луны, то они по необходимости время от времени вносили в календарь произвольные изменения, в конце концов приведшие к невообразимой путанице, на которую Аристофан в своей комедии *Облака*, поставленной на сцене около 423 г. до н. э., заставляет Луну жаловаться в следующих выражениях:

«Вам не удастся дни согласовать
С её веленьями; запутали вы их — и в век не разобратесь.
И боги все, ложась без ужина в постель,
Согласным хором льют на голову её
Поток упрёков, в разочарованьи горьком,
Что праздник встретить им пришлось без пирушки».

20. Немного позже астроном *Метон* (родился около 460 г. до н. э.) открыл, что 19 лет почти в точности равняются 235 лун-

ным месяцам (ошибка, действительно, меньше суток), и установил цикл из 12 лет по 12 месяцев и 7 по 13 месяцев; из них 125 месяцев считались «полными», а остальные «неполными». Спустя почти столетие *Калипп* внёс небольшую поправку, заменой в конце четвёртого периода из 19 лет «неполного» месяца «полным». Был ли введён *метонов цикл*, как его называли, в гражданский календарь или нет—неизвестно, несомненно только, что он служил образцом, по которому время от времени исправлялся действующий календарь. Вскоре метонов цикл распространился по всей Греции; в настоящее время им пользуется христианская церковь для определения дня пасхи. Трудность установления точного соответствия между гражданским календарём и действительными движениями Луны и Солнца повела к необходимости издавать время от времени особые таблицы (*παράτῃματα*) вроде наших альманахов или календарей, заключающие в себе на несколько лет вперёд указания относительно фаз Луны, восхода и заката некоторых неподвижных звёзд, наряду с предсказаниями погоды. По той же причине древние, писавшие о земледелии (например, Гезиод), устанавливая время для полевых работ, руководствовались не календарём, но временами восхода и заката созвездий, т. е. эпохами их первого появления перед восходом Солнца или последнего исчезновения после заката; этот способ практиковался долгое время даже после изобретения довольно удовлетворительного календаря и не совсем, повидимому, исчез во времена Галена (II в. после н. э.).

21. Римский календарь в древности был ещё более запутан, нежели греческий. Одно время в Риме существовал, повидимому, год из 304 или 354 дней; предание приписывает Нуме введение четырёхлетнего цикла, благодаря чему календарь приведён был в полное согласие с Солнцем, но зато средняя продолжительность месяца была значительно меньше действительной. Вместо последовательных улучшений римляне предпочитали время от времени поручать календарь ведению жрецов, на обязанности которых лежало приводить его в согласие с Солнцем и Луной. Согласно одному свидетельству первый день каждого месяца возвещался через глашатая. По невежеству ли или, как утверждают некоторые, в угоду сильным мира сего (политического и финансового) жрецы привели календарь в такой беспорядок, что, по словам Вольтера, «les généraux Romains triomphaient toujours, mais ils ne savaient pas, quel jour il triomphaient»—«римские полководцы всегда побеждали, но никогда не знали, в какой день это случилось».

Удовлетворительная реформа календаря произведена была, наконец, Юлием Цезарем за короткий период его владычества в Риме при участии александрийского астронома *Созигена*. Погрешности календаря к этому времени возросли до такой сте-

пени, что в видах исправления его оказалось необходимым прибавить три лишних месяца к одному году (46 г. до н. э.). Таким образом, этот год состоял из 445 дней. На будущее время было установлено летосчисление, независимое от лунного месяца; обыкновенный год был принят состоящим из 365 дней; каждые четыре года к февралю прибавлялся лишний день (наш високосный год); так что средняя длина года получилась в $365\frac{1}{4}$ дней.

Новая система летосчисления началась с 45 г. до н. э. и вскоре распространилась под названием *юлианского календаря* по всему цивилизованному миру.

22. Из дальнейших реформ мы займёмся только теми, которые представляют особую важность.

Разница между средней длиной года, установленного Юлием Цезарем, и истинной его величиной столь незначительна, что достигает суток лишь за 128 лет. Таким образом, во вторую половину XVI в. весеннее равноденствие приходилось почти десятью днями раньше, чем в эпоху Никейского Собора (325 г. после н. э.), на котором установлены были правила исчисления дня пасхи. На этом основании папа Григорий XIII ввёл в календарь в 1582 г. некоторые изменения, заключавшиеся в следующем: десять дней (5—14 октября) были из этого года выброшены, и было постановлено в каждые четыреста лет три високосных года обращать в простые (именно 1700, 1800, 1900, 2100—простые годы, тогда как годы 1600, 2000, 2400 и т. д. остаются високосными). Этот *грегорианский календарь* или, как его часто называют, *новый стиль* принят был повсеместно в Западной Европе (в Англии, однако, только в 1752 г.)¹⁾.

23. В то время как восточные предшественники первых греческих философов ограничивались преимущественно астрономическими наблюдениями, эти последние, повидимому, не сделали никаких важных наблюдений и гораздо больше занимались исследованиями о причинах явлений. Основателю Ионийской школы, *Фалесу*, позднейшие писатели приписывают честь введения в Греции египетской астрономии, около VII в. до н. э., но ни Фалес ни его ближайшие преемники почти ничего не внесли в астрономию, кроме, может быть, чрезвычайно туманных теорий относительно формы Земли и её отношения к остальному миру. Некоторый прогресс в науку о небе внёс *Пифагор*²⁾ и его последователи. Пифагор учил, что Земля наравне с другими небесными телами имеет форму шара и что она висит без всякой поддержки среди вселенной. Были ли у него реальные доказательства этой истины—неизвестно, но весьма вероятно, что он понимал причину лунного сияния, приписывая его происхождение отражён-

¹⁾ В СССР он был введён почти сейчас же после Октябрьской революции—с 1 февраля 1918 г.

²⁾ О жизни Пифагора имеется мало положительных сведений. Родился он в начале VI в. до н. э., а умер в конце его или в начале следующего.

ному солнечному свету, и причину лунных фаз, которые он объяснял большей или меньшей степенью освещённости обращённой к нам половины лунной поверхности; в кривизне границы между тёмной и светлой частью Луны он справедливо видел доказательство того, что Луна шар, а не плоский диск, как можно подумать с первого взгляда. Вероятно, по аналогии он заключил о шарообразности Земли. Как бы то ни было, уверенность в шарообразности Земли со времени Пифагора не покидала греческих философов. Идея эта, таким образом, на 2 000 лет старше идей о вращении Земли и обращении её вокруг Солнца¹⁾ (гл. IV), которые мы иногда склонны связывать с первой идеей в качестве оснований современной астрономии.

Пифагору, кажется, первому также пришла в голову следующая мысль, оказавшая сильное влияние на древнюю и средневековую астрономию. Не одни только звёзды были сочтены прикреплёнными к хрустальной сфере, обращавшейся раз в сутки на оси вокруг земного шара, но и каждой из семи планет (считая Солнце и Луну в том числе) была приписана особая сфера. Расстояния этих сфер от Земли Пифагор привёл в зависимость от некоторых своеобразных представлений относительно чисел и музыки,—по его мнению, сферы при вращении производили гармонические звуки, доступные уху немногих избранных. Таким путём родилась идея о *музыке сфер*, которая постоянно встречается в средневековых сочинениях и иногда попадает даже и в современную литературу. Впоследствии сферы Пифагора получили развитие в научном объяснении небесных движений, которое составило основание докеплеровской астрономии (гл. VII).

24. Пифагореец *Филолай*, живший столетием позже своего учителя, впервые высказал мысль о движении Земли; он, повидимому, считал, что Земля, Солнце, Луна и пять планет обращаются вокруг центрального огня, причём Земля вращалась, по его мнению, ещё и вокруг своей оси таким образом, что означенный центральный огонь всегда оставался невидимым для жителей всех известных в то время частей света. Разумеется, это было чисто искусственное построение, совершенно непохожее на современное учение о движении Земли, с которым позднейшие писатели склонны были смешивать его; чтобы это стало ясно, достаточно указать, что в систему Филолая было включено вымышленное тело, так называемая *противоземля* (*ἀντιχθών*), благодаря которой число движущихся тел дошло до десяти—священного числа пифагорейцев. Появление столь важной идеи, как идея о движении Земли (которой так противится непосредственное чувство), не взирая на грубую форму её, на отсутствие доказательств, которые могли бы завоевать ей всеобщее признание,

¹⁾ Если не считать взглядов на движение Земли Аристарха Самосского (см. следующий параграф).

было, несомненно, весьма благотельно для астрономической мысли. Заметим, что Коперник в своей великой книге, легшей в основу современной астрономии (гл. IV, § 75), по преимуществу ссылается на Филолая и других пифагорейцев, как на инициаторов доктрины движения Земли.

Позднейшие писатели указывают ещё на трёх пифагорейцев, веривших в движение Земли,—именно на *Гицетия Сиракузского*, *Гераклита* и *Экфанта*, живших в конце VI и в V веках до н. э.

В одном из платоновых диалогов (*Тимей*) встречается тёмное место, истолковываемое многими из древних и современных комментаторов как намёк на идею движения Земли; кроме того, Плутарх, опираясь частью на авторитет Феофраста, сообщает нам, будто Платон в старости считал, что центр вселенной занят не Землёй, но каким-нибудь более совершенным телом¹⁾.

Повидимому, единственным греческим астрономом, верившим в движение Земли, был *Аристарх Самосский*, живший в первой половине III в. до н. э.; он, впрочем, больше известен своими измерениями расстояний до Солнца и Луны (см. § 32). Он утверждал, что Солнце и звёзды неподвижны, причём Солнце находится в центре сферы, по которой рассеяны эти последние, и что Земля не только вращается на своей оси, но ещё и движется вокруг Солнца. *Селевк* из Селевкии, в середине II в. до н. э., держался аналогичного мнения. К сожалению, нам ничего неизвестно об основаниях, на которых покоились их утверждения, и взгляды их, надо думать, не встретили большого сочувствия в среде их современников и последователей.

К сказанному можно добавить, что Аристотель (§ 30) ясно постигал возможность объяснения кажущегося движения звёзд либо их действительным движением, либо движением Земли, но от последней мысли отказался.

25. *Платон* (около 428—347 гг. до н. э.) не посвятил астрономии специальных сочинений, но во многих местах его диалогов встречаются замечания астрономического характера. Тщательное изучение небесных движений он считал занятием скорее приносящим, чем возвышающим душу и вообще удостоивал астрономию своим вниманием лишь постольку, поскольку она касается геометрии; на месте действительных небесных движений ум его создал идеальные движения, наделённые высшей красотой. Этот взгляд на астрономию шёл вразрез с популярным воззрением, по которому главное значение этой науки исчерпывалось пользой, приносимой ею земледельцу, мореплавателю и другим, нуждавшимся в точном определении времени и знании времён года. В одном из своих диалогов Платон даёт краткое описание небесных тел, из которого видно, что Солнце, Луна, планеты и непо-

¹⁾ Феофраст родился спустя полвека, а Плутарх пятью веками позже Платона.

движные звёзды обращаются по восьми concentрическим плотно пригнанным колёсам или кругам вокруг оси, проходящей через Землю. По степени удалённости от Земли они расположены в следующем порядке: Луна, Солнце, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, звёзды. Солнце, Меркурий и Венера совершают своё обращение в одинаковое время, другие же планеты движутся медленнее, из чего видно некоторое знакомство Платона с тем обстоятельством, что движения Меркурия и Венеры отличаются от движений других планет. Он указывает также, что Луна светит отражённым светом, получаемым ею от Солнца.

Говорят, что Платон поставил своим ученикам как предмет, особенно достойный усилий, такую задачу: объяснить небесные движения при помощи комбинаций равномерного кругового движения. Сколько-нибудь точная теория небесных движений, согласованная с действительными наблюдениями, вроде той, которую Гиппарх и Птоломей не без успеха создали впоследствии, вряд ли соответствовала платоновым идеям об истинной астрономии; несомненно, однако, что ему хотелось создать простую и гармоничную геометрическую схему, не находящуюся в противоречии с установленными фактами.

26. Исходя отчасти из идей Платона, Эвдокс из Книды (около 409—356 до н. э.) пытался объяснить наиболее очевидные особенности небесных движений с помощью комбинации равномерных круговых движений. Его можно считать представителем перехода от умозрительной к научной стадии греческой астрономии.

Как и в построениях некоторых из его предшественников, звёзды лежат у него на сфере, обращающейся раз в сутки вокруг оси, проходящей через центр Земли; движение каждого из остальных светил регулируется комбинацией других вращающихся сфер, причём ось каждой сферы наклонена к оси предыдущей под определённым углом. Солнце и Луна нуждались в трёх сферах: одна производила суточное вращение, разделяемое всеми небесными телами; другая производила годичное или (в случае Луны) месячное движение по эклиптике в направлении, противоположном суточному; а третья, ось которой наклонена была к оси предыдущей сферы, производила малые движения в обе стороны от эклиптики. Эвдоксу, повидимому, было хорошо известно, что путь Луны не совпадает с эклиптической и что он даже не всегда одинаков, но подвержен непрерывным изменениям, так что третья сфера была безусловно необходима; с другой стороны, он вряд ли мог иметь понятие о крайне малых отклонениях орбиты Солнца от эклиптики, с которыми имеет дело современная астрономия. Приходится думать поэтому, что он или воспользовался ошибочными наблюдениями, или, что вероятнее, третья солнечная сфера придумана была для объяснения воображаемого дви-

жения, заподозренного по «анalogии» с известным движением Луны.

Для каждой из пяти планет необходимы были четыре сферы; дополнительная сфера производила изменения скорости и меняла направление движения по эклиптике (гл. 1, § 14 и ниже § 51). Таким образом, движения небесных тел получили некоторое объяснение благодаря системе из 27 сфер—1 для звёзд, 6 для Солнца и Луны, 20 для планет.

Мы не имеем ясных указаний на какие-либо серьёзные попытки со стороны Эвдокса привести в точное согласие размеры или время обращения сфер с наблюдаемыми движениями светил, хотя ему с достаточной точностью известны были промежуточные времена, затрачиваемые каждой планетой на возвращение к прежнему положению относительно Солнца; другими словами, в его схеме небесные движения представлены были качественно, но не количественно. С другой стороны, нет оснований предполагать, чтобы Эвдокс видел в сферах (за исключением, быть может, сферы неподвижных звёзд) нечто материальное; его склонность к математике делает вероятным, что сферы в глазах его (как и большинства учёных астрономов Греции, наследовавших ему) представлялись чисто геометрическими фигурами, полезным средством для разложения в высшей степени сложных движений на простейшие элементы.

Об Эвдоксе упоминают, как о первом из греков, владевшем обсерваторией, помещавшейся в Книде, хотя к нам дошло очень мало подробностей относительно употреблявшихся там инструментов или наблюдений, производившихся на ней. Эвдоксу мы обязаны, однако, первым систематическим описанием созвездий (см. ниже, § 42), хотя, по всей вероятности, в основу его легли главным образом грубые наблюдения, заимствованные от греков-предшественников или от египтян. Он был, кроме того, замечательный математик и отличался в некоторых других областях знания.

В скором времени *Калипп* (§ 20) расширил эвдоксову систему вращающихся сфер добавлением, по причинам, нам неизвестным, двух сфер для Солнца, двух для Луны и по одной для Венеры, Меркурия и Марса, чем довел число их до 34.

27. Об астрономических воззрениях *Аристотеля* (384—322 до н. э.) к нам дошли довольно обстоятельные сведения, частью в виде случайных сообщений, частью из двух трактатов—*Meteorologica* и *De Coelo* («Метеорология» и «О небе»); к сожалению, одна из его книг, трактовавшая специально об интересующем нас предмете, пропала безвозвратно. Он признавал планетную систему Эвдокса и Калиппа, но представлял себе, из каких-то «метафизических соображений», что сферы должны оказывать друг на друга некоторое возмущающее влияние; с целью поправить дело, он ввёл 22 новых сферы, доведя их число до 56. Кроме того,

он признавал сферы материальными предметами, чем превратил остроумную и прекрасную геометрическую схему в громоздкий механизм ¹⁾. Впрочем сферы Аристотеля не получили признания у наследовавших ему греческих астрономов, и геометрические системы Гиппарха и Птолемея построены на основаниях, более близких к идеям Эвдокса.

28. Аристотель, подобно другим философам его времени, считал, что небо и небесные тела обладают шарообразной формой. Для доказательства шарообразности Луны он прибегает к аргументу, приписываемому Пифагору (§ 23): именно, что внешний

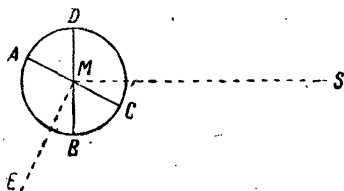


Рис. 8. Фазы Луны.

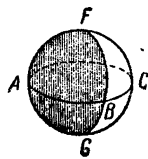


Рис. 9. Фазы Луны.

вид Луны в различных её фазах соответствует тому виду, какой принимало бы шарообразное тело, наполовину освещаемое Солнцем. Таким образом, видимая часть Луны ограничена двумя плоскостями, проходящими через её центр и соответственно перпендикулярными линиям, соединяющим центр Луны с центрами Солнца и Земли.

На рис. 8 круг $ABCD$ изображает сечение Луны плоскостью, проходящей через центры Солнца (S), Земли (E) и Луны (M). Часть Луны DAB , направленная в противоположную сторону от Солнца, тёмная, тогда как часть ADC вообще невидима с Земли. Поэтому видна лишь та часть Луны, которой в разрезе соответствует дуга BC , или участок $FBGC$, изображённый на рис. 9 (изображение Луны) и ограниченный для

глаза наблюдателя полукругом FCG и дугой эллипса FBG . Ширина этой освещённой части Луны заметно меняется в зависимости от относительного положения Солнца, Луны и Земли, так что в течение месяца Луна, последовательно занимая положения, отмеченные цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 на рис. 10,

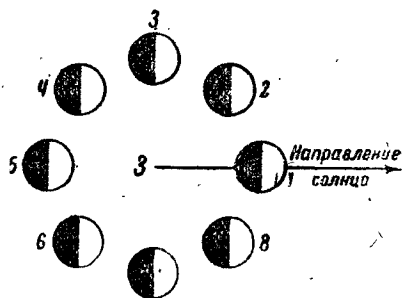


Рис. 10. Фазы Луны.

¹⁾ Громоздкий и запутанный, потому что механические познания того времени не в состоянии были объяснить того, каким образом эти сферы действовали одна на другую.

меняет свой вид, как показано на рис. 11; она проходит фазы серпа, полулуния, горбушки, полного диска и снова горбушки, полулуния, серпа¹⁾.

Затем Аристотель утверждает, что раз одно небесное тело шарообразно, то и другие должны быть такими же, и подкрепляет свои рассуждения другим доводом, в равной мере для нас убе-



Рис. 11. Фазы Луны.

дительным, именно, что сферическая форма неизбежно присуща телам, движущимся так, как, повидимому, движутся небесные светила.

29. Несколько интереснее его доказательства шарообразности Земли. Обсудив и отвергнув все возможные гипотетические формы, он показывает, что лунные затмения вызываются тенью Земли, отбрасываемой в пространство в сторону, противоположную Солнцу; из круглого вида границы тени, перемещающейся по лунному диску во время затмения, он заключает, что Земля шарообразна; иначе она отбрасывала бы тень иных очертаний.

Другой довод в пользу шарообразности Земли состоит в том, что когда мы перемещаемся к северу или к югу, то и звёзды изме-

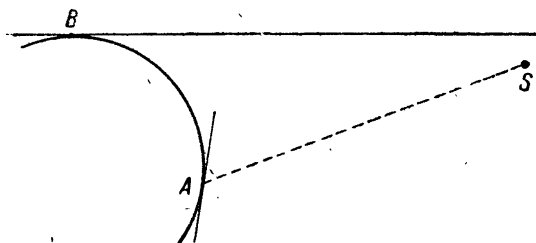


Рис. 12. Кривизна Земли.

няют свои видимые положения относительно горизонта — одни исчезают, другие впервые появляются. Это показывает, что направление на звёзды меняется относительно горизонта наблюдателя; а так как это направление в действительности весьма не-

чувствительно меняется при перемещении наблюдателя по поверхности Земли, то, значит, два горизонта — один южнее, другой севернее — имеют различные положения; другими словами — Земля обладает кривизной. Например, если наблюдатель, находящийся в точке A, видит звезду S (рис. 12), то наблюдатель, находящийся в точке B в то же самое время, не видит этой звезды, так как она

¹⁾ Мы привели здесь наиболее распространённое объяснение фаз Луны как доказательство её шарообразности, хотя до Аристотеля, насколько нам известно, мы не встречаем ни у одного из древнейших писателей ясных и определённых указаний на это объяснение; после же Аристотеля оно составляет общепризнанное достояние греческой элементарной астрономии.

скрыта от него Землёй. Это значит, что земная поверхность в А имеет иное направление, чем в В.

Далее Аристотель сообщает в подтверждение шарообразности Земли, что путешественники, прибывающие как с дальнего Востока, так и с дальнего Запада (для того времени—Индия и Марокко), одинаково описывают эти страны как местопребывание слонов, откуда можно заключить, что они не очень далеки друг от друга. Кроме того, он пользуется для доказательства своего мнения кое-какими весьма темными аргументами.

Вряд ли можно сомневаться, что та лёгкость, с какой Аристотель, наравне с другими греками, признал шарообразность Земли и других небесных тел, объясняется пристрастием, какое греки издавна, повидимому, питали к кругу и шару как к «совершенным», т. е. вполне симметричным, фигурам.

30. Аристотель опровергает возможность обращения Земли вокруг Солнца тем соображением, что если бы такое движение существовало, то оно вызвало бы соответственное кажущееся перемещение звёзд. Здесь мы встречаемся с одним из наиболее серьёзных возражений, когда-либо выставлявшихся против движения Земли,—возражением, окончательно устранённым только в XIX столетии, когда было обнаружено существование такого перемещения звёзд; по причине исключительно громадного расстояния звёзд заметить его удалось лишь при помощи чрезвычайно утонченных методов наблюдения (гл. XIII, § 278, 279).

Аристотель занимается также вопросом о расстояниях различных небесных тел и приходит к заключению, что планеты отстоят от нас дальше Луны и Солнца; своё мнение он подкрепляет личными наблюдениями над покрытием Марса Луной (т. е. прохождением Луны перед Марсом) и ссылкой на такие же наблюдения над другими планетами, произведённые египтянами и вавилонянами. Непонятно, однако, почему он помещал планеты за Солнцем; он должен был знать, что ослепительное сияние Солнца не даёт возможности наблюдать планеты в его соседстве и что по этой причине невозможно наблюдать их покрытия, если бы даже они и происходили. Он сообщает также мнение «математиков» о том, что звёзды отстоят от Земли по меньшей мере в девять раз дальше Солнца.

В сочинениях Аристотеля встречается немало сообщений и рассуждений астрономического характера, не основанных на каких-либо солидных доказательствах и представляющих весьма ничтожную ценность; между прочим, он занимается вопросом о природе комет, о звёздах, о причинах мерцания звёзд и различных небесных движений.

В области астрономии, как и в других отраслях науки, Аристотель, повидимому, собирал и систематизировал лучшие знания своего времени; но самостоятельные его работы в этой сфере значительно уступают работам в других отраслях естествозна-

ния, например, естественной истории. К сожалению, греческая астрономия его времени, да ещё и в стадии крайней неразвитости как бы кристаллизовалась в его сочинениях. Несколькими столетиями позже невежественные и нередко скудоумные последователи ссылались на его громадный авторитет для поддержки мнений, в его время извинительных, но оказавшихся несостоятельными в результате дальнейших исследований. Советы, которые он даёт читателям в начале своего изложения небесных движений,—сравнивать его воззрения с теми, какие им самим приходили в голову или с какими им случалось знакомиться у других,—эти советы с большой пользой могли бы быть приняты к сведению многими из так называемых аристотелианцев средних веков или времён Возрождения¹⁾.

31. После Аристотеля центр греческой научной мысли переносится в Александрию. Александрия, основанная в 332 г. до н. э. Александром Великим (некоторое время состоявшим учеником Аристотеля), в эпоху царствования Птолемея была столицей Египта. Эти монархи, особенно второй из них, Птолемей Филадельф, покровительствовали наукам; они основали знаменитый музей с великолепной библиотекой и обсерваторией, и вскоре Александрия стала убежищем знаменитых математиков и астрономов. В течение следующих пяти веков все маломальски значительные астрономы, за исключением великого Гиппарха (§ 37), были александрийцы.

32. Среди древнейших астрономов александрийской школы назовём *Аристарха Самосского*, *Аристилла* и *Тимохариса*, трёх учёных, почти современников, живших около первой половины III в. до н. э. О взглядах Аристарха относительно движения Земли мы уже упоминали (§ 24).

Его трактат *О величине и расстояниях Солнца и Луны* дошёл до нашего времени; в нём он даёт чрезвычайно остроумный метод определения сравнительных расстоя-

ний Солнца и Луны. Если на рис. 13 *E*, *S* и *M* обозначают соответственно центры Земли, Солнца и Луны, то Луна должна быть видна наблюдателю в *E* в фазе полукруга, если угол *EMS* прямой. Если в этом случае измерить угловое расстояние между центрами Солнца и Луны, т. е. угол *MES*, то мы узнаем все углы треугольника *MES*; вид его совершенно определится, и тогда отношение сторон его *EM* и *ES* можно вычислить без труда. Как известно из элементарной геометрии, сумма углов *E* и *S* равна прямому углу; отсюда легко получить угол *S*, вычтя угол *SEM* из прямого. Аристарх

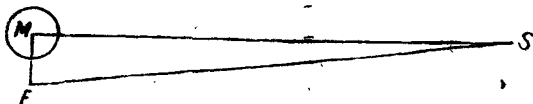


Рис. 13. Метод Аристарха для определения расстояний Солнца и Луны.

¹⁾ См., например, рассказ о процессе Галилея в гл. VI.

определил угол S в 3° и на этом основании вычислил, что расстояние Солнца в 18—20 раз больше расстояния Луны; в действительности же оно превосходит его почти в 400 раз. Эта громадная ошибка произошла оттого, что определить с достаточной точностью момент полулуния очень трудно: граница, разделяющая тёмную и светлую половину лунного диска, представляет собой (благодаря неровностям поверхности Луны) плохо очерченную и прерывистую линию (рис. 51, стр. 136 и заглавный рисунок), так что наблюдение, легшее в основу аристархова метода, не могло бы быть произведено с надлежащей точностью и при помощи современных инструментов, а тем меньше — с инструментами его времени.

Далее, Аристарх считал кажущиеся диаметры Солнца и Луны почти одинаковыми (что доказывается, например, солнечными затмениями, в которых Луна иногда с избытком закрывает собой диск Солнца, иногда же не совсем покрывает его) и совершенно правильно заключил из этого, что их поперечники находятся в соответствии с их расстояниями, т. е. прямо пропорциональны им. С помощью метода, основанного на наблюдении затмений и усовершенствованного впоследствии Гиппархом (§ 41), он нашёл, что диаметр Луны составляет около $\frac{1}{3}$ земного диаметра, — результат, весьма близкий к истине; тот же метод доставил ему данные, на которых непосредственно получалось расстояние Луны в земных радиусах; но в этом месте труд его совершенно искажён был грубой ошибкой в оценке кажущегося диаметра Луны (2° вместо $\frac{1}{2}^\circ$), и потому он получил совершенно неправильные результаты. Повидимому, он считал расстояния до звёзд неизмеримо громадными сравнительно с расстоянием Солнца. Таким образом, как умозрения Аристарха, так и действительные результаты его трудов отмечают решительный шаг вперёд в области астрономии.

Тимохарис и Аристилл первые занялись определением положений главных звёзд на основании измерений их расстояний от некоторых постоянных точек небесного свода; их поэтому можно считать творцами первого звёздного каталога в настоящем смысле этого слова, в то время как древнейшие астрономы пытались только описывать положения звёзд при помощи более или менее неясных словесных указаний. Кроме того, Тимохарис и Аристилл произвели ряд ценных наблюдений над планетами, Солнцем и т. д., из чего последующие астрономы, преимущественно Гиппарх и Птоломей, сумели извлечь значительную пользу.

33. Одной из важнейших заслуг греческой астрономии является разработка, главным образом с математической точки зрения, следствий вращения небесной сферы и некоторых простейших небесных движений; отдельные ступени этого процесса проследить довольно нелегко. У нас имеется, однако, ряд небольших трактатов или руководств, написанных преимущественно в александрийский период и трактующих об упомянутой отрасли науки

(известной под названием *сферики*, т. е. учения о сферах); прекрасным образцом таких трактатов являются *Рһепомена* знаменитого геометра Эвклида (около 300 г. до н. э.). В дополнение к описанному уже (гл. 1, § 8—11) точкам и кругам сферы мы встречаемся теперь с ясными указаниями на *горизонт* или большой круг, по которому горизонтальная плоскость, проведённая через место наблюдения, пересекается с небесной сферой, и *зенит*¹⁾ или точку небесной сферы, находящуюся вертикально над головой наблюдателя; далее упоминаются *вертикали* или большие круги, проходящие через зенит и пересекающие горизонт под прямыми углами, и, наконец, *круги склонения*, проходящие через южный и северный полюсы и пересекающие экватор под прямым углом. Следующим по важности большим кругом являлся *меридиан*, проходящий через зенит и полюсы. Хорошо известный в древности

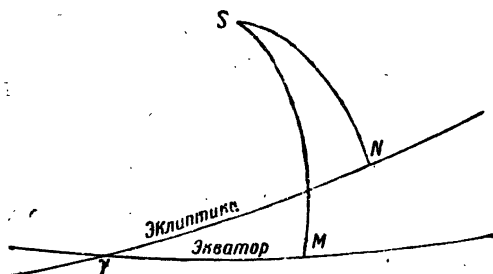


Рис. 14. Экватор и эклиптика.

звезду *S* часть большого круга *SN*, пересекающего эклиптику в точке *N* под прямым углом, и другой большой круг (круг склонения), пересекающий экватор в *M*, тоже под прямым углом; и обозначим через γ точку весеннего равноденствия (§ 13), в которой эклиптика пересекается с экватором, то положение звезды вполне определится или длиной дуг γN и *NS*, называемых *небесной долготой* и *широтой*, или же длиной дуг γM и *SM*, называемых *прямым восхождением* и *склонением*. В одних случаях оказывается удобным определять положение звёзд первым методом, т. е. относительно эклиптики; в других удобнее пользоваться для этой цели экватором, т. е. прибегать ко второму способу.

34. Одним из практических приложений сферики было изобретение солнечных часов, идея которых, как полагают, занесена была первоначально из Вавилона, но получила широкое развитие у греков; солнечные часы пользовались большим распространением как во времена греков, так и в средние века. Правильное деление их циферблата в зависимости от различных положений—

¹⁾ Слово «зенит» арабского, а не греческого происхождения; см. гл. III, § 64.

горизонтального, вертикального и наклонного—требует значительного математического искусства. Немало внимания уделялось также временам восхода и заката различных созвездий и другим вопросам в том же роде.

35. Открытие шарообразной формы Земли повело к научному обоснованию различий времён года в различных частях Земли и соответственному разделению земного шара на зоны. Как мы уже видели, высота полюса над горизонтом не одинакова в различных местах земного шара, и грекам было известно, что если отправиться на крайний север, то полюс совпадёт с зенитом, если же отправиться к югу, то можно достигнуть такой области (недалеко от пределов известного им мира), где полюс окажется на горизонте, а экватор пройдёт через зенит; ещё южнее северный полюс совсем скроется из глаз, а южный покажется над горизонтом.

Пойдём дальше. Если на рис. 15 *HEKW* представляет горизонт, пересекающий экватор *QERW* в точках востока и запада *E* и *W*, а меридиан *HQZPK* в точках юга и севера *H* и *K*, причём *Z* отмечает зенит, а *P*—полюс, то легко убедиться, что *QZ* равно *PK*, высоте полюса над горизонтом. Всякое небесное тело, северное расстояние которого от экватора (т. е. северное склонение) меньше *QZ*, пересечёт меридиан к югу от зенита; если же склонение его больше *QZ*, то оно пересечёт его к северу от зенита. Предельное расстояние от экватора, какого достигает Солнце, измеряется углом между эклиптической и экватором, около $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ¹⁾. Из этого следует, что в местах, где высота полюса меньше $23\frac{1}{2}^{\circ}$, Солнце в известное время года будет отбрасывать полуденную тень к югу. В очень близких к этому условиям находилась область несколько южнее Александрии, что было известно грекам. Равным образом им было известно, что по ту сторону экватора есть область, где Солнце обыкновенно отбрасывает тени к югу, временами же к северу. Эти две области—тропические пояса современных географов.

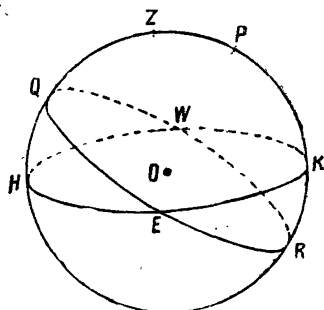


Рис. 15. Экватор, горизонт и меридиан.

Далее, если расстояние Солнца от экватора равно $23\frac{1}{2}^{\circ}$, то его расстояние от полюса равно $66\frac{1}{2}^{\circ}$; поэтому в местностях, где высота *PK* северного полюса больше $66\frac{1}{2}^{\circ}$, Солнце летом переходит в область незаходящих звёзд (гл. I, § 9) и некоторое время непрерывно стоит над горизонтом. Зато зимой Солнце для этих

¹⁾ Угол между эклиптической и экватором медленно изменяется. Более точное его современное значение— $23^{\circ}27'$. Во времена его измерения китайскими и древнегреческими астрономами он был несколько больше (см. § 11 и 36).

мест (когда оно ближе подойдёт к южному полюсу) на некоторое время скрывается под горизонтом. Эти местности (наши арктические страны) были неизвестны греческим путешественникам, но астрономы, несомненно, догадывались об их существовании.

36. *Эратосфену* (от 276 до 195—196 г. до н. э.), также представителю александрийской школы, мы обязаны первым, дошедшим до нас научным измерением величины земного шара. Он нашёл, что в эпоху летнего солнцестояния угловое зенитное расстояние полуденного Солнца в Александрии равно $\frac{1}{50}$ полной окружности, или $7^{\circ},2$, тогда как в Сиене, в верхнем Египте, Солнце в тот же момент стоит в зените. Зная, что Сиена находится

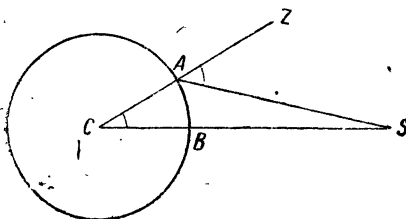


Рис. 16. Измерение Земли.

к югу от Александрии, он заключил, что расстояние между Сиеной и Александрией равно $\frac{1}{50}$ окружности Земли. Если на рис. 16 *S* обозначает Солнце, *A* и *B*—Александрию и Сиену, *C*—центр Земли, а *AZ*—направление зенита в Александрии, то измеренный Эратосфеном угол *SAZ*, по причине громадного расстояния *S*, окажется равным *SCZ*; определив этот угол в $7^{\circ},2$, он заключил, что дуга *AB* находится к земной окружности в отношении $7^{\circ},2$ к 360° , т. е. 1 к 50. Так как расстояние между Сиеной и Александрией считалось в 5 000 египетских стадий, то Эратосфен определил длину земной окружности в 250 000 стадий; это число впоследствии заменили на 252 000, подставив более округлённое число стадий (350) вместо каждого градуса земной окружности. Очевидно, что употреблённые Эратосфеном данные были до крайности грубы; тем не менее его измерение покоилось на очень прочном принципе; трудно, однако, судить о точности результата, за неимением точных известий о величине египетской стадии. Если, как представляется вероятным; это была обыкновенная олимпийская стадия, то результат оказался на 20% больше истины, но по другим данным ошибка может быть меньше 1% (гл. X, § 221).

Кроме того, Эратосфен измерил наклонение эклиптики, которое он определил в $\frac{23}{50}$ прямого угла, или $23^{\circ}51'$, с погрешностью всего около $7'$.

37. Громадный прогресс в астрономию внёс *Гиппарх*, которого компетентные критики ставят неизмеримо выше всех астрономов древнего мира и которого смело можно поставить на одну доску с величайшими астрономами всех веков. К сожалению, от него сохранилась только одна книга второстепенной важности, и все наши сведения о его трудах почти всецело почерпнуты из сочинений его последователя и великого почитателя—Птолемея, жившего спустя три века (§ 46 и след.). О жизни его, у нас также

имеются самые скудные сведения. Родился он или в Никее в Вифинии, или на острове Родосе, где он построил обсерваторию и совершил большинство своих работ. Мы не имеем прямых указаний на принадлежность его к александрийской школе, хотя он, по всей вероятности, посещал Александрию и, может быть, производил там наблюдения. Птоломей упоминает о наблюдениях, произведённых им в 146, 126 гг. до н. э., и о многих промежуточных годах, так же как и об одном, весьма сомнительном наблюдении 161 г. до н. э. Периодом его наиболее продуктивной деятельности является, таким образом, середина II в. до н. э.

Помимо собственных астрономических открытий услуги, оказанные им астрономии, можно подразделить на четыре категории. Он изобрёл или во всяком случае значительно усовершенствовал специальную отрасль математики¹⁾, позволяющую прилагать процессы числовых вычислений к геометрическим фигурам как в плоскости, так и на шаровой поверхности. Он произвёл ряд многочисленных наблюдений со всей точностью, какую могли допустить его инструменты. Он систематически пользовался критической оценкой и сравнением старых наблюдений с позднейшими в целях обнаружения изменений; происходящих слишком медленно для того, чтобы их можно было заметить на небесном своде в пределах жизни одного человека. Наконец, он систематически разработал геометрическую систему (эксцентриков и отчасти эпициклов) для представления движений Солнца и Луны.

38. Честь догадки, что движения небесных тел с большей простотой могут быть представлены комбинацией равномерных *круговых* движений, чем вращающимися *сферами* Эвдокса и его школы (§ 26), обыкновенно приписывается великому александрийскому математику *Аполлонию* из Перги, жившему во второй половине III в. до н. э., но у нас нет положительных известий о том, что он разработал эту систему в деталях.

Ввиду той громадной роли, какую эта идея играла в астрономии в продолжение почти 2 000 лет, мы считаем уместным познакомить читателей несколько подробнее с гиппарховой теорией Солнца—простейшим и наиболее успешным приложением этой идеи.

Мы уже видели (гл. I, § 10), что, помимо суточного движения (с востока на запад), разделяемого Солнцем со всеми остальными небесными телами, Солнце обладает ещё годичным движением по небесной сфере в обратном направлении (с запада на восток), по орбите, наклонной к экватору и уже издавна признанной за большой круг и получившей название эклиптики. Не следует забывать, что небесная сфера, на которой, как нам кажется, находится Солнце, есть не что иное, как геометрическая фикция, введённая для удобства; всё, что непосредственное наблюдение может нам дать, сводится лишь к изменению того направления, по которому

¹⁾ Тригонометрию.

⁴ Краткая история астрономии

видно Солнце, и потому мы можем представить себе, что Солнце находится в движении, при котором его расстояние от Земли изменяется произвольным образом, лишь бы изменения видимых размеров его, вызываемые переменной расстояния, находились в согласии с наблюдениями или, по крайней мере, не расходились с ними на заметную величину. Сверх того известно было (вероятно, задолго до Гиппарха), что видимое движение Солнца по эклиптике не совсем равномерно, именно, что в одно время года оно несколько быстрее, чем в другие.

Положим, мы имеем целый ряд наблюдений над движением Солнца и знаем его положение изо дня в день; как приступить к регистрации и к описанию этого движения? Для практических целей нет ничего удобнее метода, принятого для наших календарей, где даётся положение Солнца на каждый день; проследив наблюдения за несколько лет, нетрудно убедиться, что движение Солнца (за вычетом неправильностей нашего календарного счёта) из года в год одинаково, и на этом основании можно предсказывать положение Солнца изо дня в день на будущие года.

Ясно, однако, что такое описание не только оказалось бы слишком длинным, но и не удовлетворило бы всякого, кто заинтересовался бы этим вопросом из научной любознательности. Такой человек почувствовал бы, что все эти мелочные факты должны вытекать как следствия из какого-нибудь более простого общего положения.

Современный астроном попытался бы выразить движение Солнца при помощи алгебраической формулы, т. е. представил бы скорость Солнца или его расстояние от какой-нибудь неподвижной точки символическим выражением, которое связывало бы некоторым определённым образом происходящие перемены с единицами времени и позволяло бы без труда находить требуемое положение Солнца для любого данного момента.

Греки, однако, не обладали надлежащими алгебраическими познаниями для пользования таким методом, и Гиппарх, подобно своим предшественникам, пользовался геометрическим изображением неравенств или вариаций солнечного движения по эклиптике, — метод, в некоторых отношениях более живой и удобопонятный, нежели алгебраический, но совершенно неприменимый в сложных задачах. Кроме того, всегда рискуешь впасть в искусственность построения. Круг как простейшая из известных кривых, естественно, обратил на себя внимание астрономов, и так как всякое движение кроме равномерного требует само по себе специальной схемы, то идея Аполлония, в разработке Гиппарха, потребовала отыскания надлежащей комбинации равномерных круговых движений.

39. Простейшим приёмом, удовлетворительно объяснившим особенности движения Солнца, было введение *эксцентрика*, т. е. круга, центр которого (C) не совпадает с положением наблюда-

теля на Земле (E). Если на рис. 17 точка S описывает эксцентрический круг $AFCB$ равномерным движением, т. е. проходит равные дуги в равные времена, и угол ACS возрастает равномерно, то ясно, что угол AES , или кажущееся расстояние между S и A , возрастает неравномерно. Когда S приближается к точке A , отстоящей дальше всего от Земли и называемой *апогеем*, точка S кажется движущейся медленнее, чем в F или G , по причине большого расстояния наблюдателя; всего же быстрее она движется поблизости B , точки, наиболее близкой к E и называемой *перигеем*. Таким образом, движение точки S изменяется наподобие наблюдаемого движения Солнца. Прежде, однако, чем принять теорию эксцентрика, необходимо было показать, что возможно подобрать такое направление линии $BECA$ (линия *апсид*), определяющей положения Солнца в моменты наибольшего и наимедленнейшего движения, и такое отношение EC к радиусу круга CA (эксцентриситет), чтобы вычисленные положения Солнца в различных частях его пути отличались от наблюденных положений в соответствующие времена года на величину столь малую, чтобы её можно было с полным правом отнести за счёт ошибок наблюдения.

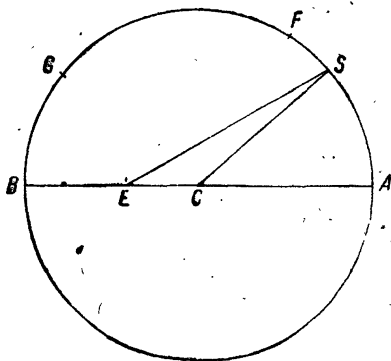


Рис. 17. Эксцентрик.

Задача была гораздо труднее, чем может показаться с первого взгляда, из-за громадных затруднений, которые приходилось испытывать во времена греков и долго спустя в тех случаях, когда нужно было добыть удовлетворительные наблюдения над Солнцем. Так как звёзды и Солнце не могут быть наблюдаемы одновременно, то нет возможности непосредственно измерить расстояние Солнца от соседних звёзд и таким образом определить положение его на небесной сфере. Но зато возможно, измерив длину тени, отбрасываемой в полдень вертикальным стержнем, определить с достаточной точностью высоту Солнца над горизонтом и отсюда получить его расстояние от экватора, т. е. склонение (рис. 3 и 14). Но одной этой величины недостаточно для определения положения Солнца; если бы можно было с точностью измерить его прямое восхождение (§ 33), то этим его положение на небесной сфере вполне определилось бы.

Однако методы определения этой второй величины были весьма несовершенны. Один метод заключался в том, что отмечалось время между прохождением Солнца через какое-либо постоянное место небесного свода (например, через меридиан) и прохождением звезды через то же самое место; таким путём получалось

угловое расстояние между ними (известно, что небесная сфера в своём суточном вращении проходит почти 15° в час); этот метод очень точен при наличии современных часов, но был весьма ненадёжным в те времена, когда хронометрами служили водяные часы или песочные склянки.

По другому методу за связующее звено между Солнцем и звёздами бралась Луна, причём положение её относительно звёзд определялось ночью, а относительно Солнца—днём; однако благодаря быстрому перемещению Луны в промежутке между двумя наблюдениями этот метод также не мог считаться точным.

В частности для определения линии апсид Гиппарх пользовался совсем особым методом; проницательность его сказалась в поразительной догадке, что и эксцентриситет, и линию апсид можно определить, зная длину двух времён года, т. е. промежутков, на которые год делится солнцестояниями и равноденствиями (§ 11). Из личных наблюдений и наблюдений, сделанных его предшественниками, он убедился, что продолжительность весны (от весеннего равноденствия до летнего солнцестояния) равняется 94 суткам, а лета (от летнего солнцестояния до осеннего равно-

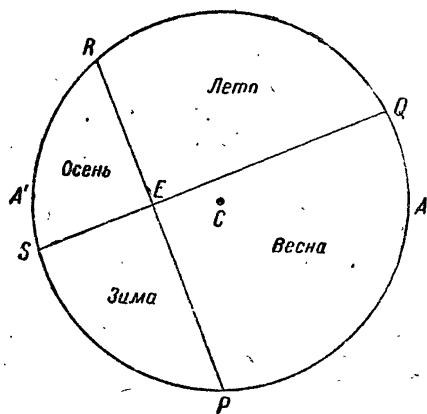


Рис. 18. Положение солнечного апогея.

денствия) — $92\frac{1}{2}$ суткам, при длине года в $365\frac{1}{4}$ суток. Так как Солнце описывает в каждое время года один и тот же угол, именно прямой, а весна и лето составляют вместе больше половины года, весна же длиннее лета, то отсюда следует, что Солнце в общем движется весной медленнее, чем во всякое другое время года, а потому весной же оно проходит через апогей. Значит, если мы на рис. 18 проведём две взаимно перпендикулярных линии QES и PER , отмечающие направление Солнца в моменты солнцестояний и равноденствий, причём P соответ-

ствует весеннему, а R —осеннему равноденствию, то апогей должен лежать в некоторой точке A между P и Q . Это легко уразуметь без помощи математики, но вычисление истинного положения A и эксцентриситета—вещь более сложная. Угол PEA определён был почти в 65° ; значит, Солнце проходило через свой апогей около первого июня; эксцентриситет определился в $\frac{1}{24}$.

Когда удалось таким образом изобразить движение геометрически, то составить таблицу, на основании которой можно было бы определять положение Солнца на каждый день в году, оказалось

сравнительно лёгким делом, потребовавшим небольших вычислений. Для этого понадобилось найти так называемое *уравнение центра*, т. е. угол, равный углу CSE на рис. 17, представляющий собой излишек истинной долготы Солнца сравнительно с той долготой, какой оно обладало бы в случае равномерного движения.

Из-за несовершенства наблюдений (Гиппарх полагал, что принятые им моменты равноденствий и солнцестояний можно считать верными лишь в пределах полусуток) полученные результаты далеки были от точности в современном смысле, но теория всё-таки представляла солнечные движения с точностью, вполне соответствовавшей наблюдениям того времени. Любопытно заметить, что та же теория, но при более верной оценке эксцентриситета может настолько точно представить движение Солнца, что ошибка никогда не превысит $1'$ —величины, вполне нечувствительной для простого глаза.

Теория Гиппарха представляет изменения в расстоянии Солнца с гораздо меньшей точностью, и хотя на самом деле угловой диаметр Солнца изменяется в течение года на $\frac{1}{30}$ своей величины, т. е. на $1'$, это неравенство по теории Гиппарха выходит вдвое большим. Но даже и такая погрешность почти совершенно ускользнула от его инструментов.

Гиппарх понимал, что движение Солнца можно объяснить ещё и другим способом, изобретённым Аполлонием, именно с помощью *эпицикла*. Тело, движение которого необходимо представить, предполагают равномерно движущимся по окружности круга, называемого *эпициклом*, центр которого в свою очередь движется по другому кругу, носящему название *деферента*. Легко убедиться, что если круг, равный эксцентрику, но только с центром в точке E (рис. 19), принять за деферент и если S' взять на нём так, чтобы ES' оказалось параллельным CS , то $S'S$ окажется равным и параллельным EC ; вот почему Солнце S , равномерно движущееся по эксцентрику, можно с одинаковым правом поместить на круге радиуса $S'S$, центр которого S' движется по деференту. Для данной задачи оба изложенные выше построения давали одинаковые результаты, и Гиппарх, для простоты, выбрал эксцентрик.

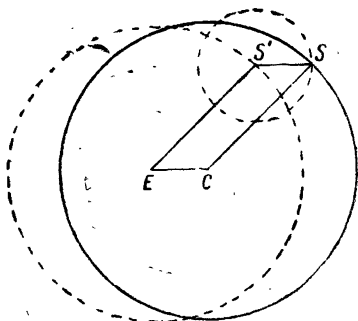


Рис. 19. Эпицикл и деферент.

40. Лунные движения, как несравненно более сложные, издавна смущали астрономов¹⁾, и Гиппарх по необходимости

¹⁾ И в настоящее время существует небольшое разногласие между наблюдаемыми и вычисленными положениями Луны. См. гл. XIII, § 290.

должен был для объяснения их изобрести более утонченную схему. Прежде, однако, чем приступить к изложению его теории, необходимо подробнее познакомиться с движениями Луны.

Мы уже определяли (гл. I, § 16) лунный месяц как период, в течение которого Луна возвращается в прежнее положение относительно Солнца; этот период (около $29\frac{1}{2}$ суток) называется *синодическим месяцем*; поскольку и Солнце подобно Луне движется по небесной сфере, но только медленнее, то Луна возвращается в прежнее положение между звёздами в несколько более короткий период; этот период (около 27 дней и 8 часов) известен под названием *звёздного* или *сидерического месяца*. Кроме того, путь Луны на небесной сфере слегка наклонён к эклиптике; это большой круг, пересекающий эклиптику в двух узлах, под углом приблизительно в 5° , величину которого Гиппарх, как кажется, первый окончательно установил. Мало того, путь Луны непрерывно изменяется таким образом, что в то время, как наклонение его к эклиптике остаётся почти неизменным (гл. V, § 141), узлы медленно отступают назад (с востока к западу) вдоль эклиптики, совершая полное обращение в 18,6 лет. Поэтому удобно обозначить особым названием *драконический месяц*¹⁾ тот период, в течение которого Луна возвращается в прежнее положение относительно узлов (приблизительно 27 дней и 5 часов).

Далее, лунное движение, подобно солнечному, неравномерно, и неравенства его ещё крупнее солнечных. Гиппарх, кажется, первый заметил, что та часть лунного пути, в которой Луна всего быстрее движется, не занимает постоянного положения на небесной сфере, но непрерывно перемещается, другими словами, — линия апсид (§ 39) лунного пути подвижна. Движение это поступательное, причём полный оборот совершается почти в девять лет. Мы имеем, таким образом, четвёртый вид месяца, так называемый *аномалистический месяц* — период, в течение которого Луна возвращается к прежнему перигею.

Гиппарху приписывают честь более точного установления длины каждого из этих месяцев. В целях наиболее точного определения означенных периодов он считал очень важным сравнивать лунные наблюдения, разделённые как можно большим промежутком времени; он нашёл, что самые удовлетворительные результаты получаются из халдейских и других наблюдений над затмениями, которые являются одновременной регистрацией положений Луны, узлов и Солнца по той причине, что затмения происходят лишь поблизости лунных узлов.

¹⁾ Это название сохранилось как любопытный пережиток очень древнего суеверия. Затмения, всегда происходящие вблизи узлов, причинялись, как некогда думали, драконом, пожиравшим Луну или Солнце. Знаки ♀ и ♂, которыми ещё доньше пользуются для обозначения узлов, символизируют, по мнению некоторых, голову и хвост дракона.

Для объяснения этого сложного ряда движений Гиппарх пользовался, как и в случае Солнца, эксцентриком, центр которого описывал круг вокруг Земли почти в девять лет (соответственно движению апсид); плоскость этого эксцентрика должна иметь наклон в 5° к эклиптике и отступать назад таким образом, чтобы получалось вышеописанное движение узлов.

Разумеется, результат не мог получиться столь же удовлетворительным, как и для Солнца. Неравенство скорости лунного движения не только крупнее солнечного, но и подчиняется более сложному закону и не может быть с таким же успехом представлено посредством одного эксцентрика, так что хотя система Гиппарха представляет движение Луны в некоторых частях её орбиты с поразительной точностью, тем не менее разногласия между вычисленными и наблюденными положениями были явлением нередким. Есть некоторые указания на то, что Гиппарх это знал, но только не в силах был переработать свою теорию до надлежащей степени совершенства.

41. Что касается планет, то Гиппарх нашёл так мало удовлетворительных наблюдений среди оставленных его предшественниками, что он даже и не пытался построить систему эпициклов и эксцентриков для объяснения движений планет, но предпочёл собрать новые наблюдения с целью завещать их своим последователям. Он воспользовался этими наблюдениями для более точного определения средних периодов обращения некоторых планет.

Гиппарх пытался, и довольно успешно, определить величину и расстояние Луны, пользуясь методом, основанным на затмениях, главная идея которого принадлежит Аристарху (§ 32). Наблюдая угловой диаметр земной тени (QR на рис. 20) на расстоянии Луны во время затмения и сравнивая его с известными угловыми диаметрами Солнца и Луны, он получил путём простого вычисления¹⁾, что расстояние Луны равно почти 59 радиусам Земли. Соединив оценки Гиппарха

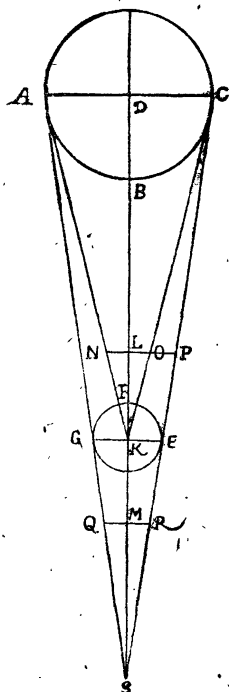


Рис. 20. Метод затмения, связывающий расстояния Солнца и Луны.

¹⁾ На рис. 20, взятом нами для особо интересующихся из *De Revolutionibus* Коперника (гл. IV, § 85), D , K , M отмечают центры Солнца, Земли и Луны в момент лунного затмения, а SQG , SRE —границы конуса тени, отбрасываемой Землёй; тогда QR , проведённое под прямым углом к оси конуса, представляет ширину тени на расстоянии Луны. Из подобия треугольников мы получаем: $(GK - QM) : (AD - GK) = MK : KD$. Если $KD = n \cdot MK$, то и $AD = n \cdot$ (радиус Луны), так как угловой радиус Луны равен

и Аристарха, мы получим для Солнца расстояние в 1 200 земных радиусов—число, не подвергавшееся существенным изменениям в продолжение многих веков (гл. VIII, § 161).

42. Рассказывают, что появление новой звезды в созвездии Скорпиона в 134 г. до н. э. навело Гиппарха на мысль о составлении нового звёздного каталога. Он записал в него 1 000 звёзд и не только отметил небесную широту и долготу каждой звезды, но и разделил их на шесть величин по степени яркости. Созвездия, о которых он упоминает, почти тождественны с созвездиями Эвдокса; список их претерпел очень мало изменений до нашего времени, если не считать некоторого числа новых созвездий южного полушария, недоступных цивилизованным народам древнего мира. Гиппарх записал также несколько случаев, в которых три и более звезды лежали на одном большом круге; он имел в виду оставить позднейшим наблюдателям данные для наиболее лёгкого уловления возможных перемен в положении звёзд. Его каталог, за незначительными изменениями, считался образцом в течение шестнадцати веков (гл. III, § 63).

Составление этого каталога привело Гиппарха к замечательному открытию, поразительнейшему, быть может, из всех его открытий, дошедших до нас. Сравнивая свои наблюдения некоторых звёзд с наблюдениями Аристилла и Тимохариса (§ 33), сделанными приблизительно за полтора века, Гиппарх нашёл, что расстояния этих звёзд от точки равноденствия изменяются. Так, для яркой звезды Спика (иначе Колос, в созвездии Девы) расстояние от равноденственных точек возросло на 2° за 150 лет, т. е. на $48''$ в год. Хотя грубые способы наблюдений показывали значительную разницу в движениях отдельных звёзд, однако очевидно было, что долготы всех звёзд вообще возрастали при отсутствии каких бы то ни было изменений в широте; Гиппарх считал это

угловому радиусу Солнца (см § 32); таким образом можем написать;

$$(GK - QM) : [n \cdot (\text{радиус Луны}) - GK] = 1 : n,$$

или:

$$n \cdot (\text{радиус Луны}) - GK = n \cdot GK - n \cdot QM;$$

следовательно; радиус Луны + радиус тени = $\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ (радиус Земли).

Из наблюдений было найдено, что угловой радиус тени равен почти $40'$, а радиус Луны $15'$, откуда следует, что радиус тени равен $\frac{3}{8}$ радиуса Луны,

и, следовательно, радиус Луны равен $\frac{3}{11} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$ радиуса Земли. Но так

как угловой радиус Луны равен $15'$, то расстояние её приблизительно в 220

раз больше её радиуса. Следовательно, расстояние Луны равно $60 \left(1 + \frac{1}{n}\right)$

радиусам Земли, что даёт в грубом виде результат Гиппарха, если под n разуметь некоторое большое число.

перемещение по долготе по меньшей мере в $36''$ в год, а то и больше. Согласие в движениях различных звёзд в достаточной мере убедило его в том, что эти перемены можно объяснить не движением отдельных звёзд, а скорее переменной в положении точек равноденствия, от одной из которых отсчитываются долготы. Точки равноденствия лежат на пересечении экватора с эклиптикой; следовательно, один из этих двух больших кругов меняет свое положение.

Но так как широты звёзд не претерпевают никаких изменений, то из этого следует, что эклиптика сохраняет своё положение, а все перемены происходят благодаря движению экватора.

Подобно многим своим предшественникам Гиппарх измерил наклонение эклиптики и в результате не нашёл никаких заметных изменений. Отсюда Гиппарх заключил, что экватор, так

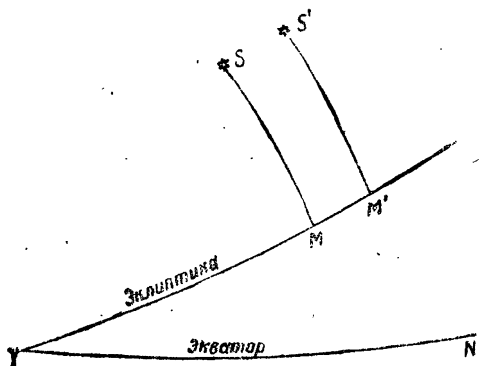


Рис. 21. Возрастание долготы звезды.

сказать, медленно отступает в направлении, обратном движению Солнца, удерживая постоянное наклонение к эклиптике.

Поясним это рисунком. На рис. 21 γM обозначает эклиптику, γN — экватор, S — звезда, наблюдавшаяся Тимохарисом, SM — большой круг, проведённый перпендикулярно к эклиптике. SM — значит широта, γM — долгота. Пусть S' обозначает ту же звезду

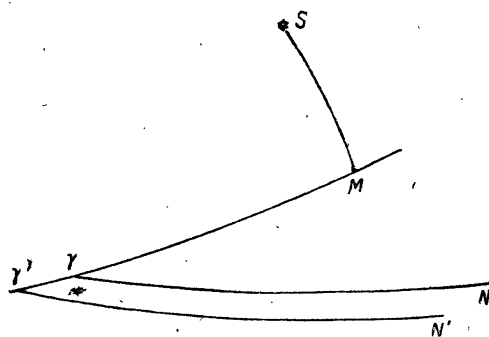


Рис. 22. Движение экватора.

во времена Гиппарха; он нашёл, что $S'M'$ равно прежнему SM , но $\gamma M'$ больше γM ; другими словами, M' слегка подалось к востоку от M . Так как MM' приблизительно одинаково для всех звёзд, то проще всего было объяснить это изменение движением в противоположном направлении точки весеннего равноденствия от γ к γ' (рис. 22), другими словами, экватор движется от положения γN к положению $\gamma' N'$; причём наклонение его $N'\gamma' M$ остаётся равным первоначальной величине $N\gamma M$. Общий резуль-

тат этой перемены показан иначе на рис. 23, где $\gamma\gamma'$ обозначает эклиптику, $ABCD$ —экватор во времена Тимохариса, $A'B'C'D'$ (показанное линией с точками)—тот же экватор во времена Гиппарха, γ, γ' —прежние положения двух равноденственных точек, а γ', γ'' —позднейшие.

Величина годичного перемещения $\gamma\gamma'$, как было уже сказано, определена Гиппархом по меньшей мере в $36''$ (что соответствует одному градусу в столетие); теперь известно, что она значительно больше, именно около $50''$.

Описанное выше перемещение экватора влечёт за собой очень важное следствие, а именно: Солнце, отправившись от равноденственной точки в годичное путешествие по эклиптике, возвращается в новое положение равноденственной точки несколько ранее

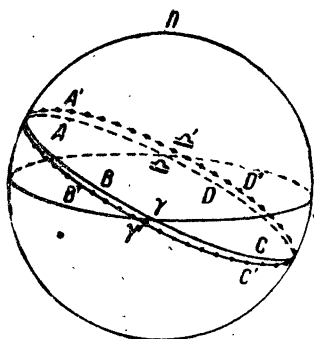


Рис. 23. Предварение равноденствий.

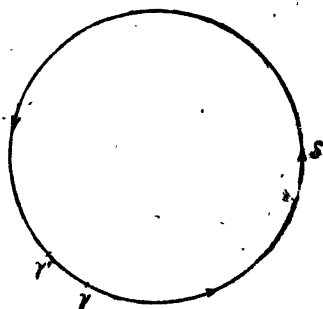


Рис. 24. Предварение равноденствий.

того момента, в какой оно займёт прежнее положение относительно звёзд, и, таким образом, последовательные равноденствия наступают немного раньше, чем следовало бы. Это обстоятельство и дало повод назвать описываемое явление *предварением равноденствий*, или, короче, *прецессией*. Поэтому необходимо различать, как это уже заметил и Гиппарх, *тропический год*, или период, в течение которого Солнце возвращается к прежнему положению относительно равноденственных точек, и *звёздный*, или *сидерический год*, в течение которого Солнце возвращается к прежнему положению относительно звёзд. Если $\gamma\gamma'$ (рис. 24) отмечает перемещение равноденственной точки в течение тропического года, то Солнце, отправившись от точки равноденствия γ , придёт в конце тропического года в новую точку равноденствия— γ' ; сидерический же год исполнится только тогда, когда Солнце опишет ещё дугу $\gamma'\gamma$ и вернётся в точку отправления γ . При современной оценке прецессии или дуги $\gamma\gamma'$ в $50''$ Солнце в сидерический год описывает дугу в 360° , в тропический же—дугу, на $50''$ меньшую, или $359^\circ 59' 10''$; в таком же отношении находятся

и длины годов, а величина, на которую сидерический год превосходит тропический, относится к продолжительности сидерического года, как $50''$ к 360° (или $50''$ к $1\,296\,000''$) и равна поэтому $\frac{365\frac{1}{4} \times 50}{1\,296\,000}$ дней, или около 20 минут.

Можно ещё иначе представить прецессию, именно: равноденственная точка совершает полный оборот по эклиптике и возвращается в прежнее положение приблизительно через 26 000 лет¹⁾.

Длина тропического и сидерического годов была также определена Гиппархом с значительной точностью. Длину тропического года он определил путём сравнения времён солнцестояний и равноденствий, наблюдавшихся прежними астрономами, со своими собственными наблюдениями. Сравнив, например, дату летнего солнцестояния 280 г. до н. э., наблюдавшегося Аристархом Самосским, с солнцестоянием 135 г. до н. э., он нашёл, что общепринятую оценку длины года в $365\frac{1}{4}$ дней следует уменьшить на $\frac{1}{300}$ суток, или почти на пять минут, что подтверждалось также другими наблюдениями.

Как интересную иллюстрацию к научному методу Гиппарха можно привести его тщательные изыскания насчёт возможных погрешностей наблюдений, приведшие его к заключению, что момент солнцестояния можно определить с ошибкой до $\frac{3}{4}$ суток, определение же момента равноденствия может уклониться от истины не более как на $\frac{1}{4}$ суток. Это должно дать возможную ошибку в $1\frac{1}{2}$ суток на 145 лет, или около 15 минут на год. На деле оценка длины года, данная Гиппархом, преувеличена всего на каких-нибудь шесть минут, так что погрешность гораздо меньше его собственных предположений. Между прочим, он рассматривал возможность изменений длины года и пришёл к заключению, что хотя его собственные наблюдения и не настолько точны, чтобы решительно доказать неизменяемость годичного периода, тем не менее нет оснований предполагать противное.

Когда длина тропического года была, таким образом, определена в 365 дней 5 часов 55 минут и из наблюдений прецессии найдена разница между тропическим и сидерическим годами, то получилось, что сидерический год превосходит $365\frac{1}{4}$ суток почти на 10 минут, — результат, почти в точности совпадающий с данными современной науки. То, что при сложении двух неверных данных, длины тропического года и прецессии, получился столь точный результат, вовсе не было, как кажется на первый взгляд, простой случайностью. Так как главным источником ошибки в каждом случае являлись неверные даты многих равноденствий и солнцестояний, то эти погрешности имели тенденцию вызывать погрешности противоположного характера в длине тропического года и

¹⁾ $50'' \times 26\,000$ равно приблизительно 360° .

прецессии, так что до некоторой степени они компенсировались друг другом. Эта оценка длины сидерического года была, вероятно, отчасти проверена Гиппархом путём сравнения наблюдений над затмениями в различные эпохи.

43. Громадные усовершенствования, внесённые Гиппархом в теорию Луны и Солнца, естественно дали ему возможность успешнее своих предшественников справиться с задачей, возбуждавшей величайший интерес во все века—с вопросом о предсказании лунных и солнечных затмений.

То, что лунные затмения происходят во время прохождения Луны через земную тень, или, другими словами, в то время, когда Земля становится между Луной и Солнцем, а солнечные—во время прохождения Луны по диску Солнца, было прекрасно известно греческим астрономам эпохи Аристотеля (§ 29), а, может быть, и более ранней (гл. 1, § 17), хотя, по всей вероятности, из населения об этом знали лишь немногие; вообще же с затмениями долгое время связывали самые суеверные представления и ужасы.

Главное затруднение в вопросе о затмениях заключается в том, что путь Луны не совпадает с эклиптической. Если бы путь Луны

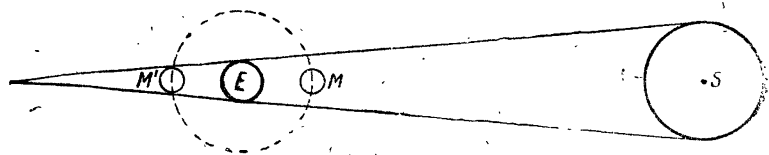


Рис. 25. Земная тень.

совпадал с эклиптической, тогда каждое новолуние Луна (M , рис. 25) проходила бы как раз между Землёй и Солнцем, и это последнее затмевалось бы, а каждое полнолуние Луна (M') становилась бы как раз диаметрально противоположно Солнцу и потому затмевалась бы тенью Земли.

Но так как лунный путь наклонён к эклиптике (§ 40), то широты Солнца и Луны могут различаться до 5° , когда эти светила находятся в *соединении*, т. е. имеют одинаковые долготы, или же в *противостоянии*, т. е. различаются долготами на 180° ; в обоих этих случаях они не смогут затмиться. Быть ли затмению или не быть—это зависит прежде всего от широты Луны в данное время, т. е. от положения её относительно узлов орбиты (§ 40). Если соединение случается поблизости одного из узлов (N), как показано на рис. 26 (SM), то диски Солнца и Луны могут притти в соприкосновение (в проекции, разумеется), и произойдёт затмение; если же соединение случается на значительном расстоянии от узла, как, например, в $S'M'$, то центры Солнца и Луны так удалены друг от друга, что затмения произойти не может.

Угловой диаметр Луны или Солнца, как мы видели (§ 32), равен приблизительно $\frac{1}{2}^\circ$; значит, когда их диски только соприкасаются, как на рис. 27, то расстояние между их центрами равно также $\frac{1}{2}^\circ$. Если в момент соединения расстояние центров меньше

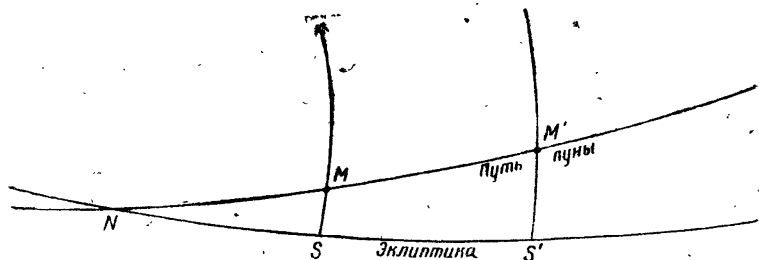


Рис. 26. Эклиптика и путь Луны.

этой величины, то происходит затмение Солнца, если нет, то затмения не произойдёт. Путём вычисления легко определить (рис. 26) сторону NS или NM треугольника NMS , когда SM равно



Рис. 27. Солнце Луна.

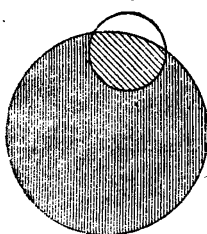


Рис. 28. Частное затмение Луны.

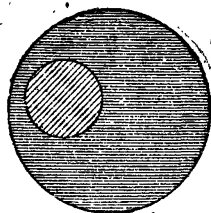


Рис. 29. Полное затмение Луны.

указанной величине, а затем определить наибольшее расстояние от узла, на котором может произойти затмение в эпоху соединения. Таким же образом можно поступить и в случае лунного затмения, с той только разницей, что приходится иметь дело с Луной и с земной тенью на расстоянии Луны. Видимые размеры тени, впрочем, гораздо больше кажущегося диаметра Луны, и затмение Луны происходит в том случае, когда расстояние между центрами Луны и тени меньше 1° . Как и в предыдущем случае, легко определить для момента соединения то расстояние Луны или центра тени от узла, при котором затмение непременно произойдёт. Но так как кажущиеся диаметры Солнца и Луны, а также и земной тени изменяются сообразно с расстоянием Луны и Солнца, о чём Гиппарх не имел точных сведений, то вычисление оказывается гораздо более сложным, чем может показаться на первый взгляд, и потому он произвёл его не особенно точно.

Различаются *частные* и *полные* затмения Луны; первые происходят в том случае, когда земная тень покрывает только часть

лунного диска (рис. 28), а последние, когда лунный диск совершенно погружается в земную тень (рис. 29). Точно так же и солнечные затмения могут быть частными и полными; но так как солнечный диск временами бывает несколько больше лунного, то иногда случается, что диск Солнца покрывается лунным не полностью, а за исключением узенькой полоски или кольца по краям (рис. 30); такое затмение называется *кольцеобразным*. Так как земная тень на расстоянии Луны всегда больше лунного диска, то кольцеобразных лунных затмений никогда не бывает.



Рис. 30.
Кольцеобразное затмение
Солнца.

Итак, затмения имеют место только в том случае, если расстояние Луны от узла в эпоху соединения или противостояния не превосходит определённых пределов; проблема предсказания затмений до некоторой степени уже решена, если мы знакомы с движением Луны и узлов её орбиты в том объёме, в каком оно было известно Гиппарху. Кроме того, определив раз навсегда длину синодического и драконического месяцев (§ 40), можно посредством простого арифметического расчёта найти один или несколько периодов, по истечении которых затмения повторяются приблизительно в прежнем порядке. Если какой-нибудь период времени содержит целое число тех или других месяцев, то по истечении этого периода снова происходит соединение (или противостояние) в том же расстоянии Луны от узла, и затмение случается при прежних условиях. Сарос, например (гл. I, § 17), содержал почти полных 223 синодических и 242 драконических месяца, с точностью до одного часа. Гиппарх видел, что для предсказания затмений нельзя вполне полагаться на эти периоды, и показал даже, как ввести в вычисления неправильности движений Луны и Солнца (§ 39, 40), не принятые в соображение для Сароса, но не мог во всей полноте устранить затруднения, возникающие от изменений кажущегося диаметра Солнца и Луны.

Затмения Солнца усложняются, однако, ещё одним важным обстоятельством, подмеченным более древними писателями, но впервые рассмотренным в трудах Гиппарха. Так как затмение Луны есть действительное потемнение её поверхности, то оно наблюдается всеми и всюду, где вообще Луна доступна глазу в данный момент, например, — даже предполагаемым обитателям соседних планет, то есть в то, как мы наблюдаем затмения спутников Юпитера. Солнце же при затмении закрывается Луной, как бы экраном, только для данного наблюдателя, а для другого, находящегося в ином месте, остаётся видимым полностью. Значит, при вычислении солнечного затмения необходимо принимать в соображение и место наблюдателя на Земле. Проще всего будет взять в расчёт разницу в направлениях на Луну, видимую из места наблюдения и из центра Земли. Если на рис. 31 *М* означает Луну, *С* — центр Земли, *А* — точку на земной поверхности между *С* и *М* (в этом

месте Луна стоит над головой наблюдателя), а B —другую точку земной поверхности, то наблюдатели, помещённые в C (или A) и B , одновременно видят Луну вдоль линий CM и BM , разница направлений между которыми измеряется углом BMC , носящим название *параллакса* и зависящим от расстояния Луны, величины Земли и положения наблюдателя B . Для Солнца по причине его громадного расстояния параллакс даже в оценке греков во всех

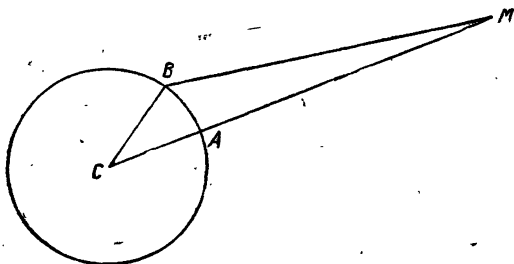


Рис. 31. Параллакс.

случаях оказывался слишком мал, чтобы его можно было ввести в вычисления, но параллакс Луны, доходящий до 1° , не такая величина, чтобы ею можно было пренебречь.

Если известен путь Луны, видимый из центра Земли, то положение его относительно какого-нибудь пункта земной поверхности можно определить с помощью параллакса, и тогда уже легко вычислить условия видимости солнечного затмения в данном месте.

Со времени Гиппарха самый заурядный астроном легко умел предсказывать лунные затмения с точностью до одного-двух часов, а солнечные, вероятно, с меньшим приближением; в обоих случаях вычисление величины затмения, т. е. того, какая часть лунного или солнечного диска будет затемнена, надо думать, оставило желать многого.

44. Громадные услуги, оказанные астрономии Гиппархом, едва ли не лучшую оценку нашли себе в словах французского историка астрономии Делабра, далеко не снисходительного критика трудов своих предшественников:

«Когда рассмотришь всё, изобретённое или усовершенствованное Гиппархом, и поразмыслишь над множеством его трудов и массой содержащихся в них вычислений, то поневоле причислишь его к удивительнейшим мужам древности и назовёшь его величайшим из них в области наук не чисто умозрительных, но требующих соединения геометрических знаний со знанием явлений, поддающихся наблюдению только при условии полного внимания и утонченных инструментов»¹⁾.

45. В течение трёх веков после смерти Гиппарха история астрономии как бы задрнута мглой. Существует несколько руководств, написанных в этот период и отражающих постепен-

¹⁾ *Histoire de l'Astronomie Ancienne*, vol. I, p. 185.

ное распространение и популяризацию великих открытий Гиппарха. Из немногих интересных положений, встречающихся в этих книгах, любопытно отметить следующие мнения: звёздам нет необходимости непременно лежать на поверхности сферы, они могут находиться на самых различных расстояниях, которые, однако, невозможно определить; затем — догадку, что Солнце и звёзды настолько удалены от Земли, что с Солнца она казалась бы точкой, а со звёзд её и совсем не было бы видно; возвращение к старинному мнению, приписываемому египтянам (александрийского ли или более раннего периода — не установлено), по которому Венера и Меркурий обращаются вокруг Солнца. Повидимому, в этом же периоде сделано было несколько попыток объяснения планетных движений с помощью эпициклов, но принесли ли они собой какой-нибудь прогресс сравнительно с тем, что сделано было Аполлонием и Гиппархом, неизвестно.

Любопытно отметить, что у *Плиния* (23—79 гг. после н. э.) мы находим общеизвестное в наши дни доказательство шарообразности Земли, именно, что при отплытии корабля мачты и тому подобное остаются ещё видимы некоторое время после того, как корпус корабля скрылся под горизонтом.

Заслуживает упоминания ещё новое измерение окружности Земли *Посидонием* (родился в конце жизни Гиппарха¹); он пользовался методом, близким к эратосфеновскому (§ 36), и получил два различных результата. По последней оценке, которой он, повидимому, придавал больше вероятия, длина земной окружности равна 180 000 стадий, — результат, который почти настолько же ниже истины, насколько эратосфеновский превышает её.

46. Последнее славное имя, с которым мы встречаемся в греческой астрономии, принадлежит *Клавдию Птолемею*, о жизни которого не имеется сведений, кроме того, что он жил в Александрии примерно с 120 г. после н. э. Его слава основана главным образом на большом астрономическом трактате под названием *Альмагест*¹⁾ — источник, из которого почерпнута большая часть наших сведений о греческой астрономии и который можно смело назвать астрономической энциклопедией средних веков. Птолемею приписывается также несколько меньших астрономических и астрологических трактатов, из которых некоторые, вероятно, не оригинального происхождения; он, кроме того, был автором ценного труда по географии, а, может быть, и трактата по оптике. В *Оптике* рассматривается, между прочим, *рефракция*, или преломление света в земной атмосфере; там пояо-

¹⁾ Основная рукопись носит заглавие *μεγάλη σύνταξις* или «Большое Сочинение», хотя автор в ссылках на свою книгу называет её *μαθηματικὴ σύνταξις* (математическое сочинение). Арабские переводчики — из уважения ли или по небрежности — превратили *μεγάλη*, «большое», в *μεγίστη*, «величайшее», так что у арабов книга Птолемея известна была под названием *Al Magisti*, откуда и произошло латинское *Almagestum* или наше *Альмагест*.

няется, что свет звезды (рис. 32) или другого небесного тела S , войдя в нашу атмосферу (в точке A) и пронизывая нижние, более плотные слои её, понемногу должен изогнуться или *преломиться*; в результате звезда покажется наблюдателю, помещённому в B , ближе к зениту Z , чем в действительности; другими словами, свет будет казаться исходящим из S' , а не из S . Далее показано, что преломление должно быть наибольшим для светил, находящихся у горизонта, так как горизонтальным лучам приходится пронизывать более толстый слой атмосферы; результаты эти были выставлены причиной наблюдаемых уклонений в суточном движении звёзд, благодаря которой звёзды оказывались приподнятыми над горизонтом выше истинного своего положения. Рефракцией же объясняется хорошо известный приплюснутый вид лунного и солнечного диска при восходе и закате, происходящий оттого, что нижний край Солнца приподнимается действием рефракции больше верхнего, так что диск сокращается по вертикальному диаметру.

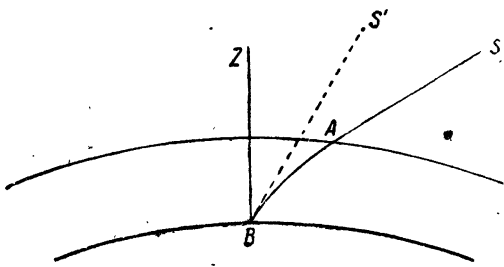


Рис. 32. Атмосферное преломление.

47. *Альмагест* несомненно основан, главным образом, на трудах прежних астрономов, в особенности же Гиппарха, которому Птоломей на каждом шагу выражает своё уважение и восхищение. О многих предметах, составляющих содержание *Альмагеста*, мы уже раньше говорили, и потому нет надобности повторять их подробнее. Книга эта сыграла, однако, столь важную роль в истории астрономии, что мы считаем вполне уместным дать краткий очерк её содержания, в добавление к более пространному изложению тех частей её, в которые Птоломей внёс крупный прогресс.

Альмагест состоит всего из 13 книг. Первые две трактуют о наиболее простых фактах, известных из наблюдения: о суточном движении небесной сферы, о главных движениях Солнца, Луны и планет, а также и о некоторых явлениях, связанных с небесной сферой и её движением, каковы: продолжительность дня и времени восхода и заката звёзд в различных поясах земного шара; здесь же даются решения некоторых из важнейших математических задач¹⁾ и математическая таблица²⁾ значительных размеров и точности. Самая же интересная часть этих вступительных глав трактует о том, что можно назвать постулатами птолемеевой астро-

¹⁾ Из сферической тригонометрии.

²⁾ Таблица хорд (или двойных синусов половины угла) через каждые 10° от 0° до 180° .

номии (кн. I, гл. II). Первый из них касается шарообразности Земли. Птоломей поочерёдно обсуждает и отбрасывает различные иные воззрения и излагает некоторые из общепринятых доказательств шарообразности Земли, опуская, однако, одно из наиболее сильных, принадлежащее Аристотелю (§ 29) и основанное на затмениях; он сделал это, быть может, потому, что считал его слишком отвлечённым и трудным, а от себя прибавил аргумент, основанный на том, что при восхождении наблюдателя на высоту увеличивается площадь видимой им земной поверхности. В своей географии Птоломей принимает оценку Посидония для окружности Земли—180 000 стадий. Из других постулатов, высказанных и защищаемых им, отметим предложения о том, что небо шарообразно и вращается подобно сфере, что Земля находится в центре неба, что она неподвижна и представляет собой точку по сравнению с расстояниями неподвижных звёзд. Место, занимаемое этими постулатами в трактате, и общий метод птоломеева изложения заставляют думать, что он считал их не важными истинами, требующими возможно лучшего подтверждения, но скорее предположениями, наиболее достойными доверия из всех других известных автору и могущими служить в качестве базиса для математических вычислений, долженствующих объяснить наблюдаемые явления. В этом пункте Птоломей существенно отличается как от древних греков, вроде Пифагора, так и от полемических писателей XVI и XVII вв., вроде Галилея (гл. VI), для которых истинность или ложность постулатов, аналогичных птоломеевым, составляла самую сущность астрономии и один из конечных объектов исследования. Аргументы, выдвигаемые Птоломеем в защиту своих постулатов и представлявшие, по всей вероятности, общие места астрономической литературы его времени, кажутся нам шаткими и малоценными, за исключением доказательств, касающихся формы Земли. В самом деле, остальные положения едва ли можно доказать или опровергнуть теми данными, какие имелись в распоряжении Птолемея. Его доводы в пользу неподвижности Земли не лишены интереса; в них он обнаруживает ясное понимание того, что некоторые наблюдаемые явления можно с одинаковым успехом объяснить как движением звёзд, так и движением Земли. Он склоняется, однако, к заключению, что гораздо легче приписать движение звёздам, телам, повидимому, огненной природы, чем твёрдой Земле, и, кроме того, указывает на трудность представить себе Землю обладающей быстрым движением, совершенно невосприимчивым нашим сознанием. При этом он не вдаётся в серьёзное рассмотрение возможности обращения Земли или хотя бы Венеры и Меркурия вокруг Солнца.

Третья книга *Альмагеста* касается длины года и теории Солнца, но она не прибавила ничего существенного к трудам Гиппарха.

48. В четвёртой книге *Альмагеста*, трактующей о длине месяца и о теории движения Луны, содержится одно из важнейших откры-

тий Птолемея. Мы видели, что кроме движения лунной орбиты в её целом и обращения линии апсид главная неправильность или неравенство заключалось в так называемом уравнении центра (§ 39—40), очень точно изображаемом с помощью эксцентрика и зависящем только от положения Луны относительно своего апогея. Птоломей, однако, открыл то, что Гиппарх только подозревал, именно, что в движении Луны есть ещё одна неправильность, получившая впоследствии название *эвекции*, отчасти зависящая от положения её относительно Солнца. Птоломей сравнил наблюдённые положения Луны относительно Солнца и её апогей с вычислениями Гиппарха и нашёл, что хотя в эпохи полнолуния и новолуния наблюдается значительное совпадение тех и других, в эпохи *квадратур* (полулуния) замечаются большие уклонения, хотя бы Луна даже и не находилась очень близко к перигею или апогею. Гиппарх основывал свою теорию, главным образом, на наблюдениях затмений, т. е. на наблюдениях, по необходимости производившихся в полнолуние или новолуние (§ 43), а Птоломей своим открытием обязан тому обстоятельству, что проверял теорию Гиппарха наблюдениями, производившимися в другое время. Для изображения этого нового неравенства оказалось необходимым воспользоваться эпициклом и деферентом, причём этот последний представлял собой эксцентрический круг, центр которого обращался вокруг Земли. Чтобы объяснить до некоторой степени оставшиеся разногласия между теорией и наблюдением, производившимся не в полнолуние или новолуние и не в эпоху квадратур (полулуние), Птоломей допустил некоторое малое колебательное движение эпицикла, которому он дал название *просневзиса*¹⁾. Птолемею удалось, таким образом, настолько приспособить свою теорию к наблюдениям, что погрешность их редко превосходила 10' — величину ничтожную для астрономии того времени; на основании своего построения он вычислил таблицы, по которым легко было узнать положение Луны в любой данный момент.

¹⁾ Уравнение центра можно выразить тригонометрически двумя членами в выражении для долготы Луны $a \sin \theta + b \sin (2\varphi - \theta)$, где a , b — постоянные члены (в круглых цифрах 6° и 1'), θ — угловое расстояние Луны от перигея, а φ — угловое расстояние от Солнца. В соединении или противостоянии φ равно 0° или 180°, и вышеприведённый двучлен упрощается в $(a-b) \sin \theta$. Это та форма, в которой уравнение центра представлялось Гиппарху. Птолемея поправка поэтому равносильна прибавке

$$b[\sin \theta + \sin (2\varphi - \theta)], \text{ или } 2b \sin \varphi \cos(\varphi - \theta),$$

уничтожающейся во время соединения, но в квадратурах превращающейся в $2b \sin \theta$; эта поправка опять-таки превращается в нуль, когда Луна находится в перигее или апогее, но максимального значения она достигает в промежутках, когда $\theta = 90^\circ$. Построение Птолемея даёт начало ещё меньшему члену того же типа — $c \sin 2\varphi \cdot [\cos (2\varphi + \theta) + 2 \cos (2\varphi - \theta)]$, но орый, как о о легко заметить, уничтожается как в квадратурах, так и в соединениях или противостояниях.

В этой теории особенно сильно сказался один из характерных недостатков системы эпициклов. Говоря о теории Солнца (§ 39), мы уже заметили, что эксцентрик или эпицикл производил ошибочное изменение в расстоянии Солнца, во времена греков, однако, незаметное. По системе Птолемея Луна в некоторые моменты находилась на расстоянии, почти вдвое большем минимального, и, следовательно, кажущийся диаметр её временами должен был составлять немногим больше половины максимальной своей величины — заключение, явно несогласное с наблюдениями. Весьма вероятно, что Птоломей заметил эту несообразность, но не мог преодолеть возникнувших при этом затруднений; знаменателен во всяком случае тот факт, что при рассмотрении затмений, для которых величина кажущегося диаметра Солнца и Луны имеет большое значение, он совершенно отбрасывает оценки, полученные из его теории, и обращается к прямому наблюдению (см. также § 51, примечание).

49. Пятая книга *Альмагеста* содержит в себе описание устройства и употребления главного птолемея инструмента, комбинации градуированных кругов, известной под названием *астролябии*¹⁾.

Дальше следует подробное рассуждение о лунном параллаксе (§ 43) и о расстояниях Солнца и Луны. Птоломей определил расстояние Луны с помощью параллактического метода, существенно сходного с тем, каким пользуются ещё и поныне. Если мы знаем направление линии $СМ$ (рис. 31), соединяющей центры Земли и Луны, или направление, в каком видит Луну наблюдатель, помещённый в A , и, кроме того, направление линии $ВМ$, в каком видит Луну наблюдатель в B , то легко определить углы треугольника $СВМ$ и отношение сторон $СВ$, $СМ$. Птоломей получил требуемые направления из наблюдений Луны и нашёл, что $СМ$ в 59 раз больше $СВ$, т. е., что расстояние Луны равно 59 земным радиусам. Затем он пользуется гиппарховым методом затмений для определения расстояния Солнца из определённого вышеописанным образом расстояния Луны и находит, что оно равно 1 210 земным радиусам. Число это, весьма близкое к результату, полученному Гиппархом (§ 41), составляет, однако, $\frac{1}{20}$ истинного расстояния, найденного в современную эпоху (гл. XIII, § 284).

Шестая книга посвящена затмениям и содержит в себе существенные дополнения к работам Гиппарха.

50. В седьмой и восьмой книгах содержится звёздный каталог и описание прецессии (§ 42). Каталог, заключающий в себе 1 028 звезд (из них три двойных), повидимому, почти тождествен с гиппарховым. В нём нет ни одной такой звезды, которую мог бы

¹⁾ Здесь, как и в других местах, я не даю подробного описания астрономических инструментов; мне думается, что такие описания вообще не могут быть ни интересны, ни понятны тем, у кого нет самих инструментов, а тем, у кого они есть, такие описания не нужны.

видеть Птоломей в Александрии и не мог бы видеть Гиппарх на Родосе. Сверх того Птоломей претендует на определение, путём сравнения своих наблюдений с наблюдениями Гиппарха и других, величины прецессии в $36''$ (ошибочной, см. § 42), которую Гиппарх рассматривает как наименьший возможный результат, а Птоломей считает своей конечной оценкой. Положения звёзд птолемея каталога ближе согласуются с их истинными положениями во времена Гиппарха, при поправке на предполагаемую годовичную прецессию в $36''$, чем с их действительными положениями в эпоху Птолемея. Весьма вероятно поэтому, что каталог и вообще не является плодом оригинальных наблюдений Птолемея, но в сущности есть тот же каталог Гиппарха, поправленный на прецессию и лишь немного видоизменённый новыми наблюдениями Птолемея или других астрономов.

51. Последние пять книг трактуют о теории движения планет, наиболее важным из оригинальных вкладов Птолемея в астрономическую науку. Проблема удовлетворительного объяснения планетных движений по причине их громадной неправильности представляла несравненно больше затруднений, чем соответствующая проблема, касающаяся Солнца или Луны. Движение этой последней настолько приближается к равномерному, что неправильности его могут быть отнесены к категории мелких поправок, а во многих случаях ими и совсем можно пренебречь. Планеты же, как мы видели (гл. I, § 14), не всегда даже движутся с запада на восток, но иногда останавливаются, некоторое время идут попятным движением, снова останавливаются и, наконец, движутся в первоначальном направлении. Вероятно,

уже в древние времена, по крайней мере, со времён Эвдокса (§ 26), известно было, что движения каждой из трёх планет — Марса, Юпитера и Сатурна — можно грубо изобразить как бы качанием около воображаемой планеты, равномерно движущейся по небесной сфере вдоль эклиптики или вблизи неё, и что Меркурия и Венеру равным образом можно предположить качающимися около Солнца (в обе стороны от него). Эти приближённые движения можно легко объяснить с помощью обращающихся сфер или эпициклов, что уже было

сделано Эвдоксом и с большей, надо думать, точностью Аполлонием. Юпитера, например, можно считать обращающимся по эпициклу (рис. 33), причём центр эпицикла j описывает равномерным движением деферент, в центре которого находится Земля. С Земли планета будет казаться попеременно то на востоке (как в J_1), то на западе (в J_2) от фиктивной планеты j ; величину размаха в каждую сторону и промежуток между появлениями плане-

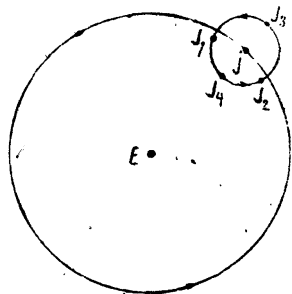


Рис. 33. Эпицикл и деферент Юпитера.

ты в крайних положениях с той и другой стороны (J_1, J_2) можно легко представить, подобрав соответственным образом размеры эпицикла и быстроту его движения. Очевидно, кроме того, что при таком построении кажущееся движение Юпитера должно подвергаться значительным переменам, так как движения планеты по эпициклу и центра эпицикла по деференту иногда имеют одно направление и складываются, иногда же направлены в противоположные стороны. Так, когда Юпитер находится в наибольшем удалении от Земли, положим в J_3 , то он движется всего быстрее; в J_1 и J_2 движение его представляется с Земли таким же, как и движение точки j ; зато в J_4 движения эпицикла и планеты направлены в противоположные стороны, и если мы подберём величину эпицикла и скорость его центра вышеуказанным образом, то найдём, что в этот период движение планеты быстрее движения эпицикла, и потому она в этом положении будет казаться движущейся с востока на запад (на рисунке слева направо), что наблюдается и в действительности. Далее, так как в J_1 и J_2 кажущееся движение планеты совершается с запада на восток, а в J_4 — в обратном направлении, то между J_1 и J_4 , с одной стороны, и J_4 и J_2 , с другой, находятся точки, в которых планета меняет направление своего движения и потому кажется остановившейся на некоторое время. Здесь мы подходим к объяснению стационарных точек, или точек стояния (гл. I, § 14). Точно такая же

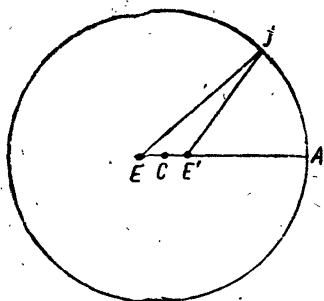


Рис. 34. Эквант.

схема даёт грубое объяснение движениям Меркурия и Венеры, с той только разницей, что центр эпицикла всегда лежит по направлению к Солнцу.

Гиппарх, как мы видели, нашёл общепринятое объяснение планетных движений неточным (§ 44) и собрал множество новых наблюдений. Присоединивши к ним собственные, Птоломей воспользовался ими для построения улучшенной планетной системы.

Как и в случае Луны, он для деферента взял (рис. 34) эксцентрический круг (центр C), но вместо того, чтобы заставить центр (j) эпицикла двигаться равномерно по деференту, он ввёл новую точку, называемую эквантом (E'), расположенную на таком же расстоянии от центра деферента, как и Земля, но только с противоположной стороны, и урегулировал движение точки j условием, что оно равномерно, если смотреть на него из экванта; другими словами — углу $AE'j$ дано было равномерное приращение. В случае Меркурия (движения которого смущали астрономов во все времена) отношение экванта к центру эпицикла оказалось несколько иным, и его заставили обращаться по небольшому кругу. Уклонения планет от эклиптики (гл. I, § 13, 14).

объяснялись небольшим наклоном плоскостей деферентов и эпициклов.

При помощи такого рода системы, разработанной с чрезвычайной тщательностью, и, очевидно, не без колоссальных усилий Птоломеем, получил возможность с большой точностью представить движения планет так, как они были отражены в наблюдениях, которыми он располагал.

Современные исследователи, равно как и некоторые средневековые писатели, указывают на то, что употребление экванта (игравшего небольшую роль и в лунной теории Птолемея) вызвано было желанием во что бы то ни стало объяснить все явления из принципа равномерных круговых движений, на котором, как полагают, построены системы Гиппарха и Птолемея, и что лично этот последний, видимо, не сознавал его несостоятельности. Мы можем, однако, с полным правом сомневаться, действительно ли Гиппарх или Птоломей питали безусловную уверенность в преимуществе такого движения и не рассматривали ли они его просто как лёгкий и удобопонятный способ объяснения некоторых более сложных движений. Трудно, кроме того, допустить, чтобы Гиппарх, пользуясь эквантом для объяснения неправильного движения, стеснялся в выборе средств больше своего великого последователя, если бы упомянутый принцип действительно в точности объяснял все движения. Несомненно, тут анахронизм. Древние греки, астрономия которых носила скорее умозрительный, чем научный характер, а затем многие астрономы средних веков чувствовали, что «совершенство» небесных движений, совершающихся по самым «совершенным» или правильным геометрическим схемам, необходимо должно покоиться на априорных основаниях; весьма вероятно поэтому, что Пифагор, или Платон, или даже Аристотель воспротивились бы, а астрономы XIV и XV вв. так уж наверное отвергли бы (относительно некоторых нам это достоверно известно) вышесказанное нововведение Птолемея. Но нет никакого основания приписывать это априорное положение греческим астрономам позднейшей научной эпохи ¹⁾.

¹⁾ Преимущества пользования эквантом легко уяснить себе путём математического сравнения с эллиптическим движением, которое было введено Кеплером. В эллиптическом движении угловое перемещение и расстояния приблизительно выражаются формулами: $nt + 2e \sin nt$, $a(1 - e \cos nt)$; соответствующие формулы при пользовании простым эксцентриком суть $nt + e' \sin nt$, $a(1 - e' \cos nt)$. Если мы желаем согласовать угловые перемещения, то должны приравнять $e' = 2e$, но для того, чтобы согласовать расстояния, нам придётся допустить $e' = e$; оба условия несовместимы. Но как только мы введём эквант, то получим формулы: $nt + 2e' \sin nt$, $a(1 - e' \cos nt)$; обе они совпадут с эллиптическими при условии $e' = e$. Птоломеем мог бы освободить свою лунную теорию от указанного нами (§ 48) серьёзного недостатка, если бы он воспользовался эквантом для объяснения главного неравенства Луны; свою планетную теорию он мог бы развить с точностью до первой степени малых величин, догадайся он ввести эквант как для деферента, так и для эпицикла.

Нужно заметить, что вопрос об истинных расстояниях планет и не затрагивался, и в самом деле кажущиеся движения совершенно не зависят от размеров эпицикла и деферента, лишь бы они изменялись пропорционально. Птоломей ясно указывает, что у него нет данных для определения числовой величины планетных расстояний или даже порядка расстояний различных планет. Он по традиции принял гадательный критерий относительной близости планет—скорость их движения—и помещал Марса, Юпитера и Сатурна (совершающих свой оборот на небесной сфере в среднем соответственно в 2, 12 и $29\frac{1}{2}$ лет) за Солнцем в только что указанном порядке. Так как Венера и Меркурий сопровождают Солнце и потому их период обращения в общем равняется году, то к ним вышеупомянутый критерий оказывается неприменимым, но Птоломей в данном случае опирается на мнение «древних математиков» (вероятно, халдеев), по которому Меркурий и Венера лежат между Луной и Солнцем, причём Меркурий ближе к нам (гл. I, § 15).

52. Относительно заслуг Птолемея в мнениях астрономов замечается большое разногласие. В средние века авторитет его по вопросам астрономии считался решающим, за исключением тех случаев, когда его перевешивал ещё больший авторитет Аристотеля. Современная критика выяснила факт, которого, впрочем, и сам Птоломей никогда не скрывал, именно, что труды его в значительной мере основаны на трудах Гиппарха и что его личные наблюдения, если и не подложны, то во всяком случае по большей части плохи. С другой стороны, в трудах его мы видим ясное свидетельство того, что он был образованным и оригинальным математиком¹⁾. Главнейшими из его положительных заслуг перед астрономией является открытие эвекции и планетная теория, но, как они ни важны, мы должны, вероятно, поставить выше их те услуги, которые он оказал науке сохранением и развитием великих идей Гиппарха—идей, которые другие астрономы того времени вряд ли были способны оценить и которые могли бы легко затеряться, если бы не были увековечены в *Альмагесте*.

53. История греческой астрономии собственно кончается Птоломеем. Искусство наблюдения упало до такой степени, что за восемь с половиной веков, отделяющих Птолемея от Альбатиния, почти не производилось наблюдений, имеющих научную ценность (гл. III, § 59). Если и были греческие писатели после Птолемея, то разве лишь компиляторы и комментаторы вроде Теона (365 г. после н. э.); никому из них нельзя приписать сколько-нибудь оригинальной или ценной мысли. Убийство дочери Теона, Гипатии (415 г. после н. э.), тоже писавшей астрономические трактаты, отмечает эпоху упадка александрийской школы;

¹⁾ Де-Морган ставит его на одну доску с тремя величайшими геометрами древности—Архимедом, Эвклидом и Аполлонием.

конец этой школе настал в 640 г. (после н. э.), когда Александрия была завоёвана арабами¹⁾.

54. Попытаемся в кратких словах оценить заслуги греков перед астрономической наукой и их метод исследования. Разумеется, ожидать краткой формулы, могущей характеризовать научное положение целого ряда астрономов, охвативших своей жизнью период в восемь столетий, было бы неразумно; доказывать слабость греческой астрономии сравнительно с нашей и упрекать греков в том, что они не открыли метода индукции, упрекать их в пренебрежении фактами или даже в неясности идей—труд бесплодный и бесполезный. В области привычек мышления и научных стремлений различие между Пифагором и Гиппархом, быть может, больше разницы между Гиппархом, с одной стороны, и Коперником или даже Ньютоном, — с другой, и мы не без основания можем сказать, что фантастические идеи, изобилующие в труде даже такого ума, как Кеплер (гл. VII, § 144, 151), ставят его научный метод в некоторых отношениях ниже метода его великого греческого предшественника.

Греки унаследовали от своих предшественников массу наблюдений, порой довольно точных, почти вполне удовлетворявших требованиям практической жизни, но в смысле астрономических теорий и умозрений, которыми их лучшие мыслители интересовались гораздо больше, нежели фактическими подробностями, они получили в сущности белый лист, на котором им пришлось начертить (вначале с посредственным успехом) свои спекулятивные идеи. Такие даты, как халдейские наблюдения затмений и Пифагоровы идеи о гармонических сферах, разделяются громадным промежутком времени, а необходимые теоретические построения не могут быть воздвигнуты без помощи математических методов, изобретавшихся постепенно. Правда, греки мало интересовались наблюдениями, особенно в древнейшую эпоху, но можно всё-таки сомневаться, на много ли подвинулась бы вперёд астрономия греков сравнительно с халдейской, если бы даже они и располагали свежим запасом наблюдений. Но как только умозрительные идеи, обоснованные с помощью математики, получили достаточное развитие для того, чтобы их можно было проверить наблюдениями, астрономии был обеспечен быстрый успех. Греческие астрономы научного периода—Аристарх, Эрастосфен и в особенности Гиппарх—в своих изысканиях следовали, кроме того, методу, всегда плодотворному для физических наук, именно, они изобретали временные гипотезы, выводили их математические следствия и затем сравнивали их с результатами

¹⁾ Легенда, что книгами Александрийской библиотеки в течение шести месяцев отапливались общественные бани, отвергается Гиббоном и другими писателями. Одним из аргументов в пользу этого является соображение, что к тому времени осталось по всей вероятности слишком мало книг для того, чтобы ими можно было топить печи.

наблюдения. Быть может, лучшей иллюстрацией истинно-научной осмотрительности послужит нам пример Гиппарха, который, испытав представившиеся ему планетные теории и признав их несостоятельность, благоразумно воздержался от построения новой теории на заведомо недостаточных данных и терпеливо занялся накоплением свежего материала, которым он сам никогда не пользовался, а завещал его будущим астрономам, дабы они могли построить при помощи его более совершенную теорию.

Из положительных вкладов, сделанных греками в сокровищницу наших астрономических знаний, наиболее поразительным является открытие шарообразности Земли,—результат, лишь слегка видоизменённый позднейшими открытиями. Но объяснение, данное греками главнейшим движениям тел солнечной системы, и объединение этих движений в сравнительно небольшое количество простейших видов следует считать гораздо более ценным завоеванием, хотя греческая система эпициклов подверглась таким переделкам, что с первого взгляда трудно признать связь между нею и нашими современными воззрениями. Дальнейший исторический обзор покажет нам, однако, в какой тесной зависимости находится каждая стадия прогресса астрономической науки от предшествующей.

Когда мы изучаем напряжённый конфликт, произошедший во времена Коперника между древними и современными идеями, то симпатии наши естественно склоняются на сторону защитников этих последних, более правильных, как нам теперь известно; мы при этом склонны забывать, что те, которые ратовали за древнюю астрономию и цитировали Птолемея, искренно верили в доктрины, унаследованные от греков, но что их метод мышления, манера отворачиваться от фактов и слепое поклонение авторитету были совершенно чужды духу великих мужей, учениками которых они себя считали.

ГЛАВА III

СРЕДНИЕ ВЕКА

«Лампада догорает, и сквозь оконный пере-
плёт
Уж брезжит слабый луч туманного рас-
света».

Б р а у н и н г, *Парацельс*

55. Около четырнадцати веков протекло со времени обнародования *Альмагеста* до смерти Коперника (1543)—события, играющего в астрономии роль вехи или межевого столба на границе средних веков и нового мира. В этот период, своей продолжительностью почти вдвое превосходящий промежуток, отделяющий Фалеса от Птолемея, и почти вчетверо эпоху, истекшую со дня смерти Коперника до нашего времени, не было сделано ни одного астрономического открытия первостепенной важности. Можно, правда, отметить несколько крупных успехов в области математики и усовершенствования в искусстве наблюдения, но теоретическая астрономия едва ли сделала какие-нибудь успехи, а в некоторых отношениях даже пошла назад, так как ходячие доктрины, в некоторых пунктах более правильные, нежели птоломеевские, исповедывались в эту эпоху с гораздо меньшим разумением и сознательностью, чем это было в древности.

На западе, как мы уже видели, не произошло ничего замечательного в течение первых пяти веков после Птолемея. Затем наступает почти сплошной пробел, и до более или менее заметного пробуждения прежнего интереса к астрономии, прошло ещё немало столетий.

56. Тем временем на востоке, в VII в., замечается удивительный подъём научного духа. Потомки диких арабов, развернувшие знамя Магомета на громадном пространстве Римской империи и в странах, лежащих далеко к востоку, быстро почувствовали на себе неотразимое влияние цивилизации покорённых народов, и Багдад, с VIII в. ставший столицей калифов, очень скоро преобразился в центр литературной и научной деятельности. Альманзор, царствовавший с 754 по 775 г., слыл покровителем науки и собирал вокруг себя учёных как из Индии, так и с запада. В част-

ности упоминают о прибытии к его двору в 772 г. учёного мужа из Индии, привезшего с собой индийский трактат по астрономии¹⁾, переведённый на арабский язык по приказанию калифа и в течение почти полувека служивший образцом этого рода сочинений.

Со времени Альманзора целая группа учёных, первоначально главным образом из сирийских христиан, занималась при дворе калифов переводом греческих сочинений, нередко при посредстве сирийского языка, на арабский. Прежде всего, переведены были медицинские трактаты Гиппократ и Галена; аристотелевские идеи, заключающиеся в этих последних, повидимому, возбудили интерес к сочинениям самого Аристотеля и расширили, таким образом, рамки предметов, достойных изучения. За медициной вскоре последовала астрономия, сделавшаяся любимой наукой арабов, всего вероятнее из-за её практических приложений. Пути караванов арабских купцов простирались от Багдада к западу до африканского и европейского атлантического побережья и к востоку почти до самых берегов Тихого океана. Столь же длинные пути совершали и арабские торговые корабли, перевозившие товары от Индии к Суэцкому перешейку и обратно. Нет сомнения в той пользе, которую арабские купцы извлекали из астрономических знаний при столь далёких путешествиях, успешное выполнение которых в значительной степени зависело от умения правильно ориентироваться в безлюдных местах и в открытом море. Помимо этого, некоторые магометанские обряды требовали знания направления Мекки, и хотя масса правоверных, живших где-нибудь между Индом и Гибралтарским проливом, должна была довольствоваться приблизительным решением этой задачи, тем не менее астрономия, способствовавшая определению истинного направления, встретила благосклонный приём в больших населённых центрах. Лунный календарь магометан, от которого зависело правильное чередование постов и праздников, в свою очередь требовал некоторого внимания. Кроме того, вера в возможность предугадывания будущего по звёздам, процветавшая у халдеев (гл. I, § 18), но в значительной степени ослабевшая у греков, быстро возродилась на родственной ей почве востока, и калифы, по всей вероятности, столько же были заинтересованы в том, чтобы их придворные учёные были искусны в астрологии, сколько и в занятиях чистой астрономией.

Первый перевод *Альмагеста* сделан был по приказанию премника Альманзора, Гаруна аль-Рашида (765 или 766—809), героя сказок *Тысячи и одной ночи*. Повидимому, это оказалось не лёгким делом; новая попытка перевести сочинение Птолемея

¹⁾ Данные относительно индийской астрономии так ненадёжны, а свидетельства о самостоятельных успехах её так слабы, что мы считаем излишним входить в подробное рассмотрение её. Главнейшие индийские трактаты, включая и тот, на который мы ссылаемся в тексте, носят явные следы влияния греческих сочинений.

была сделана *Гонейном бен-Исаком* (?—873) и сыном его *Исаком бен-Гонейном* (?—910 или 911), а окончательная версия, установленная *Табитом бен-Корра* (836—901) появилась к концу IX в. Исак бен-Гонейн перевёл, кроме того, немало других астрономических и математических книг, так что к концу IX в., когда переводческая деятельность почти прекратилась, большинство важнейших греческих сочинений по вышеозначенным предметам, равно как и множество мелких трактатов, имелось уже в переводах. Этой деятельности арабов мы обязаны сохранением многих греческих сочинений, оригиналы которых погибли.

57. В период пребывания калифов в Дамаске там была построена обсерватория; другая великолепная обсерватория сооружена была в Багдаде в 829 г. калифом Аль-Мамуном. Инструменты, существенные части которых были построены по типу греческих, превосходили их, однако, размерами и отделкой. Кроме того, арабские астрономы завели прекрасный обычай вести правильные и насколько возможно непрерывные наблюдения главных небесных тел и отмечать положения знакомых звёзд в начале и конце затмения с целью определить впоследствии точный момент его наступления. На точность наблюдений обращалось так много внимания, что по некоторым известиям особенно интересные из них заносились в формальные документы, скреплённые соединённой присягой нескольких астрономов и юристов.

Аль-Мамун поручил своим астрономам проверить птоломееву оценку величины земного шара. Было сделано два самостоятельных измерения части меридиана, которые, однако, так близко согласуются одно с другим и с ошибочным результатом Птолемея, что вряд ли их можно считать вполне независимыми и тщательными измерениями; скорее всего, в них нужно видеть грубую проверку вычислений Птолемея.

58. Тщательные наблюдения арабов скоро обнаружили недостатки греческих астрономических таблиц; время от времени выходили новые таблицы, построенные в общем на тех же принципах, что и *Альмагест*, но видоизменённые новыми числовыми данными относительно размеров различных кругов, положения апогеев, наклонов орбит и т. д.

Табиту бен-Корра, о котором мы упоминали как о переводчике *Альмагеста*, принадлежит сомнительная честь открытия предполагаемой вариации прецессии (гл. II, § 42, 50). Желая объяснить её, он изобрёл сложный механизм, производивший некоторые перемены в положении эклиптики, и ввёл, таким образом, совершенно произвольное усложнение, известное под названием *трепидации*, путавшее и затемнявшее большинство астрономических таблиц, выходивших в течение последующих пяти или шести веков.

59. Несравненно выше перечисленных нами астрономов стоит арабский князь, при рождении названный Аль-Баттани, но

больше известный под латинизированным именем *Альбатения*, производивший наблюдения с 878 г. по 918 г. и скончавшийся в 929 г. Он проверил многие из птоломеевых результатов новыми наблюдениями и получил более точные цифры для наклона эклиптики (гл. I, § 11) и прецессии. Он вдобавок написал трактат по астрономии, содержащий в себе улучшенные таблицы Солнца и Луны, и сделал замечательное открытие, что направление солнечного апогея, или, другими словами, направление центра эксцентрика, изображающего движение Солнца (гл. II, § 39), не согласуется с указанным в *Альмагесте*; из этой перемены, слишком большой для того, чтобы её можно было отнести на счёт ошибок наблюдения или вычисления, можно с полным правом заключить, что апогей обладает медленным движением, — результат, который, однако, не был ясно высказан Альбатением. Наконец, Альбатений был хорошим математиком и ввёл некоторые замечательные улучшения в методы вычисления¹⁾.

60. Последним багдадским астрономом был *Абул-Вэфа* (939 или 940—998), автор объёмистого трактата по астрономии, пользовавшегося такой же известностью, как и *Альмагест*; он блещет новыми идеями и написан по плану, отличному от птоломеевой книги, за перевод которой его нередко принимали. Изучая теорию Луны, Абул-Вэфа нашёл, что за вычетом уравнения центра и эвекции остаётся ещё неравенство лунного движения, неощутимое в эпохи соединения, противостояния и квадратур, но весьма заметное в промежуточные эпохи. Возможно, что Абул-Вэфа нашёл, таким образом, неравенство, вновь открытое Тихо Браге (гл. V, § 111) и известное под названием *вариации*, но не менее вероятно и то, что он просто восстановил птоломеев просневзис (гл. II, § 48)²⁾. Во всяком случае открытие Абул-Вэфы было, по видимому, в совершенном пренебрежении у его последователей и не принесло плодов. Далее Абул-Вэфа более полно развил некоторые математические усовершенствования своих предшественников.

Почти современником ему является *Ибн-Юнис* (?—1008), трудившийся в Каире под покровительством магометанских правителей Египта. Он обнародовал ряд астрономических и математических таблиц, так называемых *Гакемитских таблиц*, служивших образцом в течение двух веков, и включил в свою книгу массу собственных наблюдений наряду с обширной серией наблюдений древнейших арабских астрономов.

¹⁾ Он ввёл в тригонометрию синусы, а отчасти пользовался и тангенсами, не сознавая, по видимому, их значения; он пользовался, кроме того, некоторыми новыми формулами для решения сферических треугольников.

²⁾ Между учёными, главным образом французскими, шёл долгий спор касательно взаимного отношения Птолемея, Абул-Вэфы и Тихо в упомянутом вопросе, — спор, оставшийся нерешённым.

61. Около этого времени астрономия наряду с другими отраслями знания сделала некоторые успехи в магометанских областях Испании и соседнего с нею берега Африки. В Кордове около 970 г. основана была громадная академия с книгохранилищем, вслед за чем быстро последовало открытие учебно-образовательных центров в Кордове, Толедо, Севилье и Марокко.

Наиболее ценным плодом усилий мавританских астрономов является том астрономических таблиц, опубликованных под руководством *Арзахеля* в 1080 г. и известных под названием *Толедских таблиц*, так как они вычислены для Толедо, где, по всей вероятности, жил Арзахель. Этой школе мы обязаны некоторыми усовершенствованиями в инструментах и методах наблюдения; ею было издано несколько сочинений, посвящённых критике Птолемея, но не внесших, однако, никаких поправок в его идеи.

Между тем, испанцы-христиане стали мало-помалу вытеснять своих соседей-магометан. Кордова была взята в 1236 г., Севилья в 1248 г., а с их падением арабская астрономия погибла для истории.

62. Прежде чем перейти к рассмотрению успехов астрономии в Европе, мы должны упомянуть ещё о двух астрономических школах Востока, в равной мере характеризующих необычайно быстрый рост научных интересов среди варварских народов. Гулагу-Хан, внук монгольского завоевателя Чингис-Хана, завоевал Багдад в 1258 г. и положил конец владычеству калифов. За несколько лет перед тем он приблизил к себе, отчасти как советника по делам политики, астронома *Нассир-Эддина* (родившегося в 1201 г., в Тусе, в Хорассане), а впоследствии отпустил ему громадную сумму на учреждение великолепной обсерватории в Мераге, около северо-западной границы современного Ирана. Здесь трудилась масса астрономов под общим надзором Нассир-Эддина. Инструменты, которыми они пользовались, отличались своей величиной и солидностью конструкции и были, по всей вероятности, лучше тех, какие употреблялись в Европе во времена Коперника; впервые их превзошли только инструменты Тихо Браге (гл. V).

Нассир-Эддин со своими помощниками перевёл или прокомментировал почти все важнейшие и мало-мальски ценные сочинения греков по астрономии и родственным наукам, включая эвклидовы *Начала*, некоторые книги Архимеда и *Альмагест*. Нассир-Эддин написал ещё сокращённое руководство по астрономии, не лишённое некоторой оригинальности, и трактат по геометрии. Повидимому, он не слепо подчинялся авторитету Птолемея и в частности отвергал пользу экванта (гл. II, § 51), который он заменил новой комбинацией сфер. Многие из этих трактатов долгое время пользовались на востоке большой известностью и в свою очередь становились предметом комментариев.

Плодом двенадцатилетних трудов астрономов, работавших в Мераге, был ряд исправленных астрономических таблиц, основанных на Гакемитских таблицах Ибн-Юниса (§ 60) и названных *Ильханскими таблицами*. Они содержали в себе не только обыкновенные таблицы для вычисления положений планет, но и звёздный каталог, до некоторой степени составленный по новым наблюдениям.

Важным результатом наблюдений над неподвижными звёздами, производившихся в Мераге, было установление прецессии (гл. II, § 42) в $51''$, с точностью до $1''$. Нассир-Эддин занимался также вопросом о предполагаемой трепидации (§ 58), но, повидимому, несколько сомневался в её существовании. Он умер в 1273 г. и со смертью его мераская школа пришла в упадок с такой же быстротой, с какой возникла.

63. Около двух столетий спустя *Улуг-Бег* (родился в 1394 г.), внук дикого татарского завоевателя Тамерлана, сильно заинтересовавшись астрономией, соорудил в 1420 г. обсерваторию в Самарканде, где и работал со своими помощниками. Он обнаружил новые планетные таблицы, но главным трудом его является звёздный каталог, обнимающий почти те же звёзды, что и Птолемеевский, но только по новым наблюдениям. Это был, по всей вероятности, первый вполне самостоятельный каталог со времени Гиппарха. Положения звёзд даны с необычайной точностью, не только в градусах, но и в минутах небесной долготы и широты, и хотя по сравнению с современными наблюдениями оказались обычные ошибки в несколько минут, но инструменты, которыми пользовался Улуг-Бег, надо думать, были очень хороши. Улуг-Бег был убит своим сыном в 1449 г., и с ним вместе угасла и татарская астрономия.

64. Ни одному из арабских и других астрономов, перечисленных нами, мы не обязаны какой-нибудь крупной оригинальной идеей. Все они зато обладали замечательной способностью усваивать чужие мысли и давать им, хотя и небольшое, дальнейшее развитие. Все они были терпеливыми и аккуратными наблюдателями и искусными вычислителями. Мы им обязаны длинным рядом наблюдений и изобретений либо важными усовершенствованиями математических методов¹⁾. Одна из наиболее ценных услуг, оказанных ими математике, а, следовательно, и астрономии, заключается в том, что они принесли к нам из Индии современную цифровую систему, в которой значение цифры зависит от занимаемого ею места, благодаря чему устраняется надобность в изобретении особых символов для больших чисел, как это было в неуклюжих греческой и римской системах. Они ввели, таким

¹⁾ Например, обычай трактовать тригонометрические функции как алгебраические величины, которыми можно оперировать с помощью формул, а не только как геометрические линии.

образом, громадное упрощение в арифметические процессы¹⁾. Но помимо этих положительных и самостоятельных вкладов в астрономическую науку арабы имеют ещё очень важную заслугу в том отношении, что оживили интерес к науке и сохранили открытия своих греческих предшественников.

В астрономической номенклатуре остались любопытные следы того времени, когда арабы стояли во главе астрономии. Так, например, мы получили от них, хотя и в очень испорченном виде, общеупотребительные названия многих звёзд—Альдебаран, Альтаир, Бетельгейзе, Ригель, Вега (созвездия мы знаем по латинским переделкам греческих названий) и некоторые общеупотребительные астрономические термины, как *зенит* и *надир* (невидимая точка на небесной сфере, противоположная зениту), и, наконец, одно слово—«альманах»—перешло и в обыденную речь.

65. Что касается Европы, то смутный период, последовавший за падением Римской империи и предшествовавший окончательному сформированию феодального строя, представляется пробелом в истории астрономии, как и всякой другой естественной науки. Лучшие умы погружались в занятия теологией, если не увлекались практической деятельностью. Немногие из них, как *Бада Достопочтенный* (672—735), жившие большей частью в закрытых монастырях, отличались учёностью, заключавшейся главным образом в отрывочных сведениях из математики и астрономии, но они ничего не внесли в сокровищницу науки. Некоторые успехи сделаны были Карлом Великим (742—814), который не только создал нечто вроде порядка в своих обширных владениях, но и энергично пытался расширить народное образование и науку. В 782 г. он призвал к своему двору учёного англичанина *Алкуина* (735—804) для преподавания астрономии, арифметики, риторики и других предметов; в помощники ему он пригласил других учёных, основав, таким образом, своеобразную академию, главой которой был Алкуин.

Карл Великий не только основал высшую школу при своём дворе, но и деятельно побуждал духовные власти своего государства следовать его примеру. В этих школах преподавались семь свободных искусств, делившихся на так называемый тривиум (грамматика, риторика и диалектика) и квадривиум, включавший в себя астрономию с арифметикой, геометрию и музыку.

66. В X в. слава арабской науки понемногу распространилась через Испанию в другие части Европы, и колоссальную учёность *Герберта* (бывшего римским папой под именем Сильвестра II с 999 г. по 1003 г.) объясняли главным образом тем обстоятельством, что он некоторое время жил в Испании, в мавритан-

¹⁾ Кто не представляет себе этого, тому мы предлагаем помножить само на себя такое число, как MDCCCXCVIII (т. е. 1898).

ских владениях или по соседству с ними. Он усердно занимался науками, неутомимо разыскивал и жадно прочитывал книги и особенно интересовался математикой и астрономией. Его искусство в изготовлении астролябий (гл. II, § 49) и других инструментов было так велико, что в народе шла молва, будто он получил его в обмен на душу, проданную нечистому. Немало и других учёных обнаруживало такой же интерес к арабской науке, но лишь спустя столетие влияние магометан стало заметным.

В начале XII в. появляется целый ряд переводов с арабского языка на латинский научных и философских трактатов, частью оригинальных произведений арабов, частью арабских переводов греческих книг. Одним из самых деятельных переводчиков был *Платон Тивольский*, изучивший арабский язык в Испании около 1116 г. и переведший *Астрономию* Альбатения (§ 59) наряду с другими астрономическими сочинениями. Около того же времени *Ателларом из Бата* переведены были, между прочим, эвклидовы *Начала*. Ещё большим трудолюбием отличался *Герардо из Кремоны* (1114—1187), переведший, говорят, около 70 научных трактатов, между прочим, *Альмагест* и *Толедские таблицы* Аразхеля (§ 61). Начало XIII в. отмечено основанием нескольких университетов; при одном из них—Неапольском (основан в 1224) император Фридрих II, познакопившийся с магометанской наукой в Сицилии, собрал группу учёных, которым поручил сделать ряд новых переводов с арабского.

Сочинения Аристотеля по логике сохранились в латинских переводах классической эпохи и весьма ценились уже учёными XI и XII вв. Другие его сочинения встречаются впервые в арабских версиях и переведены на латинский язык в конце XII в. и в продолжение XIII в.; в одном или двух случаях они были переведены прямо с греческого. Влияние Аристотеля на средневековую мысль, уже и тогда значительное, вскоре стало почти подавляющим; и многие схоластики питали к его сочинениям такое же, если не большее, благоговение, как и к творениям виднейших христианских богословов.

Знакомство Западной Европы с арабской астрономией особенно усилилось благодаря деятельности *Альфонса X*, короля Леона и Кастилии (1223—1284), собравшего в Толедо, незадолго перед этим отнятом у арабов, группу учёных, евреев и христиан, которые вычисляли под его общим руководством ряд новых астрономических таблиц, заменивших *Толедские таблицы*. Эти *Альфонсинские таблицы* были обнародованы в 1252 г., в день восшествия Альфонса на престол, и быстро разошлись по Европе. Они не заключали в себе каких-нибудь новых мыслей, но многие числовые данные, особенно длина года, определены были с большей точностью, чем прежде. Альфонсу же наука обязана изданием *Libros del Saber*, объёмистой энциклопедии астрономических знаний того времени, которая, хотя и была почерпнута в зна-

чительной мере из арабских источников, отнюдь не является, как некоторые думали, простым собранием переводов. Любопытна в этой книге диаграмма, представляющая орбиту Меркурия в виде эллипса с Землёй в центре (гл. VII, § 140); это был, вероятно, первый проблеск идеи изображения небесных движений кривыми иного порядка, чем круг.

67. В XIII в. жило ещё несколько великих учёных, как *Альберт Великий*, *Роджер Бэкон* и *Чекко д'Асколи* (у которого учился Данте). Роджер Бэкон, родившийся около 1214 г. в Сомерсетшайре и умерший около 1294 г., написал три крупных книги, *Opus Majus*, *Opus Minus* и *Opus Tertium* (т. е. сочинения большое, малое и третье), заключающих в себе не только трактаты по многим отраслям знания, но и в высокой степени интересные рассуждения об относительной важности их и об истинном методе научного познания. Бэкон горячо восстаёт против излишнего поклонения авторитету, особенно аристотелевскому, книги которого он охотно бы сжёг, и энергично указывает на важность опыта и математического исследования научных проблем. Он, повидимому, обладал хорошим знанием оптики и, как полагают, был знаком с устройством телескопа, — предположение, которое едва ли подтверждается его рассказом о том, что телескоп был известен Юлию Цезарю, который-де до набега на Британию обозревал новые земли с противоположного берега Галлии при помощи телескопа!

Другая ценная книга этого периода была написана поркшайрцем, *Джоном Галифаксом* из Голивуда, больше известным под латинизированным именем *Сакробоско*, который одно время славился в качестве учителя математики в Париже, где он умер около 1256 г. Его *Sphaera Mundi* (*Сфера вселенной*) — элементарный трактат о наиболее общедоступных вопросах астрономии, рассматривающий главным образом очевидные следствия суточного движения небесной сферы, — пользовался громадной популярностью в течение трёх-четырёх столетий; его часто переиздавали, переводили и комментировали; это была одна из первых астрономических книг, когда-либо напечатанных; 25 изданий её появилось между 1472 г. и концом XV в., а ещё 40 около середины XVII в.

68. Писатели средневековой Европы, о которых мы упоминали, за исключением Альфонса и его помощников, довольствовались собиранием и приведением в порядок тех частей астрономической науки греков и арабов, которые им удалось преодолеть; здесь мы не видим ни серьёзных попыток развития теории, ни мало-мальски важных наблюдений. В XV в., однако, появилась в Германии новая школа, внесшая в науку свои добавления, хотя и не первостепенной важности, отличавшаяся большей независимостью и положившая начало новому научному исследованию.

Георг Пурбах, родившийся в 1423 г., получил в 1450 г. кафедру математики и астрономии в Венском университете, вскоре после своего основания (1365) ставшем центром преподавания этих наук. Здесь он начал свое *Сокращённое изложение астрономии*, основанное на *Альмагесте*, и перевод на латинский язык птолемеевой планетной теории, вначале предназначенной служить отчасти приложением к руководству Сакробоско (в котором эта часть предмета опущена), отчасти же—трактатом высшего порядка; но и в том и в другом начинании ему послужило препятствием крайне плохое качество единственно пригодных версий *Альмагеста*—латинских переводов, сделанных не прямо с греческого, но при посредстве во всяком случае арабского, а, может быть, и сирийского языка (§ 56) и, следовательно, переполненных ошибками. В работе ему помогал ещё более прославившийся ученик его Иоганн Мюллер из Кенигсберга (во Франкони), названный поэтому *Региомontanом*, привлечённый в Вену на шестнадцатом году жизни (1452) славой Пурбаха. Оба эти астронома производили некоторые наблюдения; их убеждение в необходимости астрономических реформ усилилось после того, как открылись серьёзные неточности в *Альфонсинских таблицах*, к тому времени достигших двухсотлетней давности; одно лунное затмение запоздало, например, на целый час, а Марс оказался на расстоянии 2° от вычисленного положения. Один из кардиналов пригласил Пурбаха и Региомонтана в Рим главным образом для изучения с их помощью копии *Альмагеста*, найденной в греческих рукописях, в огромном количестве вывезенных в Италию после падения Константинополя (1453); они уже готовились к отъезду, как вдруг старший из них внезапно скончался (1461).

Несмотря на смерть Пурбаха Региомонтан всё-таки отправился в путь и провёл в Италии семь лет; здесь он хорошо ознакомился с греческим языком, которым начал заниматься ещё в Вене, и получил, таким образом, возможность прочесть *Альмагест* и другие трактаты в оригинале; он дополнил пурбахово *Сокращённое изложение астрономии*, сделал несколько наблюдений, читал лекции, написал довольно ценный математический трактат¹⁾ и, наконец, вернулся в Вену в 1468 г. с оригиналами либо копиями многих важных греческих рукописей. Здесь он некоторое время состоял профессором, но затем получил от венгерского короля приглашение составить ценную коллекцию греческих рукописей. Король, однако, вскоре перенёс своё внимание с изучения древних греков на войны, и Региомонтан снова дви-

¹⁾ По тригонометрии. Он снова ввёл в употребление забытые уже синусы; в некоторой степени он пользовался и тангенсами, но подобно Альбатению (§ 59) не сознавал их важности и, таким образом, отстал от Ибн-Юниса и Абул-Ваффы. Ценным вкладом в математику оказалась его таблица синусов, вычисленная для каждой минуты от 0 до 90° .

нулся с места, на этот раз утвердившись в Нюрнберге, одном из самых цветущих городов Германии того времени; специальная приманка его заключалась в том, что здесь была основана одна из первых типографий. Жители Нюрнберга приняли Региомонтана с большим почётом, и в частности один богатый, *Бернард Вальтер* (1430—1504), не только снабдил его большими средствами; но даже, значительно превосходя его летами, стал его учеником и сотрудником. Искуснейшие мастера Нюрнберга занимались сооружением астрономических инструментов с точностью, ранее неизвестной Европе, хотя эти инструменты были, по всей вероятности, хуже инструментов Нассир-Эддина и Улуг-Бега (§ 62, 63). Была произведена масса наблюдений, между которыми особенно интересны наблюдения кометы 1472 г., первой, кажется, кометы, которая в большей мере была объектом научного исследования, чем источником суеверного ужаса.

Региомонтан сразу оценил значение для своей науки новоизобретённого книгопечатания и, найдя, вероятно, что существовавшие печатные станки не отвечают специальным требованиям астрономии, он изготовил свой собственный станок. Здесь он выпустил в 1472 или в 1473 г. издание книги Пурбаха о планетной теории, вскоре приобретшей популярность и вновь перепечатанной. В этой книге ясно указывается на давно уже замеченное разногласие между взглядами Аристотеля и Птолемея. По воззрениям Аристотеля, Солнце, Луна, пять планет и неподвижные звёзды прикреплены к восьми сферам, лежащим одна внутри другой; самая крайняя—сфера неподвижных звёзд—благодаря своему обращению является первичной причиной суточного движения всех небесных тел. После открытия Гиппархом прецессии (§ 42) со стороны последователей Аристотеля потребовалось допущение новой сферы. По этой схеме, которой мы, вероятно, обязаны некоторым багдадским переводчикам или комментаторам (§ 56), неподвижные звёзды помещались на сфере, часто называемой *твёрдью*, за которой лежала девятая сфера, так называемый *первый двигатель*, приводивший в движение все остальные; для объяснения трепидации (§ 58) Табит бен-Корра ввёл ещё одну сферу, принятую Альфонсом и его школой; одиннадцатая сфера добавлена была в конце средних веков для объяснения предполагаемых изменений в наклонении эклиптики. Некоторые писатели предлагали ещё большее число их. За всеми этими сферами средневековые мыслители обыкновенно помещали эмпирей или небо. Прилагаемая диаграмма (рис. 35) иллюстрирует всю систему.

Эти сферы, бывшие плодом почти ничем не обоснованной фантазии и даже серьёзно не претендовавшие на объяснение деталей планетных движений, разумеется, вполне отличны от кругов, известных под названием эпициклов и деферентов, которыми пользовались Гиппарх и Птоломей. Это были просто геометрические абстракции, позволявшие изображать с некоторой точностью

планетные движения. Каждая планета свободно двигалась в пространстве, причём её движение изображалось (но не управлялось) особенной геометрической комбинацией кругов. Пурбах в виде компромисса предложил выдолбить хрустальные сферы Аристотеля так, чтобы внутри них очистилось место для эпициклов Птолемея.

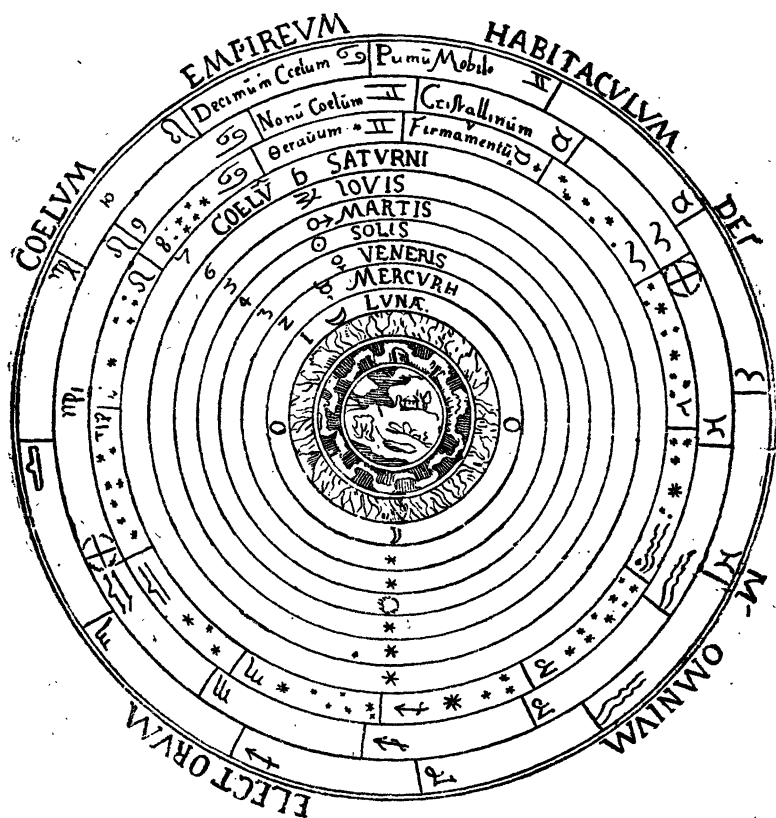


Рис. 35. Небесные сферы. Из *Космографии* Апиана.

Из-под нового юрибергского печатного станка вышел также целый ряд календарей, в которых, как и в нынешних, помещались сведения относительно подвижных праздников, фаз Луны, затмений и т. п., и в добавление к ним вышел том менее популярных *Эфемерид* с более полными и точными астрономическими сведениями лет на 30 вперёд. В них содержались, между прочим, астрономические данные для нахождения долготы и широты на море, для чего Региомонтан изобрёл новый метод¹⁾.

¹⁾ Метод «лунных расстояний».

Превосходство этих таблиц над другими было так велико, что ими пользовались во время нескольких крупных путешествий, сопровождавшихся открытиями, и, вероятно, ими пользовался даже сам Колумб во время первого путешествия в Америку.

В 1475 г. Региомонтан приглашён был папой в Рим для содействия реформе календаря, но безвременно скончался здесь в следующем году, сорока лет от роду.

Вальтер продолжал труды своего друга и произвёл ряд хороших наблюдений; он первый удачно пытался вводить поправки на атмосферную рефракцию, о которой Птоломей, вероятно, имел слабое представление (гл. II, § 46); ему принадлежит метод нахождения положения Солнца через сравнение с положением Венеры вместо Луны, так как более медленное движение планеты даёт возможность достигнуть большей точности.

После смерти Вальтера менее даровитые наблюдатели продолжали его труды, и своего рода астрономическая школа существовала в Нюрнберге до XVII в.

69. К этому же или немного позднему периоду относятся мелкие астрономические открытия, которые мы сейчас перечислим.

Леонардо да Винчи (1452—1519), бывший не только великим живописцем и скульптором, но и анатомом, инженером, механиком, физиком и математиком, первый дал правильное объяснение тусклому сиянию, наблюдаемому на тёмной части лунной поверхности, когда освещённая часть её находится в фазе серпа. Он показал, что когда Луна близка к новолунию, то освещённая Солнцем половина земного шара направлена почти прямо к Луне, благодаря чему Луна освещается *непелльным светом* или *земным сиянием*, подобно тому как Земля освещается лунным. Объяснение это интересно само по себе и представляло ещё некоторую ценность как аналогия между Землёй и Луной, способствовавшая уничтожению предполагаемых преград между небесными и земными телами (гл. VI, § 119).

Джером Фракастор (1483—1543) и *Пётр Апиан* (1495—1552), два плодовитых писателя по астрономии, производили не лишённые интереса наблюдения над кометами; оба они заметили, что хвост кометы при движении её всегда направлен в сторону, противоположную Солнцу,—факт, в наше время проливший свет на структуру комет (гл. XIII, § 304).

Пётр Нониус (1492—1577) заслуживает упоминания как отличный знаток сумерек; он правильно решил некоторые задачи относительно продолжительности сумерек, изменений её в зависимости от широты и т. д., но в других отношениях его многочисленные книги не представляют большого интереса.

Новое измерение величины Земли, первое со времени калифа Аль-Мамуна (§ 57), сделано было около 1528 г. французским докто-

ром *Жаном Фернелем* (1497—1558), получившим результат, погрешность которого оказалась гораздо меньше (менее 1%), чем можно было ожидать при грубых методах, которыми он пользовался.

Жизнь Региомонтана перекрывает первые три года жизни Коперника; четыре последних писателя, поименованных нами, были почти его современниками; мы можем поэтому сказать, что подошли к концу периода сравнительного застоя, описанного в этой главе.

ГЛАВА IV

КОПЕРНИК

«В наш век редкий ум (видя, что с течением времени постоянно обнаруживается всё больше и больше ошибок, помимо бесконечных нелепостей самой теории, которую должны были принять все, не желавшие признавать движения земного шара) путём долгого изучения, упорного труда и редкой изобретательности создал новую теорию или модель вселенной, показав, что Земля не покоится в центре всего мира или шарообразногоместилища элементов, окружающего и заключающего в себе лунную орбиту, но вместе со всем человеческим родом увлекается годичным движением вокруг Солнца».

Томас Диггс, 1590

70. Возрастающий интерес к астрономии, который подтверждается трудами таких людей, как Региомонтан, является одним из ближайших результатов в области науки того крупного движения мысли, различным проявлениям которого даются наименования Возрождения Наук, Ренессанса и Реформации. Движение это вначале можно характеризовать как всеобщее увеличение понимания и интереса к объектам мысли и знания. Изобретение книгопечатания на пороге XV в., стремление к изучению греческих авторов, отчасти принесённое схоластиками, устремившимися на запад, после завоевания турками Константинополя (1453), и открытие Америки Колумбом в 1492 г. способствовали развитию движения, начало которого следует искать в гораздо более раннюю эпоху.

Деятельное разыскивание и изучение греческих философов, помимо Аристотеля, разумеется, сильно пошатнуло верховный авторитет этого великого философа. Вначале, однако, это была ещё не война с принципом, по которому истину легче найти у авторитета, чем путём самостоятельных исканий при свете разума; новые схоластики заменили авторитет Аристотеля авторитетом Платона или греческой и римской древности вообще. Вполне естественно, что конфликт авторитетов в некоторых умах вызы-

вал сомнения в истинности авторитета вообще, а когда необходимость выбора между авторитетами повлекла за собою свободу суждения, то отсюда остался уже один шаг до принятия собственного разума за основу решения спорных вопросов.

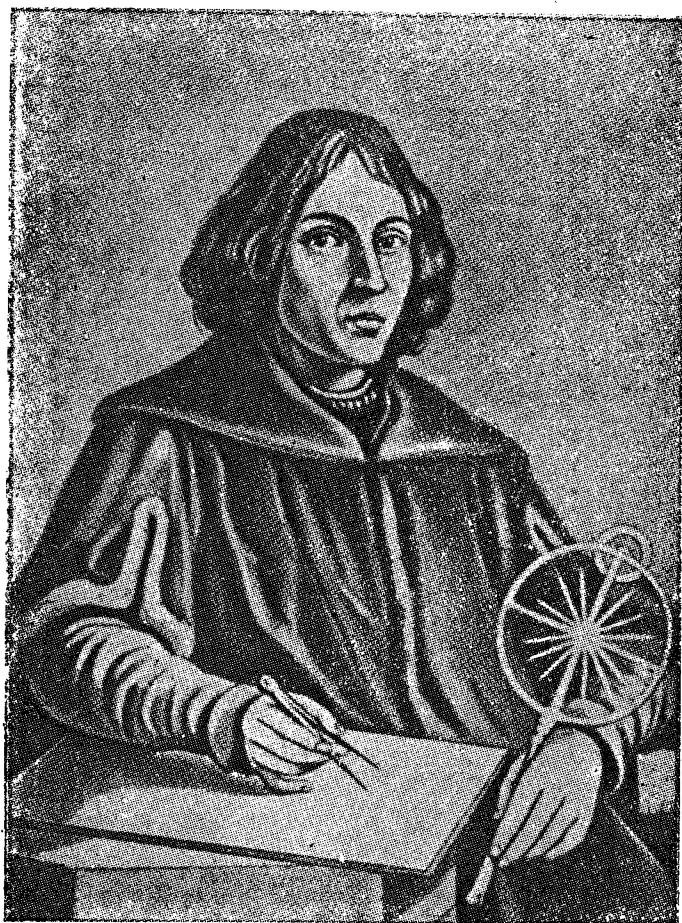
В астрономии борьба авторитетов началась ещё раньше, частью по поводу некоторых разногласий между Птоломеем и Аристотелем, частью по поводу различных астрономических таблиц, хотя и построенных существенно по одному принципу, но различавшихся в частности. Теперь назревало время для фундаментальной критики традиционной астрономии и для перестройки её на новых основаниях.

Такая фундаментальная реформа была задумана и выполнена великим астрономом, трудами которого мы теперь займёмся.

71. *Николай Коперник*, или *Copernicus*¹⁾, родился 19 февраля (старого стиля) 1473 г. в доме, который ещё и донныне показывают в городе Торне на Висле. Во времена Коперника этот город лежал в области, над которой польский король имел нечто вроде сюзеренитета; объём и пределы этого владчества составляли предмет вечных ссор между королём, горожанами и орденом тевтонских рыцарей, объявившим притязания на изрядную долю соседних земель. Отец астронома (имя которого чаще всего писалось *Korpernik*) был купец, приехавший в Торн из Кракова, тогдашней столицы Польши, в 1462 г. Считать ли Коперника поляком или немцем — вопрос трудный, из-за которого его биографы долго и ожесточённо препирались, но для нас этот вопрос не представляет интереса.

После смерти отца, последовавшей в 1483 г., Николай был взят на воспитание своим дядей Лукой Ватцельроде, впоследствии епископом соседней Эрмландской епархии, который ещё смолodu предназначил мальчика к духовной деятельности. Коперник посещал школу в Торне, а в 1491 г. поступил в Краковский университет. Здесь он, повидимому, впервые приобрёл (или обнаружил) решительный интерес к астрономии и математике — предметам, пройденным, вероятно, с помощью Альберта Брудзевского, слывшего учёным и умелым наставником; из расписания лекций Краковского университета видно, что главными руководствами служили современные для того времени трактаты Пурбаха и Региомонтана (гл. III, § 68). Коперник не намерен был добиваться учёной степени в Краковском университете и, по всей вероятности, оставил его через три года (1494). Следующий год или два он жил частью дома, частью во дворце своего дяди в Гейльсберге, причём потратил некоторое время на неудачную кандидатуру на

¹⁾ Это имя писалось на самые различные лады как самим Коперником, так и его современниками. Сам он подписывался *Copernic*, а в учёных произведениях латинской формой *Copernicus*. Иногда, но гораздо реже, он подписывался *Copernicus*.



КОПЕРНИК

место каноника в Фрауенбурге, соборном городе епархии его дяди.

Следующие девять-десять лет он посвятил научным занятиям в Италии (от 1496 г. до 1505 или 1506 г.), откуда он отлучался во Фрауенбург на короткое время только один раз, в 1501 г. Работал он преимущественно в Болонье и в Падуе, но учёную степень получил в Ферраре и некоторое время прожил в Риме, где его астрономические познания, очевидно, произвели благоприятное впечатление. Хотя в Италию он отправился с первоначальной целью изучать право и медицину, но ясно, что большая часть его усилий направлена была на математику и астрономию; немало внимания он уделил и греческому языку.

Во время своего отсутствия он был назначен (около 1497) каноником во Фрауенбург и, кроме того, получил (когда именно, неизвестно) церковную синекуру в Бреславле.

72. Вернувшись из Италии во Фрауенбург, Коперник почти немедленно получил новый отпуск и присоединился в Гейльсберге к своему дяде официально в качестве домашнего врача, но в сущности на правах товарища.

По всей вероятности, в эти спокойные годы, проведённые в Гейльсберге, у него впервые сформировались новые астрономические идеи, и он составил первый набросок своей книги. Он хранил тайне свою рукопись, время от времени просматривая и переписывая её, отчасти из желания довести свой труд до возможной степени совершенства, отчасти вследствие полного равнодушия к славе, смешанного с отвращением к спорам, которые почти неизбежно могло бы вызвать появление его книги. В 1509 г. он издал в Кракове свою первую книгу, латинский перевод собрания греческих писем Феофилакта, интересную в том смысле, что это был, кажется, первый перевод с греческого, когда-либо изданный в Польше или соседних областях. В 1512 г., по смерти своего дяди, он окончательно поселился во Фрауенбурге, в нескольких комнатах, которые занимал с небольшими промежутками в течение почти 31 года. Прочно основавшись, он начал принимать деятельное участие в делах капитула; например, он неоднократно выступал представителем его интересов в тяжбах с королём польским и тевтонскими рыцарями; в 1523 г. он исполнял обязанности главного начальника епархии в течение нескольких месяцев, последовавших за смертью епископа; лет шесть, с перерывом (1516—1519 и 1520—1524), он жил в Алленштейнском замке, управляя отдалёнными имениями капитула. В 1524 г. ему поручили составить жалобу на тевтонских рыцарей для представления прусскому правительству, а в следующем году он написал доклад о беспорядочном и запущенном состоянии областного монетного двора, — доклад, также представленный правительству и впоследствии переписанный на латинском языке по особому требованию епископа. Кроме того, он нередко помогал врачевными советами

своим друзьям и беднякам города Фрауенбурга, хотя никогда не занимался правильной медицинской практикой; но, несмотря на такую многосторонность занятий, большую часть своего времени в течение последних 30 лет жизни он посвятил астрономии.

73. Мы так привыкли ассоциировать возрождение астрономии, как и всякой другой отрасли естествознания, с возрастающей тщательностью собирания наблюдаемых фактов и считать Коперника главным деятелем Возрождения, что здесь вполне уместно будет подчеркнуть, что он вовсе не был великим наблюдателем. Его инструменты, большей частью сооружённые им самим, были гораздо хуже инструментов Нассир-Эддина и Улуг-Бега (гл. III, § 62, 63) и даже не равнялись по качеству тем, какие он мог бы выписать, если бы пожелал, от нюрнбергских мастеров; наблюдения его были совсем не многочисленны (в его книге упоминается 27, а о десятке-двух мы знаем ещё из других источников), и он, кажется, вовсе не стремился к достижению особенной точности. Определённые им положения звёзд, служившие ему главной основой для справок и потому представлявшие особенную важность, допускали ошибку до 40' (больше кажущегося диаметра Солнца или Луны),—ошибку, которую Гиппарх признал бы весьма серьёзной. Ученик его Ретикус (§ 74) передаёт интересную беседу между ним и его учителем, в которой ученик настаивал на возможно большей точности наблюдений; Коперник ответил, что скрупулезная точность пока ему не нужна и что с него достаточно будет на первое время приблизительного совпадения теории с наблюдением. В нескольких местах Коперник, кроме того, указывает, что высокая географическая широта и густота атмосферы Фрауенбурга настолько препятствуют хорошим наблюдениям, что он, например, хотя и видел временами планету Меркурий, ни разу, однако, не имел возможности сделать над нею сносное наблюдение.

Хотя он не издал ничего важного до конца своей жизни, тем не менее репутация его как астронома и математика среди знающих лиц установилась, повидимому, со времени отъезда его из Италии, а дальше непрерывно укреплялась.

В 1515 г. комиссия, назначенная Латеранским Советом, пригласила его к участию в реформе календаря, к тому времени обнаружившего недостатки (гл. II, § 22), но он отказался высказаться по этому вопросу, сославшись на то, что движения Луны и Солнца были ещё слишком мало изучены для того, чтобы можно было произвести удовлетворительную реформу. Спустя несколько лет (1524), он написал открытое письмо, предназначенное для обнародования, одному из своих краковских друзей в ответ на трактат о прецессии; в этом письме по обычаю того времени он в сильных выражениях критиковал ошибки своего противника¹⁾.

¹⁾ «*Nulla demum loco ineptior est quam... ubi nimis pueriliter hallucinatur*»—Нигде он не кажется глупее, чем... где он страдает от заблуждений чересчур ребяческих.

Между тем мало-помалу распространялись слухи о том, что он придерживается новой доктрины, по которой Земля движется, а Солнце и звёзды пребывают в покое,—доктрины, достаточно опасной для того, чтобы обратить на себя внимание и вне астрономических кругов. Около 1531 г. Коперник имел удовольствие быть публично осмеянным на подмостках, во время представления популярной пьесы, разыгранной в соседстве его местообитания; любопытно отметить (особенно в связи со знаменитым осуждением Галилея в Риме, случившимся столетием позже), что Лютер в своей *Застольной беседе*, не стеснясь, изображает Коперника глупцом за то, что он придерживается мнений, явно противоречащих библии; Меланхтон, едва ли не образованнейший из реформаторов, к аналогичному в общих чертах отзыву присовокупил прозрачный намёк на то, что подобные мнения не должны быть терпимы. Коперник, повидимому, не обращал внимания на такие нападки и попрежнему ничего не печатал. Ни об одном наблюдении, произведённом позже 1529 г., не упоминается в его книге, к этому времени почти совершенно законченной. К той же эпохе относится чрезвычайно интересная записка под заглавием *Commentariolus*, содержащая в себе краткий очерк его системы мира, с некоторыми доказательствами в пользу её, но без вычислений. Эта работа написана была, очевидно, для друзей и не была напечатана; рукопись затерялась после смерти автора и снова была найдена лишь в 1878 г. *Commentariolus* послужил, вероятно, основанием для лекции об идеях Коперника, прочитанной одним из римских астрономов по просьбе папы Климента VII. Три года спустя кардинал Шомберг в письме просил у Коперника дальнейших разъяснений относительно его воззрений, из чего видно, что главные черты его учения были уже отлично знакомы кардиналу.

74. Такие просьбы, надо думать, Коперник получал и от других лиц, но окончательное решение обнародовать свои взгляды созрело в нем, по всей вероятности, по прибытии во Фрауенбург в 1539 г. пылкого молодого астронома, известного под именем *Ретикуса*¹⁾. Родившись в 1514 г., Ретикус изучал астрономию у Шюнера в Нюрнберге и назначен был в 1536 г. на одну из кафедр математики, учреждённых стараниями Меланхтона в Виттенберге, в то время главном университетском центре протестантов.

Узнав, вероятно, через *Commentariolus*, о Копернике и его доктринах, Ретикус так заинтересовался ими, что решил навестить великого астронома во Фрауенбурге. Коперник принял его необычайно приветливо, и визит, первоначально рассчитанный на несколько дней или недель, затянулся на два года. Ретикус при-

¹⁾ Настоящее его имя было Георг Иоахим, а прозвище своё он сам образовал от латинского названия области, в которой он родился (Ретия, *Rhaetia*).

нялся за изучение рукописи Коперника, и через несколько недель после своего прибытия написал весьма интересный и ценный очерк её содержания, названный *Первым Рассказом* (*Prima Narratio*), в форме открытого письма к своему старому наставнику Шонеру, — письма, напечатанного следующей весной и открывшего лёгкий доступ к новому учению¹⁾.

Возвращаясь в Виттенберг в конце 1541 г., Ретикус уёз с собой копию чисто математического раздела великой книги и напечатал её в качестве руководства (по тригонометрии); вероятно, уже было решено, чтобы он наблюдал за печатанием всей книги. Коперник, будучи уже немолодым и естественно чувствовавший приближение смерти, отослал рукопись своему другу Гизе, епископу Кульмскому, в полное его распоряжение. Гизе сейчас же отправил её к Ретикусу, который сделал распоряжения для напечатания её в Нюрнберге. К сожалению, Ретикус не мог сам наблюдать за печатанием и поручил дело Осиандеру, лютеранскому проповеднику, интересовавшемуся астрономией. Этот последний, повидимому, весьма тревожился мыслью о смятении, которое могло быть вызвано еретическими идеями Коперника, и добавил от себя предисловие (выкинув предисловие автора), под каковым, однако, счёл излишним подписаться и в котором хвалил книгу на вульгарный лад и оговаривался (совершенно против желания автора), что принципы, положенные в основу, суть только абстрактные гипотезы, придуманные для удобств вычисления; он же дал книге её название *De Revolutionibus Orbium Caelestium* (Об обращении небесных кругов), причём последние два слова являются, по всей вероятности, продуктом его собственной изобретательности. Печатание было окончено зимой 1542—1543 г., и автор получил экземпляр книги в день своей смерти 24 мая (старого стиля) 1543 г., когда его память и умственные силы уже угасли.

75. Центральная идея, связанная с именем Коперника, благодаря которой *De Revolutionibus* является одной из важнейших книг в астрономической литературе, рядом с которой можно поставить разве лишь *Альмагест* и ньютоновы *Principia* (гл. IX, § 177 и след.), заключается в том, что, по мнению Коперника, видимые движения небесных тел в огромной степени суть не истинные движения, но отражённые движения наблюдателя, уносимого Землёй. Коперник сообщает, что его давно поражала неудовлетворительность общепринятых объяснений астрономических движений и что, отыскивая в философских сочинениях лучшего объяснения, он наткнулся на сообщение Цицерона о мнении Гигетаса, по которому Земля вращается суточным движением вокруг своей оси. Подобные же взгляды он нашёл и у других пи-

¹⁾ *Commentariolus* и *Prima Narratio* дали бы многим читателям лучшее представление о том, что сделал Коперник, чем его большая книга, в которой лишь с некоторым трудом можно отделить руководящие мысли от массы вычислений, на них основанных.

фагорейцев, а Филолай утверждал, что Земля движется вокруг центрального огня. Мнение, что Земля не единственный центр движения, но что Венера и Меркурий обращаются вокруг Солнца, оказалось древним египетским верованием, которого придерживался и *Марциан Капелла*, написавший компендиум науки и философии в V в. после н. э. Более современный авторитет, *Николай Кузанский* (1401—1464), склонявшийся к мысли о движении Земли, был Коперником не замечен или оставлен без внимания. Ни один из названных писателей не высказал упомянутых мнений в форме, которая своей определённой возвышалась бы над смутным умозрением; ни один из них не привёл существенных соображений, а тем паче доказательств в защиту своих взглядов; и хотя Коперник, сообразно с обычаями того времени, мог только радоваться поддержке со стороны признанных авторитетов, однако, на деле ему пришлось заново обработать доводы в пользу своего мнения. Достоин внимания, что Коперник обходит молчанием Аристарха Самосского, взгляды которого на движение Земли (гл. II, § 24) носили вполне определённый характер. Возможно, что нежелание Коперника ссылаться на авторитет Аристарха объясняется тем, что последний за свои научные убеждения был обвинён в безбожии.

Некоторые утверждали, что Коперник доказал то, что предшествующие писатели угадывали и предполагали; вернее будет сказать, что он подхватил на лету некоторые идеи, крайне неясные и никогда не подвергавшиеся научной переработке, утвердил на них некоторые определённые основные принципы, из этих принципов развил математическую и астрономическую систему и показал, что ею можно по меньшей мере с таким же успехом объяснить наблюдаемые небесные движения, как и любой разновидностью традиционной птоломеевой системы. Коперникова система в том виде, в каком она вышла из рук своего творца, решительно превосходила своих соперниц в объяснении обыденных наблюдений, каковым преимуществом она обязана столько же математическому искусству, с которым она была развита, сколько и своим основным принципам; во многих отношениях она была гораздо проще; ей удалось избежать некоторых фундаментальных трудностей старой системы. Ей, однако, можно было противопоставить несколько серьёзных возражений, устранённых только новыми доказательствами, выявившимися лишь впоследствии. Для предшественников Коперника существовала лишь одна научная система, пытавшаяся серьёзно объяснить известные факты; но его ближайшим преемникам пришлось иметь дело с двумя системами, из которых новейшая могла казаться беспристрастному уму более приемлемой, чем другая, и дальнейшее изучение обеих систем, с целью открытия новых аргументов либо наблюдений в защиту той или иной из них, представлялось делом первостепенной и неотложной необходимости.

76. План *De Revolutionibus* в общих чертах сходен с планом *Альмагеста*. По форме книга вовсе не является аргументом в пользу движения Земли, и можно прочесть значительную часть её, не заметив присутствия новой доктрины.

Коперник, подобно Птолемею, начинает с некоторых первоначальных принципов или постулатов, но по причине их новизны прилагает больше стараний, нежели его предшественник (гл. II, § 47), к тому, чтобы придать им необходимую степень вероятности. Утвердившись на этих постулатах как на основании, он начинает развивать путём тщательно разработанных и весьма утомительных математических рассуждений, местами подкреплённых ссылками на наблюдения, подробные схемы разнообразных небесных движений; различные постулаты в действительности больше подтверждаются согласием этих вычислений с наблюдениями, чем рассуждениями общего характера, приведёнными вначале.

Первый его постулат, о шарообразности вселенной, подкрепляется неясными и нерешительными доводами, подобными доказательствам Птолемея и других; для доказательства шарообразности Земли он пользуется общепринятыми аргументами; между прочим, кривизну Земли по направлению от востока к западу он доказывает тем обстоятельством, что затмения, наблюдаемые в одном месте, невидимы в другом. Третий постулат о том, что движения небесных тел равномерны и кругообразны или состояются из таких движений, доказывается, как можно ожидать, аргументами крайне неудовлетворительного свойства. Он доказывает, например, что неравномерность движения

«должна возникать или от неправильностей движущей силы, заключается ли она внутри тела, или вне его, или от какой-нибудь неправильности обращающегося тела... От обоих предположений ум отвращается с ужасом, считая недостойным притрагиваться подобного взгляда относительно тел, устроенных самым совершенным образом».

77. Далее следует обсуждение возможности движения со стороны Земли, и даже не одного, а нескольких; дискуссия по этому вопросу проведена несколько более убедительно, хотя она ни в какой мере не может считаться окончательной. Коперник твёрдо держится принципа, провозглашённого и Аристотелем, именно принципа относительного движения, который он формулирует следующим образом:

«ибо всякая видимая перемена положения происходит или от перемещения наблюдателя, или от перемещения наблюдаемого предмета, или от перемещения обоих, лишь бы эти перемещения отличались одно от другого; ибо когда предметы перемещаются одинаково относительно одних и тех же вещей, то между наблюдаемым предметом и наблюдателем движения не замечается».

Коперник не доказывает этого принципа, считая его, надо думать, слишком очевидным для математиков и астрономов, для которых предназначалась книга. Он, однако, настолько важен, что мы считаем уместным познакомиться с ним поподробнее.

Пусть, например, наблюдатель находится в A (рис. 36), а предмет в B ; тогда, будет ли предмет двигаться из B в B' , при полном покое наблюдателя или наблюдатель пройдёт *равное* расстояние в *противоположном* направлении, из A в A' , при условии неподвижности предмета, — результат для глаза будет одинаковый, так как в обоих случаях расстояние между наблюдателем и предметом и направление, в котором он видит предмет (в первом случае AB' , во втором $A'B$), будет одно и то же.

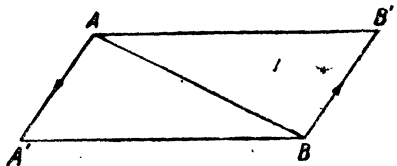


Рис. 36. Относительное движение.

Таким образом, *Солнце* ли в течение года постепенно занимает положения A, B, C, D (рис. 37), причём Земля покоится неподвижно в E , или Солнце остаётся неподвижным в точке S , а *Земля* последовательно занимает положение a, b, c, d в соответствующие времена, — эффект для глаза получается один

и тот же, лишь бы прямые aS, bS, cS, dS были, как на рисунке, равны и параллельны EA, EB, EC, ED . Так как это справедливо и для промежуточных точек, то всё равно, будет ли Солнце описывать круг $ABCD$ или же Земля равный круг $abcd$ с такой же скоростью. Далее, хотя соответствующие движения совершаются в противоположных направлениях (на рис. 37 в точке A вверх, а в точке a вниз и т. п.), однако, каждый круг в конце концов описывается, как показывают стрелки, в одном и том же направлении (на рисунке оно противоположно движению часовых стрелок). Из этого легко заключить, что видимое движение (например, планет) можно объяснить отчасти движением объекта, отчасти движением наблюдателя.

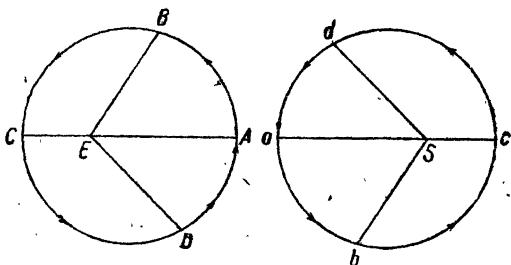


Рис. 37. Относительные движения Солнца и Земли.

Далее, хотя соответствующие движения совершаются в противоположных направлениях (на рис. 37 в точке A вверх, а в точке a вниз и т. п.), однако, каждый круг в конце концов описывается, как показывают стрелки, в одном и том же направлении (на рисунке оно противоположно движению часовых стрелок). Из этого легко заключить, что видимое движение (например, планет) можно объяснить отчасти движением объекта, отчасти движением наблюдателя.

Коперник приводит популярный пример пассажира на лодке, от которого кажущимся образом уходят берега, цитируя и объясняя стих из *Виргилия*:

«*Provehimur portu, terraeque urbesque recedunt*»¹⁾.

78. Труднее приложить эти принципы к кажущемуся вращению около наблюдателя, как например, видимое суточное движение небесной сферы. Мы должны помнить, что глаз не имеет

¹⁾ «Мы удаляемся из гавани, и земли и города отступают назад».

возможности судить о направлении одинокого предмета; он в состоянии только замечать разницу между направлением объекта и каким-нибудь другим направлением, будет ли то направление другого объекта или направление, каким-либо образом связанное с положением тела наблюдателя. Так, если мы, взглянув на звезду в два момента, разделённые некоторым промежутком времени, решаем, что она передвинулась, то это значит, что изменилось её направление относительно, скажем, дерева или дома, в направлении которых мы её видели первоначально, относительно направления, в котором смотрит наш глаз, или же, наконец, относительно направления нашего тела. Очевидно, такую переменную можно объяснить переменой направления или звезды, или линии, соединяющей наш глаз с деревом, нашей, так сказать, поверочной линии. Применяя это рассуждение к небесной сфере, предположим, что S (рис. 38) обозначает звезду на ней, находящуюся (ради простоты) над головой наблюдателя, помещённого на Земле в точке A , что определяется сравнением с перпендикуляром AB , восставленным к горизонту.

Положим, далее, что центры Земли и небесной сферы совпадают, и пусть сперва небесная сфера вращается (в направлении часовой стрелки) до тех пор, пока S не придёт в S' так, чтобы наблюдатель увидел звезду на своём горизонте, т. е. под прямым углом к первоначальному направлению AB , для чего небесная сфера должна повернуться на угол SOS' ; или пусть небесная сфера останется в покое, а Земля вращается в противоположном направлении, пока AB не займёт положения $A'B'$, и наблюдатель снова увидит звезду на своём

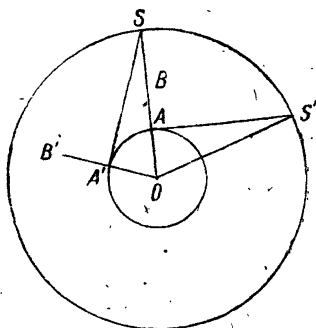


Рис. 38. Суточное вращение Земли.

горизонте. Какое бы из этих двух движений ни происходило на самом деле, наблюдатель созерцает одно и то же движение на небесном своде. Из рисунка можно сразу убедиться в том, что угол SOS' , на который вначале повернулась, согласно нашему допущению, небесная сфера, равен углу AOA' , на который во втором случае повернулась Земля, но что эти два вращения совершились в противоположных направлениях. Такое же объяснение, очевидно, приложимо и к более сложным случаям.

Из всего этого следует, что суточное вращение небесной сферы с востока на запад вокруг оси, проходящей через полюсы, можно объяснить или действительным её вращением такого рода, или вращением Земли вокруг оси, проходящей через те же полюсы, с такой же скоростью, но в противоположном направлении, т. е. с запада на восток. Это—первое из движений, приписываемых Коперником Земле.

79. Кажущееся годичное движение Солнца, обращающегося около Земли по орбите, близкой к кругу, можно прекрасно объяснить предположением, что Солнце находится в покое, а Земля описывает вокруг него точно такую же орбиту, причём направление движения остаётся прежним. Это—второе движение, приписываемое Коперником Земле, хотя, по особенностям своего геометрического метода, он разлагает его на два движения, с одним из коих комбинирует новое небольшое движение, объясняющее прецессию ¹⁾).

80. Итак, по концепции Коперника Земля обращается вокруг Солнца в плоскости эклиптики, поворачиваясь раз в сутки вокруг оси, которая постоянно указывает на полюсы небесной сферы и потому сохраняет (если не считать прецессии) строго определённое положение в пространстве.

Следует, однако, заметить, что эти два движения, приписываемые Земле, по своему характеру совершенно самостоятельны; каждое требует особых доказательств и объясняет особый ряд явлений. Было вполне возможно с одинаковым правом верить в одно движение, не признавая другого, как и делали некоторые из астрономов XVI в. (гл. V, § 105).

Приводя доводы в пользу движения Земли, Коперник разбирает некоторые возражения, выставленные Птоломеем. На возражение, что если бы Земля обладала быстрым движением, то она подвергалась бы риску разлететься в куски, и воздух, как и все свободные предметы на поверхности, оставался бы позади, он отвечает, что если бы такое движение и представляло опасность твёрдой Земле, то оно было бы ещё опаснее для небесной сферы, которая по причине неизмеримо более громадных размеров должна двигаться несравненно быстрее Земли при суточном обращении; он пускается также в довольно тёмные рассуждения насчёт различия между «естественным» и «искусственным» движением, из коих первому приписывается способность не нарушать ничего, находящегося на Земле.

Коперник показывает, что Земля крайне мала по сравнению со сферой неподвижных звёзд, так как, где бы наблюдатель ни находился, горизонт повсюду видимым образом разделяет небесную сферу на две равные части, и наблюдателю кажется, что он помещается в центре сферы, так что все расстояния, отмеряемые на земном шаре, ничтожны в сравнении с расстоянием звёзд.

¹⁾ Копернику и многим его современникам, так же как и грекам, простейшей формой обращения одного тела вокруг другого представлялось такое движение, в котором обращающееся тело перемещалось бы так, как если бы оно было прикреплено к центральному телу. Так, во втором движении ось Земли предполагалась всё время одинаково наклонённой к линии, соединяющей Землю с Солнцем, и потому меняющей своё направление в пространстве. Чтобы ось сохраняла своё направление в пространстве, оказалось необходимым прибавить третье движение.

81. Далее Коперник доказывает, что главная неправильность в движении планет, благодаря которой они движутся попятно через определённые промежутки времени (гл. I, § 14 и гл. II, § 51), легко объясняется движением Земли и каждой планеты вокруг Солнца на определённом расстоянии от него и с определённым периодом. Из того, что Меркурий и Венера никогда не наблюдаются на большом расстоянии от Солнца, можно заключить, что

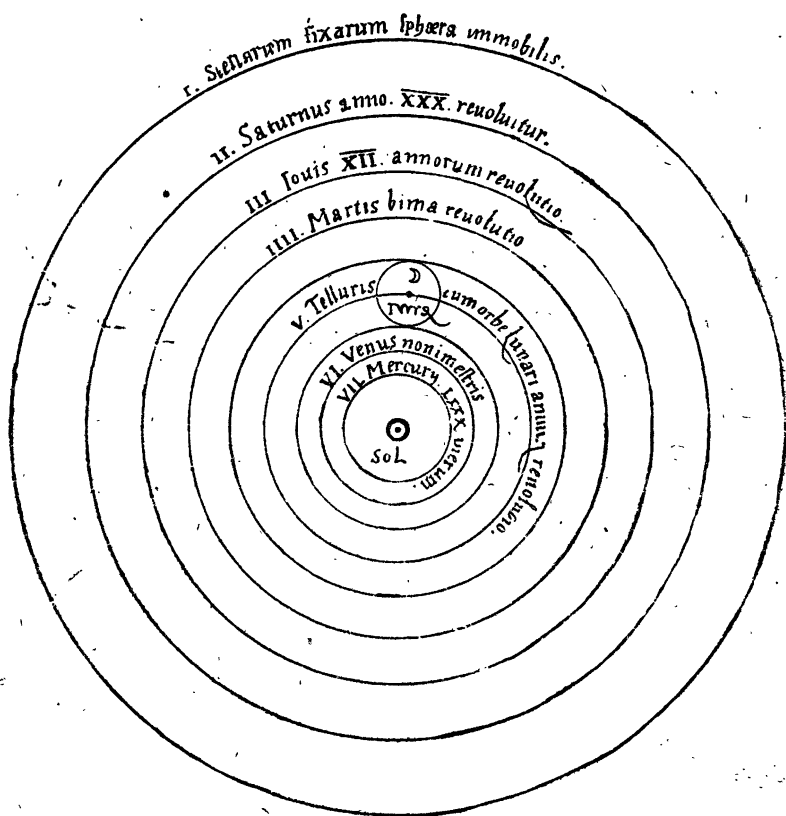


Рис. 39. Солнечная система по Копернику. Из *De Revolutionibus*.

орбиты их ближе к Солнцу, чем земная, причём Меркурий находится в наименьшем от Солнца расстоянии, так как никогда не бывает виден в небе так далеко от Солнца, как Венера. Остальные три планеты, иногда наблюдаемые даже в противостоянии с Солнцем, необходимо должны обращаться вокруг него по орбитам, превосходящим размерами земную орбиту, что доказывается наибольшей яркостью их во время противостояний (когда они ближе всего к Земле). Порядок их относительных расстояний от Солнца легко определить на основании неправильностей, производимых

в их кажущемся движении движением Земли: Сатурн меньше всего страдает от них и потому он дальше всех от Земли, за ним следует Юпитер, а затем Марс. Таким образом, *Земля стала одной из шести планет*, обращающихся вокруг Солнца в таком порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн,—в порядке, согласующемся и со скоростями их движения вокруг Солнца. Меркурий совершает своё обращение быстрее всех (около 88 дней)¹⁾, а Сатурн—медленнее всего (около 30 лет). По коперниковой системе только одна Луна обращается вокруг Земли—единственное небесное тело, положение которого не было изменено Коперником существенным образом. Итак, Коперник получил возможность составить схему солнечной системы (рис. 37), изображающую общий вид её строения (хотя и не в надлежащих пропорциях отдельных её частей) и различных движений.

82. Далее он подробно рассматривает влияние годичного перемещения Земли на продолжительность дня и на времена года, иллюстрируя свои рассуждения диаграммами, одну из которых

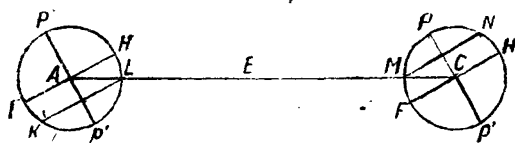


Рис. 40. Коперниково объяснение времён года.
Из *De Revolutionibus*.

мы здесь воспроизводим (в несколько видоизменённом виде).

На рис. 40 А и С отмечают центры Земли в двух различных положениях, занимаемых ею около 22 декабря и 22 июня (т. е. в начале

зимы и лета по астрономическому счислению). АЕС представляет собой пересечение плоскости земной орбиты (или плоскости эклиптики) с плоскостью чертежа, ей перпендикулярной. FN обозначает земной экватор, плоскость которого перпендикулярна к земной оси и потому всегда параллельна небесному экватору. Круг этот не совпадает с плоскостью эклиптики, но наклонён к ней под углом в $23\frac{1}{2}^\circ$, так что F всегда нужно представлять себе под, а N—над плоскостью эклиптики. Когда Земля находится в А, то северный полюс Р отклонён от Солнца Е, и потому обитатели северного полушария созерцают Солнце менее полусуток, тогда как жители южного полушария наслаждаются солнечным светом более половины суток, а вблизи южного полюса Р' Солнце стоит над горизонтом по целым суткам. Три месяца спустя (20 марта) Солнце лежит в плоскости земного экватора, земные полюсы не направлены ни к Солнцу, ни от него, но в сторону, и по всей Земле день и ночь одинаково делятся по 12 часов. Ещё через три месяца, когда центр Земли находится в С, Солнце

¹⁾ В этом предварительном рассуждении Коперник даёт 80 дней; но в более подробном изложении в кн. V он исправляет это число на 88 дней.

лежит выше плоскости экватора, и жители северного полушария видят Солнце над своим горизонтом более полусуток, а в южном — менее полусуток, вблизи же северного полюса Солнце наблюдается все 24 часа подряд. Наконец, еще через три месяца, во время осеннего равноденствия (23 сентября), Солнце снова находится в плоскости земного экватора, и на всей Земле день равен ночи.

83. Первые одиннадцать глав первой книги Коперник посвящает предварительному наброску своей системы; остальная часть этой книги заключает в себе некоторые математические предложения и таблицы, напечатанные, как уже было упомянуто (§ 74), Ретикусом в виде отдельного издания. Во второй книге излагаются, главным образом, некоторые общеизвестные результаты, относящиеся к небесной сфере и её кажущемуся суточному движению; трактуются они так же, как и у прежних писателей, но с большим математическим мастерством. Между прочим, Коперник приводит своё измерение наклона эклиптики и из сравнения с древними наблюдениями заключает, что наклонение её уменьшилось, как оно и было на самом деле, хотя и в гораздо меньшей степени, чем показывали его несовершенные наблюдения. Книга заканчивается звёздным каталогом; это в сущности каталог Птолемея, местами исправленный по новым наблюдениям и освобождённый от влияния прецессии ¹⁾. Когда в греческих и латинских версиях *Альмагеста* встречались, по невежеству переписчиков или наборщиков, различные данные, то Коперник принимал то одну, то другую версию, не пытаясь проверить на новых наблюдениях, которая из них правильнее.

84. Третья книга начинается тщательным рассмотрением вопроса о предварении равноденствий (гл. II, § 42). Из сравнения результатов, полученных Тимохарисом, позднейшими греческими астрономами и Альбатием, Коперник заключает, что величина прецессии изменчива, но что в среднем она равна $50''$, 2 в год (почти совсем точная величина), и в соответствии с этим принимает неудачную выдумку Табита бен-Корра — трепидацию (гл. III, § 58). Исследование данных, которыми располагал Коперник, показывает, что причиной этой повторной ошибки следует считать ошибочные или подложные наблюдения Птолемея (гл. II, § 50).

Гораздо больше интереса, нежели подробное рассмотрение трепидации и геометрических схем, изображающих её, представляет для нас объяснение прецессии как результата движения земной оси. Гиппарх считал прецессию следствием перемещения небесного экватора, причём наклонение его к эклиптике, по его

¹⁾ Вместо того, чтобы отсчитывать долготы от точки весеннего равноденствия, перемещающейся благодаря прецессии, Коперник отсчитывал их от неподвижной звезды (α Arietis), находящейся поблизости от этой точки.

мнению, оставалось приблизительно постоянным. По мысли Коперника небесный экватор поставлен был в зависимость от земного экватора, а, следовательно, и от земной оси; действительно, экватор есть большой круг небесной сферы, всегда перпендикулярный к оси, на которой вращается Земля. Следовательно, прецессия по теории Коперника возникает от медленного движения земной оси, наклонённой к плоскости эклиптики под одним и тем же углом и возвращающейся в первоначальное своё положение через период около 26 000 лет (так как годовое перемещение на $50''{,}2$ равносильно перемещению на 360° , или полную окружность за 26 000 лет); другими словами, земная ось обладает медленным коническим движением, причём ось конуса составляет прямой угол с плоскостью эклиптики.

85. Рассмотрев прецессию, Коперник посвящает остальную часть третьей книги подробному рассмотрению кажущегося годового движения Солнца вокруг Земли, соответствующего истинному годовичному движению Земли вокруг Солнца. Геометрическая теория *Альмагеста* могла быть немедленно приложена к новой системе, и Коперник, подобно Птолемею, пользуется эксцентриком. Он производит все вычисления заново, получает новую и более точную величину эксцентриситета земной орбиты (около $\frac{1}{31}$ вместо $\frac{1}{24}$), определяет положение апогея и перигея (гл. II, § 39) или, правильнее, *афелия* и *перигелия* (т. е. тех точек земной орбиты, в которых она бывает дальше и ближе всего к Солнцу) и, таким образом, подтверждает открытое Альбатением (гл. II, § 59) перемещение линии апсид. Далее он разрабатывает теорию движения Земли и даёт таблицы, по которым можно легко определить видимое положение Солнца для любого данного момента.

В четвёртой книге трактуется теория движения Луны. Как мы уже заметили, Луна была единственным небесным телом, положение которого во вселенной Коперник не нарушил существенным образом; на этом основании можно было бы ожидать, что традиционная теория движения Луны потребует лишь незначительных изменений. В действительности, однако, едва ли есть другая область, в которой Коперник больше сделал бы для уменьшения разногласия между теорией и наблюдениями. Он отверг птолемеев эквант (гл. II, § 51) частью потому, что эквант производит неправильные движения, «неподобающие» небесным телам, частью же на основании более существенного соображения, на которое мы уже указывали (гл. II, § 48) и которое заключается в том, что по теории Птолемея Луна должна иметь в некоторые периоды вдвое большие видимые размеры, чем в другие. При помощи эпициклов Копернику удалось объяснить главные неправильности лунного движения, включая эвекцию, но без птолемеевского проснезавса (гл. II, § 48), или неравенства Абул-Вафы (гл. III, § 60); между прочим, он установил изменения в расстоянии Луны,

а, следовательно, и в её видимых размерах, немногим превосходящие истину; при тех грубых методах, какими он располагал, разница неощутима¹⁾).

86. Последние две книги (V и VI) целиком трактуют о движении планет.

Для Меркурия и Венеры птоломеево объяснение можно без особого труда приспособить к идеям Коперника. Мы уже видели (гл. II, § 54), что если пренебречь мелкими неправильностями, то движение каждой из этих планет можно изобразить с помощью эпицикла, движущегося по деференту, причём центр эпицикла всегда лежит в направлении Солнца, а отношение размеров эпицикла к деференту есть величина вполне определённая, между тем как действительные размеры их совершенно произвольны. Птоломей вообще предпочитал помещать эпициклы обеих планет между Землёй и Солнцем. Допустив мысль о Солнце как о центре движения, было вполне естественно упростить систему и поместить центр эпицикла не в направлении Солнца, но в центре самого Солнца. В самом деле, если бы данная планета обращалась вокруг Солнца и с надлежащей скоростью, то видимые результаты получились бы точно такие же, как и при птоломеевых эпицикле и деференте, так как орбита планеты вокруг Солнца заступила бы место эпицикла, а кажущаяся орбита Солнца вокруг Земли (или орбита Земли вокруг Солнца) заменила бы деферент.

В вопросе о времени обращения планет нужно различать, как и для Луны (гл. II, § 40), синодический и сидерический периоды обращения. Венера, например, наблюдается в качестве вечерней звезды в наибольшем угловом расстоянии от Солнца (как в V на рис. 41) через промежутки, приблизительно равные 584 дням. Значит, это — время, в течение которого Венера возвращается в первоначальное положение относительно Солнца, если наблю-

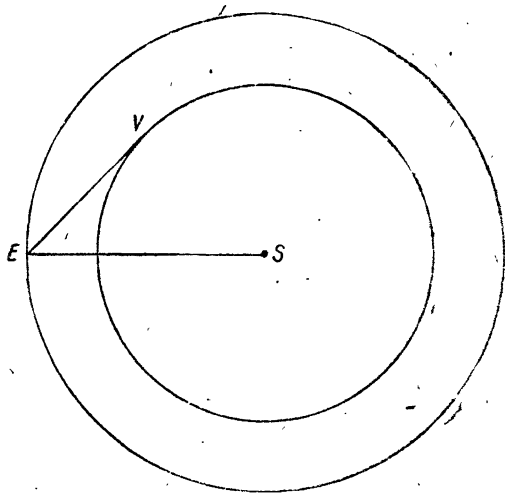


Рис. 41. Орбиты Венеры и Земли.

¹⁾ По теории Коперника диаметр Луны в максимуме превосходит на $\frac{1}{8}$ среднюю свою величину; современные наблюдения дают $\frac{1}{13}$. Другими словами, диаметр Луны в максимуме превышает минимум, по Копернику, на $8'$, по современным же наблюдениям — на $5'$.

дать с Земли, или относительно Земли, если смотреть с Солнца; этот промежуток называется *синодическим периодом*. Но так как за это время линия ES переменила своё направление, то Венера не занимает прежнего положения относительно звёзд, будем ли мы наблюдать от Солнца, или с Земли—безразлично. Если Венера и Земля находятся первоначально (рис. 42) в V_1 , E_1 , то спустя 584 дня (около года и семи месяцев) Земля совершит более полутора обращений вокруг Солнца и будет находиться в E_2 ; Венера, снова находясь в наибольшем угловом расстоянии от Солнца, займёт положение V_2 , но, очевидно, будет наблюдаема совершенно в другой части неба и не совершит точного оборота вокруг Солнца. Необходи-

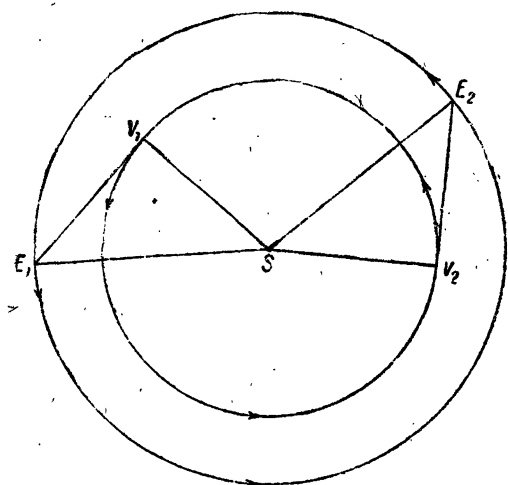


Рис. 42. Синодический и сидерический периоды Венеры.

можно знать, сколько времени требуется линии SV_1 на возвращение к первоначальному положению, т. е. в течение какого времени Венера возвращается в первоначальное положение относительно звёзд, если смотреть с Солнца; этот промежуток времени известен под названием *сидерического периода*. Очевидно, его легко вычислить из имеющихся данных с помощью простого расчёта. Так как Венера в 584 дня опередила Землю на целый оборот или прошла столько, сколько Земля проходит в

¹⁾ Здесь само собой напрашивается такое соотношение: если радиус-вектор Венеры за период в 584 дня в угловом перемещении подвинулся на столько же, насколько радиус-вектор Земли подвинулся за 949 дней, то, значит, и время полного оборота Венеры вокруг Солнца во столько раз меньше 584, во сколько раз время полного оборота Земли (365 дней) меньше 949. Отсюда время обращения Венеры равно $\frac{584 \times 365}{949} = 225$.

благодаря чему уменьшились бы погрешности, проистекающие от мелких неправильностей; он взял два наблюдения над Венерой, разделённые значительным промежутком времени, приблизительно в одинаковых положениях относительно как звёзд, так и Солнца; промежуток этот содержал почти круглое число как сидерических, так и синодических периодов. Разделив наблюдаемый промежуток времени на число сидерических оборотов (число которых, как выраженное круглой цифрой, легко было определить), он получил величину сидерического периода. Аналогичная процедура показала, что синодический период Меркурия равен 116 суткам, а сидерический—88 суткам.

Величину орбит Венеры и Меркурия сравнительно с земной можно было легко определить из наблюдений положения каждой планеты в момент наибольшего удаления её от Солнца. Венера, например, в момент наибольшего удаления своего от Солнца находится в точке V_1 (рис. 42), так что V_1E_1S касается круга, по которому движется Венера, а угол E_1V_1S (в силу известного свойства круга) равен прямому. Так как угол SE_1V_1 определяется из наблюдения, то нам известны все углы треугольника SE_1V_1 , откуда легко вычислить отношение его сторон. Таким путём Коперник нашёл, что среднее расстояние Венеры от Солнца равно 72, а Меркурия 36, если принять расстояние Земли за 100; современные наблюдения дают цифры 72,3 и 38,7.

87. Что касается верхних планет—Марса, Юпитера и Сатурна, то в этом случае было несколько труднее предположить, что они обращаются вокруг Солнца, так как центры их эпициклов не лежат в направлении Солнца, а могут находиться в любом месте эллиптики. В движении верхних планет есть, однако, одна особенность, сразу наводящая на мысль об обращении их вокруг Солнца; должно быть, Птоломей её проглядел или не придал ей большого значения. Возможно, что это была одна из путеводных нитей, приведших Коперника к его системе. Особенность эта заключается в том, что (рис. 43) радиус эпицикла планеты jJ всегда параллелен линии ES , соединяющей Землю и Солнце, вследствие чего он совершает полный оборот в течение года. Эта связь между движением планеты и Солнца не получала никакого объяснения в теории Птолемея.

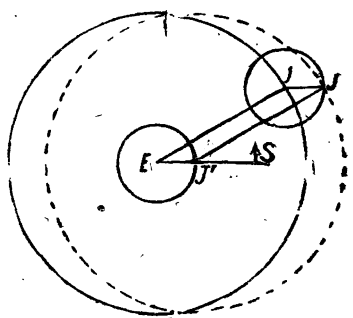


Рис. 43. Эпицикл Юпитера.

Если мы проведём EJ' параллельно jJ и отложим часть, равную ей по длине, то в силу того, что $J'J$ равно и параллельно Ej , J описывает вокруг J' такой же точно круг, как и j вокруг E . Значит, движение планеты можно с прежним

успехом объяснить движением её по эпициклу (отмеченному на рисунке большим пунктирным кругом), центр которого J' , а радиус $J'J$, тогда как центр эпицикла, постоянно лежащий в направлении Солнца, описывает деферент (изображённый небольшим кружком около E), в центре которого находится Земля. Благодаря такому методу объяснения движение верхней планеты ничем не отличается от движения нижней планеты. Кроме того, разве, что в данном случае эпицикл больше деферента; рассуждение, аналогичное предыдущему, показывает, что движение это можно объяснить ещё проще, предположив Солнце находящимся в центре эпицикла. Таким образом, можно, не изменяя положения планеты на небе, заменить птоломеев эпицикл и деферент круговым движением планеты вокруг Солнца, в то время как оно движется вокруг Земли или, ещё проще, в то время как Земля движется вокруг Солнца.

Синодический период верхней планеты лучше всего определяется из наблюдений планеты в моменты противостояний, когда долгота её и Солнца отличаются на 180° (гл. II, § 43). Сидерический период можно тогда определить приблизительно таким же путём, как и для нижней планеты, с той лишь разницей, что верхняя планета движется медленнее Земли и потому теряет полный оборот в каждый синодический период; или же сидерический период можно определить по предыдущему из наблюдения противостояний, случающихся в одной и той же части неба¹⁾. Коперник получил таким путём довольно точные данные для синодического и сидерического периодов, именно: 780 (синод.) и 687 (сидер.) дней для Марса, 399 дней и около 12 лет для Юпитера, 378 дней и 30 лет для Сатурна.

Вычислить расстояние от Солнца для верхней планеты—вещь гораздо более сложная, чем вычисление его для Меркурия и Венеры. Если пренебречь деталями, то процедура, с помощью которой Коперник определял его, сводится к следующему: он вычислял положение планеты, как если бы наблюдал её с Солнца, и затем замечал момент, когда это положение сильнее всего разнится с положением, наблюдаемым с Земли; другими словами, когда Земля и Солнце сильнее всего разнятся в положениях, если наблюдать их с планеты. Это бывает тогда, когда (рис. 44) линия, соединяющая планету с Землёй (PE), касается круга, описываемого Землёй, так что угол SPE в этом случае достигает предельной своей величины. Угол PES равен прямому, а угол SPE выражает разницу между наблюдаемым положением планеты и вычисленным направлением её с Солнца; зная эти два угла, мы

¹⁾ Если P выражает синодический период планеты (в годах), а S —сидерический, то мы имеем $\frac{1}{P} + 1 = \frac{1}{S}$ для нижней планеты и $1 - \frac{1}{P} = \frac{1}{S}$ для верхней.

знаем и форму треугольника SPE , а, следовательно, и отношение его сторон. Таким путём Коперник нашёл, что средние расстояния Марса, Юпитера и Сатурна от Солнца равны соответственно $1\frac{1}{2}$, 5 и 9 расстояниям Земли; современные измерения дают такие цифры: 1,5; 5,2; 9,5.

88. Идеи Коперника значительно упростили объяснение точек стояния планет (гл. I, § 14). Возьмём какую-нибудь планету, например, Меркурий (рис. 45); когда он находится между Землёй и Солнцем, в M (или в положении 5 сентября на рис. 7), то и Земля, и Меркурий движутся в одном направлении, но сравнение величины орбит Меркурия и Земли и их периодов полного обращения показывает, что скорость движения Меркурия по его орбите больше скорости движения Земли. Следовательно, наблюдателю, помещённому в E , Меркурий покажется движущимся слева направо (на рисунке) или с востока на запад; но так как это направление противоположно обычному движению планет, то Меркурий кажется отступающим назад. С другой стороны, когда Меркурий наблюдается в наибольшем удалении от Солнца, в M_1 и M_2 , то движение его направлено прямо к Земле

или от Земли и потому неощутимо; но Земля движется вправо от наблюдателя, и потому Меркурий кажется перемещающимся влево, или с запада на восток. Значит, между M_1 и M движение его стало из прямого попятным, а поэтому в некоторой про-

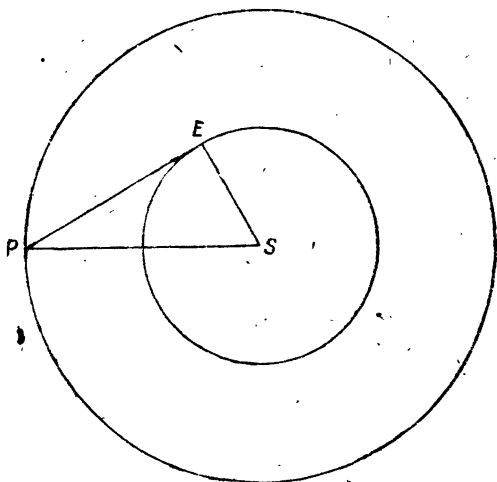


Рис. 44. Относительные размеры орбит Земли и верхней планеты.

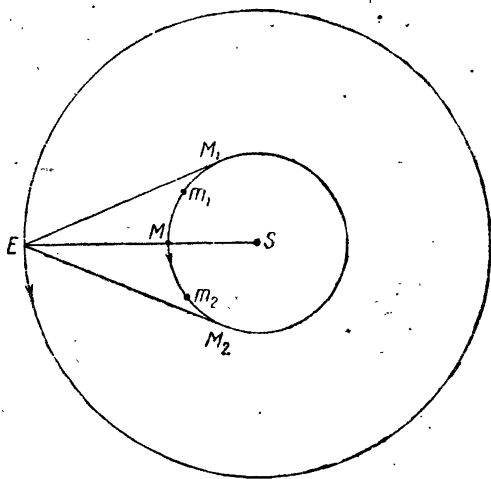


Рис. 45. Стационарные точки Меркурия.

межуточной точке, скажем m_1 (около 23 августа на рис. 7), Меркурий кажется остановившимся на непродолжительное время; то же случается с ним и вторично в некоторой точке m_2 , между M и M_2 (около 13 сентября на рис. 7).

Для верхней планеты, например, Юпитера, аргументация остаётся почти та же самая. Скорость движения Юпитера по его орбите меньше скорости движения Земли. Поэтому, когда Юпитер (рис. 46) находится в противостоянии J (15 июля на рис. 6) и движется в одном направлении с Землёю, находящейся в E , он кажется

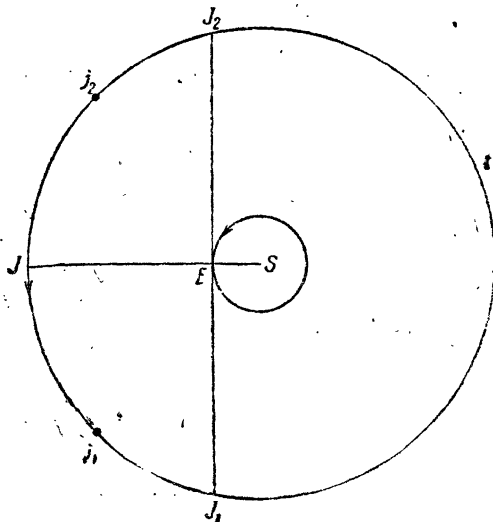


Рис. 46. Стационарные точки Юпитера.

справа налево, или с запада на восток. Как и в предыдущем случае, мы найдём между J_1 и J , и J и J_2 точки j_1 и j_2 (15 мая и 13 сентября на рис. 6), в которых Юпитер кажется некоторое время стоящим на месте.

В изложении Коперника объяснение стационарных точек гораздо пространнее и разработаннее, чем в нашем кратком очерке; он не только показывает, что стационарные точки должны существовать, но и указывает, как вычислить их истинные положения.

89. До сих пор мы рисовали планетную теорию лишь грубыми штрихами, желая оттенить существенные различия между коперниковым и птоломеевым объяснениями их движений, и совершенно не касались ни мелких неправильностей, для объяснения которых Птоломей изобрёл свою систему эквантов, эксцентриков и т. д., ни движения по широте, т. е. приближения или удаления от эклиптики. Как мы уже упоминали, Коперник отверг эквант, производивший неправильность, «недостойную» небесных тел, и построил для каждой планеты весьма сложную систему эпициклов. Для объяснения движения по широте, рассматриваемого в книге IV,

он предположил, что орбита каждой планеты наклонена к эклиптике под незначительным углом, различным для каждой планеты, но для полного согласования своей теории с наблюдением счёл необходимым ввести совершенно произвольное усложнение в виде правильного возрастания и уменьшения наклонения планетных орбит к эклиптике.

Подробное рассмотрение эпициклов, которыми он пользовался, не представляет для нас большого интереса, но любопытно заметить, что для движений Луны, Земли и пяти других планет Копернику потребовалось 34 круга—четыре для Луны, три для Земли, семь для Меркурия (движение которого особенно неправильно) и по пяти для каждой из остальных планет; число это гораздо меньше тех, какие встречались во многих версиях птолемеевой системы: Фракастор, например (гл. III, § 69), писавший в 1538 г., признавал необходимым существование 79 сфер, из которых шесть предназначалось для звёзд.

90. Планетная теория Коперника по необходимости страдала одним из наиболее существенных недостатков системы эпициклов. В самом деле, всегда возможно подобрать такую систему эпициклов, чтобы или направление тела, или его расстояние изменялись в требуемой степени, но невозможно согласовать их одновременно. При движении Луны вокруг Земли или Земли вокруг Солнца (случаи, в которых изменчивость расстояния не сразу заметна) от эпициклов можно было бы ожидать удовлетворительных результатов,—во всяком случае до тех пор, пока методы наблюдений не улучшились бы настолько, что удалось бы с достаточной точностью измерять кажущуюся величину Солнца и Луны и таким образом контролировать изменения

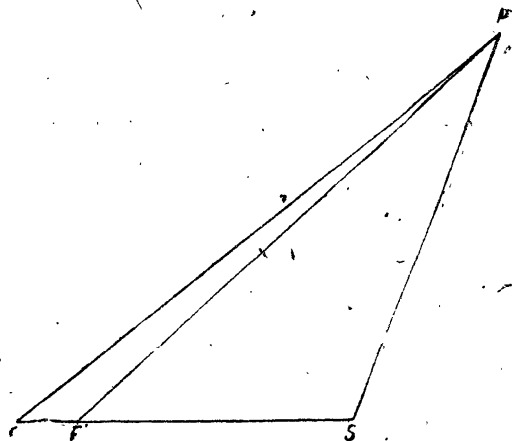


Рис. 47. Изменение кажущегося положения планеты в зависимости от расстояния Земли от Солнца.

расстояний. Но всякое изменение в расстоянии Земли от Солнца влияет не только на расстояние, но и на направление, в котором мы видим планету; на рис. 47, например, когда планета находится в P , а Солнце—в S , кажущееся положение планеты с Земли будет различное, в зависимости от того, находится ли Земля в E или в E' . Вот почему коперниковы эпициклы и эксцентрики по необходимости заключали в себе неверные данные для расстояния между

Солицем и Землёй и дали начало соответствующим расхождениям с наблюденными положениями планет. Наблюдения Коперника вряд ли были настолько обширны и точны, чтобы ясно обнаружить это разногласие; но при последующих наблюдениях планет можно было уже решать, какой схемой удобнее воспользоваться для объяснения планетных движений—эпициклической или какой-либо другой.

91. Заслуги Коперника так велики, а роль, сыгранная им в низвержении птоломеевой системы, так заметна, что мы иногда склонны забывать, что он был далёк от отрицания греческих эпициклов и эксцентриков, сам пользовался этими геометрическими схемами и был даже более правоверным «эпициклистом», чем сам Птоломей, так как отверг экванты этого последнего¹⁾. Знаменитое мильтоново описание (*Потерянный Рай*, VIII)

«Сфера,

С центральным кругом и эксцентриком,
Цикл с эпициклом, в шаре шар»...

прилагается с полным правом как к астрономии Коперника, так и к астрономии его предшественников; уничтожением же эпициклов и эксцентриков мы обязаны не Копернику, а Кеплеру (гл. VII), писавшему более полвека спустя.

92. Один пункт, имевший важное значение в последующих событиях, заслуживает здесь особого упоминания. Основание коперниковой системы заключалось в том, что движение Земли, увлекающей с собой наблюдателя, производит кажущееся движение остальных тел. Таким образом, видимые движения планет

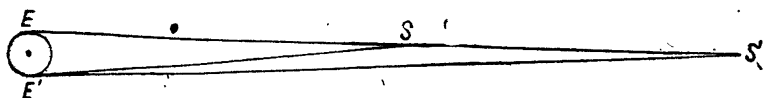


Рис. 48. Звёздный параллакс.

оказались в значительной степени результатом собственного движения Земли вокруг Солнца. Аналогичное рассуждение должно, повидимому, привести нас к выводу, что и неподвижные звёзды обнаруживают нечто вроде годичного движения. Действительно, должно существовать перемещение кажущегося положения звезды благодаря движению Земли по орбите—перемещение, подобное тому, какое испытывает Луна при перемене места наблюдателя на поверхности Земли, и давно изучавшееся под названием

¹⁾ Позднейшие биографы указывают на зачёркнутое место в рукописи *De Revolutionibus*, в котором Коперник показывает, что из комбинации круговых движений можно получить эллипс. Это, однако, чисто математическое предположение и не имеет никакого отношения к движениям планет вокруг Солнца. Его во всяком случае нельзя считать предвосхищением идей Кеплера (гл. VII).

параллакса (гл. II, § 43). Так как такое перемещение никогда в действительности не наблюдалось, то Коперник устранял кажущееся противоречие предположением, что оно незаметно по причине чрезвычайно громадного расстояния звёзд. Если, например, Земля переходит в течение шести месяцев из E в E' (рис. 48), то перемена в положении звезды S' выражается углом $E'S'E$, который меньше угла у более близкой звезды S . Предположив звезду S' достаточно удалённой, мы можем получить для угла $E'S'E$ какую угодно малую величину. Например, если расстояние звезды в 300 раз больше EE' , т. е. в 600 раз превосходит расстояние Земли от Солнца, то угол $E'S'E$ окажется меньше $12'$ — величина, для инструментов того времени едва ощутимая¹⁾. Но более точные наблюдения над неподвижными звёздами могли пролить свет на этот вопрос.

* ¹⁾ Нужно заметить, что дифференциальный метод параллакса (гл. VI, § 129), с помощью которого могла бы быть замечена такая величина, как $12'$, не применялся благодаря убеждению, разделявшемуся и Коперником, что все звёзды находятся на одинаковом расстоянии от нас.

ГЛАВА V

ПРИЗНАНИЕ КОПЕРНИКОВОЙ ТЕОРИИ И УСПЕХИ НАБЛЮДЕНИЯ

«Превратные умы, которым трудно плавать
По глади нашего обыденного моря;
И такфы, по моему суждению,
Учёные, что думают—как глупо! —
Что небо будто вовсе не вертится,
Не пляшут звёзды вокруг земного шара,
Но шар земной своей тяжёлой массой
Вращается раз в сутки на оси».

Д ю-Б а р т а с, 1579

93. Появление *De Revolutionibus* встречено было, повидимому, с гораздо большим спокойствием, чем можно было ожидать, судя по зажигательному содержанию книги. Впрочем книга была так написана, что её могли понять лишь математики, обладавшие значительными знаниями и проницательностью, а читать её было очень трудно. Кроме того, предисловие, добавленное Осияндером, но обыкновенно приписываемое самому автору, в значительной степени, надо думать, обезоружило враждебное настроение, порождённое предрассудками и обычаями; в нём основные принципы Коперника выдавались за геометрические абстракции, только удобные для вычисления небесных движений. Хотя, как мы видели (гл. IV, § 73), противоречие между мнениями Коперника и традиционным толкованием различных библейских текстов было сразу замечено Лютером, Меланхтоном и другими, однако, ни папа, которому была посвящена книга, ни его ближайшие преемники не восстали против неё.

О том, как ревностно защищал коперниковы взгляды Ретикус, мы уже говорили. После него единственным видным астрономом, сразу усвоившим новые взгляды, был его друг и товарищ *Эразм Рейнгольд* (родился в Заальфельде в 1511 г.), занимавший главную кафедру математики и астрономии в Виттенберге с 1536 по 1553 г., и, таким образом, случилось, по любопытному стечению обстоятельств, что доктрины, столь ревностно осуждённые двумя вождями протестантизма, провозглашены были преимущественно в городе, считавшемся центром протестантской мысли.

94. После издания *Narratio Prima* и *Эфемерид*, или альманаха, основанного на принципах Коперника (1550), Ретикус занимался преимущественно вычислением обширного ряда математических таблиц, которые успел окончить только перед смертью, в 1576 г.

Рейнгольд оказал астрономии чрезвычайно важную услугу тем, что вычислил на основании *De Revolutionibus* таблицы движений небесных тел, которые издал в 1551 г. на счёт герцога Альберта Прусского, и назвал поэтому *Tabulae Prutenicae*, т. е. *Прусскими таблицами*. Рейнгольд проверил большую часть вычислений Коперника, временами делавшего арифметические ошибки; но главной целью, которую он преследовал при составлении таблиц, была детальная разработка принципов *De Revolutionibus*, благодаря которой можно было бы во всякое время легко найти места главнейших небесных тел. Автор объявляет, что с помощью его таблиц можно вычислить места всех небесных тел за 3 000 лет назад и что вычисленные положения будут согласовываться со всеми наблюдениями, производившимися в течение этого периода. Действительно, таблицы эти в общем оказались несравненно выше *Альфонсинских* (гл. III, § 66), они постепенно завоевывали себе всё большую популярность и распространение, пока не были отодвинуты, спустя три четверти века, на задний план *Рудольфинскими таблицами* Кеплера (гл. VII, § 148). Превосходство новых прусских таблиц было лишь косвенным образом связано с различием принципов, на которых прежние и новые таблицы были построены, и главным образом зависело от того обстоятельства, что Рейнгольд был гораздо более искусный вычислитель, чем помощники Альфонса, и что Коперник, если и не превосходил Птолемея как математик, то во всяком случае имел в своём распоряжении лучшие математические орудия. Тем не менее, таблицы в значительной мере способствовали постепенному признанию в астрономическом мире заслуг коперниковой системы и во всяком случае послужили основанием для вычисления положений небесных тел.

К несчастью, в 1553 г. Рейнгольда внезапно сразила чума, а с ним вместе исчез комментарий к *De Revolutionibus*, который он приготовил к печати, но не успел издать.

95. Вскоре после того мы замечаем первые следы проникновения коперниковой системы в Англию. В 1556 г. *Джон Филд* напечатал календарь на будущий год, составленный под явным влиянием Коперника и Рейнгольда, а одно место в сочинении *Whetstone of Witte* (*Точильный камень ума*) (1557) *Роберта Рекорда* (1510—1558), первого английского алгебраиста, показывает, что автор благосклонно относился к доктринам Коперника, если только не вполне верил в них. Несколько лет спустя *Томас Диггс* (?—1595) в небольшом астрономическом трактате горячо расхваливает Коперника и его идеи.

В Россию гелиоцентрические идеи впервые проникли лишь в шестидесятых годах XVII в., когда тремя киевскими монахами был сделан перевод четырёхтомной книги по космографии голландского географа Иоганна Блеу, изданной в Амстердаме в 1645 г. Перевод был издан под названием *Зерцало всяя вселенная*.

Первое печатное изложение теории Коперника появилось в России лишь в начале XVIII в. Так, в 1707 г. была отпечатана картина с изображением четырёх систем мира: Птолемея, Коперника, Тихо Браге и Декарта с пояснительным текстом в стихах. Спустя 10 лет был напечатан анонимный перевод книги Гюйгенса *Kosmatheoros*, изданной в 1698 г. на латинском языке и представляющей собой общедоступное сочинение, излагающее систему мира Коперника. Почти одновременно (1718) была издана *Генеральная география* Бернгарда Варения (в переводе с латинского издания, вышедшего в Амстердаме в 1650 г.), в своей значительной части посвящённая обоснованию учения о движении Земли. Вслед за этими книгами появился ряд других, в той или иной форме пропагандирующих коперникову систему мира. Это не помешало, однако, в середине XVIII в. разразиться гонению на учение Коперника в эпоху, непосредственно предшествовавшую деятельности великого русского учёного *М. В. Ломоносова* (1711—1765), явившегося ревностным защитником этого учения.

96. После смерти Рейнгольда в течение почти полувека не сделано было ни одного мало-мальски крупного усилия в защиту коперниковой теории. Несомненно, что таблицы Рейнгольда, хотя и медленно, но верно делали своё дело распространения в умах новых идей, но для того, чтобы очевидность их была доказана решительным и неотразимым образом, необходимо было расширить область положительного знания.

Серьёзные механические затруднения в признании за Землёй быстрого движения, незаметного для её обитателей, могли встретиться только позднее, при известном прогрессе механики, в особенности при изучении законов, по которым возникает, поддерживается, изменяется или уничтожается движение тел, а в этом отношении не замечается значительного прогресса вплоть до Галилея, труды которого приходятся главным образом на первую четверть XVII в. (гл. VI, §§ 116, 130, 133).

Возражение, что звёзды не обнаруживают кажущегося годичного перемещения, вызванного движением Земли (гл. IV, § 92), также должно было или устраниться или усилиться в зависимости от того, обнаружили бы усовершенствованные методы наблюдения такое перемещение или нет.

Кроме того, *Пруссские таблицы*, хотя и более точные, нежели *Альфонсинские*, вряд ли могли претендовать на совершенную точность и, разумеется, на деле не обладали ею. Коперник однажды говорил Ретикусу, что был бы весьма доволен, если бы ему удалось согласовать свою теорию с наблюдениями в пределах

10'; в действительности же время от времени замечались гораздо более серьёзные разногласия. Сравнительная малочисленность пригодных наблюдений и крайняя неточность их делали чрезвычайно затруднительным как нахождение удовлетворительных числовых данных, необходимых для детальной разработки теории, так и надлежащее подтверждение её путём сравнения вычисленных положений небесных тел с наблюденными. Большинству астрономов ясно было, что одной из настоятельнейших потребностей является организация наблюдений в возможно более широких размерах и с возможно большей точностью. Этой потребности ответили две школы наблюдательной астрономии, весьма неравногостойности, возникшие во второй половине XVI в. и накопившие массу материалов в последние грядущим поколениям.

К счастью, тот же период был отмечен быстрым прогрессом алгебры и родственных отделов математики. Из трёх великих изобретений, неимоверно облегчивших числовые операции, одно, так называемая арабская нумерация (гл. III, § 64), было уже известно в это время, а два других (десятичные дроби и логарифмы) были задуманы в XVI в. и находились в действии уже в начале XVII в.

97. Первый ряд ценных наблюдений после смерти Региомонтана и Вальтера (гл. III, § 68) предпринят был энергичным ландграфом *Вильгельмом IV* Гессен-Кассельским (1532—1592). Он ещё в детстве отличался любовью к наукам, а интерес к астрономии получил, по рассказам, в возрасте 20 лет при изучении прекрасной Апиановой *Astronomicum Caesareum*, картонные модели которой он приказал изготовить из металла. Он серьёзно занялся наукой и в 1561 г. построил в Касселе обсерваторию; замечательную тем, что на ней впервые сооружена была вращающаяся крыша—приспособление, встречающееся почти на всех современных обсерваториях. В течение шести последующих лет он производил на ней обширные наблюдения (преимущественно над неподвижными звёздами). Затем смерть отца заставила его устремить большую часть своих сил и внимания на заботы государственного правления, и астрономическое рвение его ослабело. Однако, спустя несколько лет (1575), после короткого посещения талантливого и пылкого молодого датского астронома Тихо Браге (§ 99), он возобновил свои занятия астрономией, а вскоре после того приобрёл в помощники двух чрезвычайно искусных наблюдателей, *Христиана Ротмана* (в 1577) и *Иоста Бюрги* (в 1579). Ротман, о жизни которого мы знаем очень мало, был, повидимому, весьма знающий математик и астроном-теоретик; ему принадлежат некоторые улучшения в методах решения различных астрономических задач. Вначале он был последовательным коперниканцем, но затем обнаружил большую самостоятельность, указав на ненужное усложнение, внесённое Коперником, разложившим движение Земли на три движения, в то время как достаточно

было двух (гл. IV, § 79). Его вера в систему Коперника впоследствии сильно пошатнулась благодаря ошибкам, обнаруженным при помощи наблюдения в *Прусских таблицах*. Бюрги (1552—1632) первоначально приглашён был ландграфом в качестве часовщика, но очень скоро обратил свои замечательные механические таланты на астрономические проблемы; повидимому, он обладал также недюжинными математическими способностями¹⁾.

98. Главной целью трудов Кассельской обсерватории было составление звёздного каталога. Положения звёзд сравнивались с положениями Солнца, Венеры или Юпитера, служивших соединительными звеньями, и затем выводились положения звёзд относительно экватора и точки весеннего равноденствия; при этом вносились поправки на атмосферное преломление света и на солнечный параллакс, но наиболее замечательным нововведением были часы, по которым отмечалось время наблюдения и измерялось движение небесной сферы. Постройка часов достаточной точности для требуемой цели удалась благодаря механическому гению Бюрги и, в частности, его открытию, что часы можно регулировать маятником,—открытие, которое он, повидимому, не пытался обнародовать и которое поэтому должно было быть сделано самостоятельно заново, прежде чем оно получило всеобщее признание²⁾. К 1586 г. зарегистрированы были самым тщательным образом положения 121 звезды, но более полный каталог, в который должно было войти свыше тысячи звёзд, так и не был окончен благодаря неожиданному уходу Ротмана в 1590 г.³⁾ и смерти ландграфа, последовавшей двумя годами позже.

99. Однако, таланты *Тихо Браге*, работавшего приблизительно в ту же эпоху, в скором времени совершенно затмили труды Кассельской обсерватории. Тихо Браге родился в 1546 г. в Кнудструп, в датской провинции Скании (теперь южная оконечность Швеции), в семье дворянина, впоследствии назначенного губернатором Гельсингборг-Кастля. Он был усыновлён своим дядей и воспитывался в его деревенском поместье. На тринадцатом году он уже поступил в Копенгагенский университет, где изучал риторику и философию, мечтая о политической карьере. В 1560 г. он чрезвычайно заинтересовался частным солнечным затмением, и это обстоятельство, в связи с интересом к астрологическому искусству составления гороскопов, заставило его посвятить большую часть двухлетнего промежутка, который ему оставалось прожить в Копенгагене, математике и астрономии. В 1562 г. он

¹⁾ Можно без колебаний признать, что он независимо от Непера (1550—1617) изобрёл логарифмы, но благодаря присущей ему нерешительности или нежеланию обнародовать свои открытия это изобретение умерло с ним.

²⁾ Такое открытие было в самом деле сделано дважды, Галилеем (гл. VI, § 114) и Гюйгенсом (гл. VIII, § 157).

³⁾ Он получил отпуск, чтобы отдать визит Тихо Браге, но уже не вернулся больше в Кассель. Умер он, вероятно, между 1599 и 1608 гг.



ТИХО БРАГЕ.

отправился в Лейпцигский университет, по обычаю того времени, в сопровождении воспитателя, повидимому, настойчиво, но безуспешно пытавшегося обратить своего питомца к изучению права. Тихо теперь уже трудно было оторвать от любимых занятий, и он усердно занимался астрономией. В 1563 г. он произвёл первое своё астрономическое наблюдение—над тесным соединением Юпитера и Сатурна, в предсказании которого, как он заметил, *Альфонсинские таблицы* (гл. III, § 66) ошиблись на целый месяц, а *Прусские* (§ 94)—на несколько дней. В Лейпциге он купил несколько грубых инструментов и, пытаясь определить погрешности своих инструментов и внести соответствующие поправки, предвосхитил одно из величайших своих усовершенствований, впоследствии разработанных систематически.

В 1565 г. Тихо вернулся в Копенгаген, вероятно, по причине войны со Швецией, возгоревшейся в это время, и оставался здесь около года, в течение которого умер его дядя. В 1566 г. он снова отправился странствовать и посетил Виттенберг, Росток, Базель, Ингольштадт, Аугсбург и другие научные центры, познакомившись благодаря этому с наиболее известными астрономами Германии. В Аугсбурге он познакомился с братьями Гайнцель, богатыми гражданами, питавшими пристрастие к науке; для одного из них он задумал и соорудил громадный квадрант (четверть круга) с радиусом около 6 метров, край которого разделён был на минуты. Здесь же он начал постройку громадного небесного глобуса диаметром в полтора метра, на котором впоследствии отмечал положения звёзд из наблюдений.

В 1570 г. Тихо возвратился к своему отцу в Гельсингборг и вскоре после его смерти (1571) отправился на долгое время к дяде своему Стеену Билле, обладавшему склонностями к научным исследованиям. В этот период он большую часть своего времени посвящал, кажется, химии (или, скорее, алхимии), и астрономические занятия были на время позабыты.

100. К счастью, интерес к астрономии снова пробудился в нём благодаря неожиданному появлению яркой новой звезды в созвездии Кассиопеи, в ноябре 1572 г. Тихо произвёл над ней ряд чрезвычайно тщательных наблюдений; он отмечал постепенные изменения в её блеске с первого момента её появления, когда она по яркости соперничала с Венерой, до конечного исчезновения спустя шестнадцать месяцев. Он несколько раз измерял угловое расстояние её от главных звёзд Кассиопеи и пользовался разнообразными методами, желая удостовериться, не обладает ли она ощутимым параллаксом (гл. II, §§ 43, 49). Параллакса ему не удалось открыть, из чего он заключил, что звезда отстоит во всяком случае дальше Луны; а так как она не принимала участия в движениях планет, то он отнёс её к области неподвижных звёзд. В наше время такое заключение кажется самым обыденным, но в те дни большинство астрономов крепко держалось убеждения

Аристотеля, что всё небо вообще, а область неподвижных звёзд в особенности нетленны и неизменяемы; новые же звёзды, как и кометы, почти всеми относились к верхним слоям нашей атмосферы. Тихо написал о новой звезде доклад, который напечатал (1573) по настояниям друзей, присоединив к нему некоторые части календаря, изготовлявшегося на этот год. Нежелание печататься в значительной степени поддерживалось в нём убеждением, что писание книг несовместимо с достоинством датского дворянина. Книга, о которой идёт речь, *De nova ...Stella* (О новой звезде), выгодно отличается от массы других писаний, вызванных появлением звезды, хотя из неё видно, что Тихо придерживался обычных воззрений, будто кометы принадлежат атмосфере, а планеты увлекаются твёрдыми кристаллическими сферами, — мнения, в значительной степени подорванного его последующими трудами. Он отчасти касался астрологического значения звезды и великих событий, предвещаемых ею; его замечания по этому поводу подверглись впоследствии строгой критике Кеплера, выразившегося так: «Если эта звезда ничего не предсказала, то, по крайней мере, она возвестила и создала великого астронома».

В 1574 г. Тихо был приглашён в Копенгагенский университет прочесть несколько лекций по астрономии, из которых первая, трактовавшая главным образом об астрологии, была напечатана в 1610 г., после его смерти. Когда курс был закончен, он снова отправился странствовать (1575). После краткого посещения Касселя, положившего начало прочной дружбе с ландграфом, он отправился во Франкфурт за покупкой книг, а оттуда в Базель (где он серьёзно думал основаться), далее обратно в Аугсбург и Регенсбург, где приобрёл экземпляр *Commentariolus* Коперника (гл. IV, § 73), и, наконец, вернулся домой через Заальфельд и Виттенберг.

101. Следующий год (1576) отметил собой начало новой эпохи в жизни Тихо. Король датский, Фридрих II, усердный покровитель науки и литературы, назначил Тихо содержание, достаточное для производства астрономических работ в самых широких размерах. Он отвёл ему небольшой островок Гвэн в Зунде (ныне принадлежащий Швеции), обещал отпустить средства на постройку дома и обсерватории и добавил к доходам от аренды острова ежегодный оклад в 1 000 руб. Тихо первый раз посетил остров в мае, сейчас же принялся за постройку и к концу года уже делал правильные наблюдения в своём новом доме.

Постройки отличались как внешним великолепием, так и высокой научной полезностью. Тихо не забывал того, что он — датский дворянин, и строился так, как подобало его рангу¹⁾. Главное здание, названное Уранибургом (Небесный замок),

¹⁾ Он не забыл даже соорудить одно из обычных приспособлений средневекового замка — турму.

находилось посреди громадного квадратного двора, разбитого в виде сада, углы которого указывали на север, восток, юг и запад, и заключало в себе несколько обсерваторий, библиотеку и лабораторию, не считая жилых комнат. Впоследствии, с увеличением числа учеников и помощников, стекавшихся к нему, Тихо Браге соорудил (в 1584) второе здание, Стьернеборг (Звёздный замок), замечательный своими подземными обсерваториями. Получив возможность производить необходимые работы в собственном



Рис. 49. Уранибург. Из собрания писем, изданных Тихо.

помещении, он завёл мастерские, в которых изготовлялись почти все его инструменты, а впоследствии он соорудил печатный станок и бумажную мельницу. Как в Уранибурге, так и в Стьернеборге не только комнаты, но даже инструменты по мере их сооружения старательно раскрашивались или вообще украшались каким-нибудь другим манером.

102. Конечно, всё это потребовало колоссальных расходов, особенно если принять во внимание, что Тихо жил на широкую ногу и, по всей вероятности, мало заботился об экономии. Доходы его, получавшиеся из разных источников, подвержены были временным колебаниям; впрочем король не только назначил ему годовой оклад, но и оказывал единовременные пособия поместьями и деньгами. Между прочим, Тихо получил в 1579 г. один из соборных приходов в Роскильде, доходы с которого были секуляризованы после реформации. На беду, большая часть его владений требовала известных обязательств по отношению к

арендаторам, а так как он соединял в себе раздражительность гения с кичливостью средневекового дворянина, то постоянные ссоры были неизбежны. Вскоре по прибытии его на остров Гвэн арендаторы стали жаловаться, что он незаконно принуждает их работать на него; церковные обязанности, связанные с занятием прихода, были им запущены, и он совершенно отказывался платить установленную пенсию вдове своего предшественника. Затем вышли неприятности из-за маяка, содержание которого лежало на обязанности одного из его поместий, но только на бумаге. Расположение короля к Тихо лучше всего доказывается участием, которое он принимал в улаживании этих ссор, часто оканчивавшихся тем, что король оплачивал спорную сумму денег.

Кроме того, Тихо крайне ревниво относился к своей учёной репутации и неоднократно раздражался грубой бранью по адресу какого-нибудь помощника или посетителя, которого он обвинял в присвоении его идей и обнародовании их под своим именем.

Помимо дразг, значительную часть времени Тихо приходилось тратить на приём многочисленных посетителей, отовсюду привлекаемых его славой; между ними попадались, кроме астрономов, высокопоставленные лица, например, из датской королевской фамилии и Яков VI Шотландский (впоследствии Яков I Английский).

Несмотря на все эти препятствия, астрономические работы успешно подвигались вперёд; за 21 год, проведённый Тихо на острове Гвэне, он накопил при помощи учеников и ассистентов ряд великолепных наблюдений, своей точностью и обширностью превосходивших всё, что было сделано его предшественниками. Немало внимания он уделял алхимии и отчасти медицине. Повидимому, он находился под сильным влиянием идеи о единстве природы и постоянно искал аналогий или действительной связи между различными предметами, которые он изучал.

103. В 1577 г. появилась блестящая комета, которую Тихо наблюдал с обычной тщательностью; хотя он ещё в это время не располагал полным комплектом инструментов, тем не менее наблюдения в достаточной степени убедили его в том, что комета, по крайней мере, в три раза дальше Луны, и таким образом разрушили распространённое представление, которого он и сам придерживался несколькими годами раньше (§ 100), именно, что кометы—порождение нашей атмосферы. Наблюдения привели его к выводу, что кометы обращаются вокруг Солнца на расстоянии, превосходящем расстояние Венеры,—вывод, серьёзно пошатнувший общепринятое учение о твёрдых хрустальных сферах. Он имел случай наблюдать кометы 1580, 1582, 1585, 1590 и 1596 гг., а один из его учеников производил наблюдения над кометой 1593 года. Из всех этих комет только комета 1577 г. привлекла к себе особенное внимание публики.

104. Ценные результаты, полученные из наблюдений над новой звездой 1572 года и кометами, внушили Тихо мысль о свое-

временности составления полного трактата по астрономии, который заключал бы в себе эти и другие открытия. По первоначальному плану, первые три тома должны были быть посвящены новой звезде, комете 1577 г. и последующим кометам, главный же трактат должен был состоять из нескольких томов, посвящённых изложению теорий движений Солнца, Луны и планет. Однако, только ничтожной части этого великолепного плана суждено было осуществиться. Первый том, озаглавленный *Astronomiae Instauratae Progmynasmata*, или *Введение в Новую Астрономию*, был начат лишь в 1588 г., и хотя большая часть его была отпечатана в 1592 г., он не был окончен при жизни Тихо и окончательно издан был Кеплером в 1602 г. Действительно, один вопрос неизбежно приводил к другому, и Тихо сам почувствовал невозможность удовлетворительного описания звезды 1572 г. без рассмотрения массы предварительных вопросов, как, например, положение неподвижных звёзд, прецессия, годичное движение Солнца, — вопросов, в свою очередь требовавших тщательного исследования. Второй том, трактующий о комете 1577 г. и озаглавленный *De Mundi aetherei recentioribus Phaenomenis Liber secundus* (*Вторая книга о недавних явлениях в небесном мире*), окончен был гораздо раньше первого; в 1588 г. списки его были разосланы друзьям и корреспондентам Тихо, хотя он был отпечатан и поступил в продажу не ранее 1603 г. Третий том никогда не был написан, хотя материал для него и был отчасти собран; главный же трактат, повидимому, не был даже подготовлен.

105. Книга о комете 1577 года представляет для нас особенный интерес, так как заключает в себе очерк тиховой системы мира, представляющей собой компромисс между системами Птолемея и Коперника. Тихо был слишком хорошим астрономом, чтобы не ценить упрощений, внесённых системой Коперника, но он не мог ответить на два серьёзных возражения: всякое движение «неуклюжей и тяжёлой Земли» он считал противным физическим принципам и отрицал за звёздами громадные расстояния, приписываемые коперниковой системой, так как в этом случае между ними и планетами оставалось бы пустое пространство слишком обширных размеров. Кроме того, его останавливали ещё затруднения библейского характера¹⁾. В 1583 г. он изобрёл новую систему, по которой пять планет обращались вокруг Солнца (рис. 50), а Солнце обращалось в течение года вокруг неподвижной Земли, вокруг которой обращалась в течение суток и вся небесная сфера. Система эта никогда не подвергалась детальной разработке и, как многие компромиссы, встретила мало сочувствия; тем не менее Тихо очень гордился ею, и одна из самых ожесточённых

¹⁾ По этому поводу Тихо замечает, что Моисей был отличный астроном, так как называет Луну «меньшим светилом», несмотря на то, что кажущиеся диаметры Солнца и Луны почти одинаковы.

продолжительных ссор во всей его жизни (длившаяся двенадцать лет) возгорелась у него с *Реймерсом Баром* или *Урсусом* (?—1600) из-за того, что этот последний в 1586 г. сообщил ландграфу, а спустя два года напечатал описание системы мира, весьма похожей на систему Тихо. В 1584 г. Реймерс провёл короткое время на Гвэне, и Тихо не задумался обвинить его в похищении идеи из рукописи, виденной им здесь. Вполне естественно, что Реймерс также с своей стороны ответил Тихо обвинением в во-

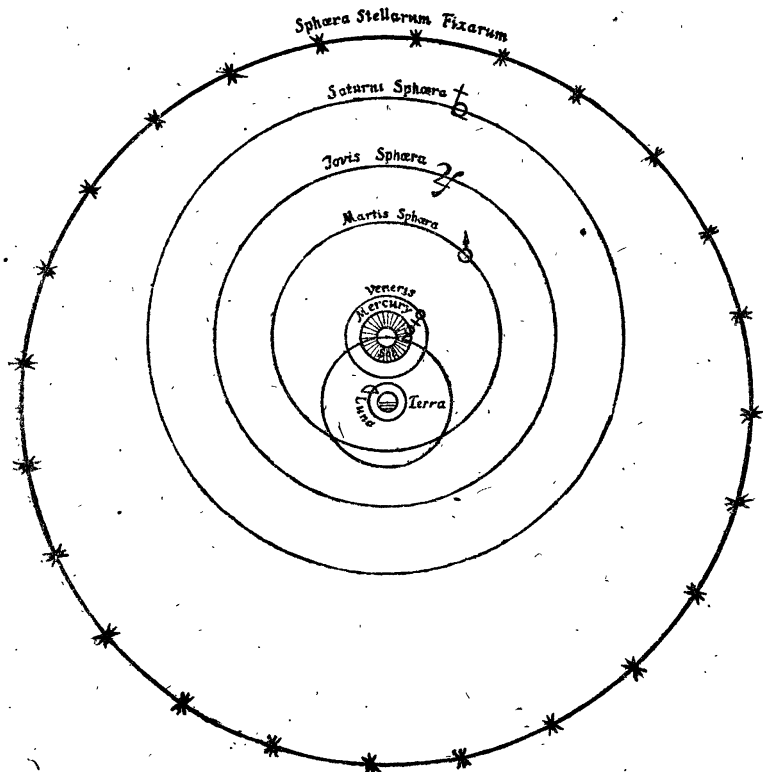


Рис. 50. Система мира Тихо.

ровстве. Однако нет ничего невозможного в том, что одна и та же идея независимо пришла в голову каждому астроному, и Реймерс внёс значительное усовершенствование в систему Тихо тем, что допустил суточное вращение Земли и, таким образом, отказался от вращения небесной сферы, что составляло один из слабейших пунктов птолемеевой системы.

106. Год, в который издана была книга Тихо о комете (1588), отмечен смертью его покровителя Фридриха II. Новый король, Христиан, был ещё 11-летним мальчиком, и несколько лет госу-

дарством управляло четверо придворных вельмож. Новое правительство вначале, кажется, было благосклонно настроено по отношению к Тихо; ему была уплачена крупная сумма на покрытие расходов по острову Гвэн и обещаны всякие милости, но мало-помалу постоянные ссоры Тихо со своими арендаторами и другими лицами привели к неприятным последствиям. В 1594 г. он потерял одного из сильнейших своих защитников при дворе, канцлера Кааса, преемник которого вместе с двумя-тремя другими придворными вельможами был не слишком дружелюбно настроен к нему, хотя приводимые нередко рассказы о крупной личной неприязни между ними, повидимому, имеют мало оснований. Уже в 1591 г. Тихо намекал одному из своих корреспондентов на невозможность оставаться в Дании, а в 1594 г. вступил в переписку с представителями императора Рудольфа II, слышавшего покровителем науки. Однако его научная деятельность в эти годы ничуть не ослабевала: в 1596 г. он закончил печатанием чрезвычайно интересный том, заключавший в себе учёную переписку между ландграфом, Ротманом и им самим. За принятием королём в свои руки кормила правления, в 1596 г., последовало лишение Тихо одного из его имений, а в следующем году прекращена была выдача годового оклада, который был уплачиваем ему с 1576 г. Тихо счёл лишение годичного пенсионера последней каплей, переполнившей чашу, и в начале 1597 г. покинул Гвэн, забрав с собой значительную часть движимого имущества. Проведя несколько месяцев в Копенгагене, он сделал решительную попытку покинуть Данию ради Германии, за что король лишил его прихода. В ответ на это Тихо написал возражение, в котором указывал на невозможность научных занятий без должного вспомоществования и предлагал вернуться, если его заслугам дана будет справедливая оценка. Король, однако, был оскорблён, и ответ его представляет перечисление различных жалоб, возникших против Тихо в последние годы. И хотя Тихо пытался ещё несколько раз через друзей вернуть себе расположение короля, но разрыв оказался полным.

107. Зимой 1597—1598 г. Тихо провёл у одного из своих друзей вблизи Гамбурга и здесь выпустил под заглавием *Astronomiae Instauratae Mechanica*¹⁾ описание своих инструментов, присовокупив к нему краткую автобиографию и интересный отчёт о главных своих открытиях. Около того же времени он распространил в рукописных экземплярах свой каталог 1 000 звёзд, из которых только 777 были наблюдаемы надлежащим образом, остальные же он поспешил зарегистрировать, желая дополнить традиционное число. И каталог, и *Mechanica* явным образом задуманы были в доказательство его астрономических заслуг, и экземпляры их были разосланы различным влиятель-

¹⁾ Т. е. *Механические инструменты восстановленной астрономии.*

ным лицам. Тихо завязал сношения с императором и с принцем Оранским и, проведя ещё год в различных областях Германии, получил, наконец, приглашение от императора и прибыл в Прагу в июне 1599 г.

108. Условлено было, что он займёт замок Бенатек, в двадцати милях от Праги, где он и водворился в конце 1599 г. со своим семейством и малыми инструментами. Он сейчас же приступил к наблюдениям, послал одного из сыновей на остров Гвэн за большими инструментами и озаботился приисканием помощников. Он заручился содействием одного из самых способных своих прежних помощников и по счастливому стечению обстоятельств привлёк к себе великого Иоганна Кеплера; умелой разработке Кеплером материалов, собранных Тихо, этот последний в значительной степени обязан своей славой. Кеплер, о жизни и деятельности которого мы подробно побеседуем в VII главе, незадолго до того напечатал свою первую ценную книгу, *Mysterium Cosmographicum* (*Космографическая тайна*) (§ 136), между прочим, обратившую на себя внимание Тихо, и терпел неудобства от своего положения в Граце, где начались религиозные преследования. После некоторых колебаний Кеплер отправился к Тихо в Бенатек в начале 1600 г. Вскоре он занялся изучением Марса, для которого Тихо готовил планетные таблицы, и, таким образом, хорошо познакомился с наблюдениями этой планеты, собранными Тихо. Отношения между двумя астрономами были не всегда безупречны, ибо Кеплер, как всегда, сильно страдал от денежных затруднений, а бедственное состояние государственных финансов не давало Тихо возможности получить своё жалованье от императора. Вследствие этого Кеплер в очень скором времени оставил Бенатек и вернулся в Прагу, где и поселился окончательно после короткой поездки в Грац; Тихо последовал его примеру в конце 1600 г., и с этих пор они дружно работали вместе весь небольшой остаток жизни Тихо. Хотя он вовсе не был стар, но здоровье его заметно слабело, и в конце 1601 г. он внезапно схватил недуг, через несколько дней приведший к трагической развязке (24 ноября). Характерно для его беззаветной любви в своему делу, что он даже в предсмертном бреду неоднократно восклицаниями выражал надежду, что жизнь его не прошла бесплодно.

109. Частью из-за неприятностей, возникших между Кеплером и одним из наследников Тихо, частью из-за политических волнений, большие инструменты Тихо почти не были употребляемы после его смерти и большей частью погибли во время гражданских войн в Богемии. Кеплеру удалось получить его наблюдения, но они почти не печатались, так как находились в сыром, необработанном виде.

110. Если бы мы пожелали дать мало-мальски удовлетворительный очерк заслуг Тихо в астрономии, то нам пришлось бы

привести много технических подробностей методов наблюдения, что мы считаем неуместным. Прежде чем перейти к специальным открытиям Тихо, можно, однако, попытаться дать общую характеристику его как наблюдателя.

Тихо более, чем кто-либо из его предшественников, понимал важность таких наблюдений, которые не только были бы точны до последней возможности, но и делались бы возможно чаще с целью почти непрерывного регистрирования положений и движений изучаемых небесных тел; по господствовавшему же обычаю (как это отлично иллюстрирует пример Коперника) наблюдения производились временами, случайно, когда являлось на сцену особенно интересное астрономическое событие, вроде затмения или соединения планет, или же когда чувствовалась нужда в каких-либо специальных данных для разработки одного из пунктов теории.

В то время как Коперник, как мы уже видели (гл. IV, § 73), упоминает в своей книге только о нескольких десятках наблюдений, Тихо, например, наблюдал Солнце ежедневно в течение многих лет и потому мог получить несколько тысяч наблюдений одного только этого светила, не считая многих тысяч наблюдений, произведённых над другими небесными телами. Правда, арабы имели некоторое представление о непрерывности наблюдений (гл. III, § 57), но ими было проявлено слишком мало умозрительной силы или оригинальности для того, чтобы извлечь надлежащую пользу из своих наблюдений, небольшая часть которых попала в руки европейских астрономов. Поживи Региомонтан больше (гл. III, § 68), он бы, вероятно, во многом предупредил Тихо, но его недолгая жизнь почти целиком ушла на изучение и комментирование греческой астрономии, так что он не мог много сделать в других отраслях этой науки. Ландграф со своим штабом, поддерживавший непрерывные сношения с Тихо, работал в том же направлении, хотя в общем с меньшим успехом. В отличие от арабов Тихо, однако, был твёрдо убеждён в том, что наблюдения суть лишь средство и что одни наблюдения без гипотезы или теории, объясняющей и истолковывающей их, представляют мало интереса и пользы.

Действительная точность тиховых наблюдений, само собой разумеется, значительно варьировала в зависимости от характера наблюдения, тщательности, с которой оно производилось, и периода жизни Тихо, в который оно имело место. Места девяти звёзд, положенные им в основание звёздного каталога, отличаются от положений, указанных лучшими современными наблюдениями, на углы, большей частью не превышающие $1'$, и только в одном случае на $2'$ [эта ошибка зависит, главным образом, от рефракции (гл. II, § 46), с которой Тихо по необходимости не мог быть хорошо знаком]. Места других звёзд были определены, вероятно, с меньшей точностью, но мы недалеко уклонимся от

истины, если допустим, что в большинстве случаев ошибка наблюдений Тихо не превосходила $1'$ или $2'$.

Кеплер в часто цитируемом месте его сочинений пишет, что ошибка в $8'$ в планетных наблюдениях Тихо была вещь совершенно невозможной. Такую точность можно отчасти объяснить размерами и тщательной конструкцией инструментов, о чём так старались арабы и другие наблюдатели. Конечно, Тихо пользовался прекрасными инструментами, но он ещё значительно увеличивал их достоинства частью при помощи мелких механических приспособлений, каковы, например, специально придуманные диоптры или особенный способ деления на градусы¹⁾, частью же тем, что пользовался инструментами, могущими совершать лишь ограниченные движения и потому значительно более устойчивыми сравнительно с теми, которые можно было направлять в любую часть небесного свода. Другое громадное усовершенствование заключалось в том, что он систематически вводил возможные поправки на неизбежные механические погрешности, встречающиеся даже в лучших инструментах, равно как и на погрешности постоянного характера. Например, издавна было известно, что, благодаря преломлению световых лучей в атмосфере, звёзды кажутся несколько выше истинного своего положения (рефракция). Тихо предпринял ряд наблюдений с целью определить величину этого перемещения для различных частей небосклона, на основании их составил таблицу преломления (правда, весьма несовершенную) и с тех пор при наблюдениях регулярно вводил поправку на рефракцию! Далее известно было, что точность наблюдений над Солнцем и планетами нарушается влиянием параллакса (гл. II, §§ 43, 49), хотя величины его не знали. В тех случаях, где требовалась особая точность, Тихо наблюдал исследуемый объект по меньшей мере два раза, выбирая такие положения, в которых параллакс, по его расчёту, производил противоположный эффект; таким образом, комбинируя наблюдения, он получал результат, почти свободный от данной погрешности. Он один из первых оценил во всей полноте важность многократных повторений одного и того же наблюдения при различных условиях с той целью, чтобы различные случайные источники погрешностей отдельных наблюдений взаимно нейтрализовали друг друга.

III. Он исправил и заново определил почти все мало-мальски важные астрономические величины. Например, годичное движение солнечного апогея относительно точки весеннего равноденствия, установленное Коперником в $24''$, Тихо определил в $45''$ (современные наблюдения дают $61''$); длину года он определил с ошибкой менее секунды; он составил таблицы движения Солнца, по которым место Солнца можно было определить с точностью до $1'$; тогда как в прежних таблицах ошибка достигала

¹⁾ Поперечными делениями.

иногда 15—20'. К сожалению, он не определял расстояния Солнца; но принимал крайне грубую оценку, передававшуюся без существенных изменений со времени Аристарха от астронома к астроному (гл. II, § 32).

В лунной теории Тихо сделал несколько важных открытий. Он нашёл, что неправильности лунных движений не исчерпываются уравниванием центра и эвекцией (гл. II, §§ 39, 48) и что есть ещё одна неправильность, исчезающая во время противостояния, соединения и квадратур, но в промежуточных положениях Луны достигающая 40'. Это неравенство, известное под названием *вариации*, как мы уже упоминали (гл. III, § 60), было открыто, быть может, Абул-Вефой, хотя и подверглось впоследствии совершенному забвению. В последние годы своей жизни, во время посещения Виттенберга в 1598—1599 г., Тихо нашёл необходимым ввести ещё одно небольшое неравенство, так называемое *годовое уравнение*, зависящее от положения Земли на орбите; он, однако, ни разу не исследовал его полностью. Далее Тихо установил, что вопреки распространённому мнению орбита Луны не наклонена к эклиптике под постоянным углом, но подвержена правильным колебаниям и что движение лунных узлов (гл. II, § 40) также подвержено изменениям.

112. Мы уже говорили о звёздном каталоге. Составление его привело Тихо к изучению прецессии, величину которой он определил с значительной точностью; те же исследования заставили его отвергнуть предполагаемую неправильность в прецессии, которая под названием трепидации (гл. III, § 58) в течение нескольких веков смущала астрономов, но теперь быстро потеряла свою популярность.

Тихо изучал планеты с особенной любовью, но хотя он и произвёл ряд великолепных наблюдений над ними, сослуживших громадную службу его преемникам, однако, он умер, не успев создать удовлетворительной теории планетных движений. Ему легко было заметить, однако, что эти движения значительно уклоняются от предсказаний любых планетных таблиц, и даже открыть известную правильность в этих уклонениях.

ГЛАВА VI

ГАЛИЛЕЙ

«В науке мы все—ученики Галилея».

Труэссар

113. К поколению, сменившему Тихо, принадлежат два знаменитейших астронома, Галилей и Кеплер. Хотя они были почти современниками (Галилей родился семью годами раньше Кеплера и пережил его двенадцатью годами), однако их научные методы и заслуги перед астрономией носят настолько различный характер и влияние их друг на друга было так ничтожно, что мы сочли удобным уклониться от строго хронологического порядка и посвятить настоящую главу исключительно Галилею, оставив на время Кеплера в стороне.

Галилео Галилей родился в 1564 г. в Пизе, тогда принадлежавшей к великому герцогству Тосканскому, в самый день смерти Микель Анджело и в год рождения Шекспира. Отец его, Винченцо, был потомок обедневшей дворянской фамилии из Флоренции и слыл за хорошего музыканта и математика. Таланты Галилея обнаружились очень рано, и хотя первоначально его готовили к торговой деятельности, однако Винченцо был настолько умён, что понял, куда влекут сына его способности и вкусы; и вот он послал его в 1581 г. в Пизанский университет для изучения медицины. Здесь молодой Галилей скоро выдвинулся благодаря недюжинным дарованиям, особенно же благодаря тому, что он отказывался принимать на веру догматические положения своих учителей, основанные не на прямом доказательстве, но на авторитете великих писателей древности. Эта драгоценная черта, отличавшая его всю жизнь, в соединении с ловкой аргументацией, снискала ему нерасположение некоторых профессоров, а от товарищей-студентов прозвище Спорщика.

114. В 1582 г. наблюдательность привела Галилея к его первому научному открытию¹⁾. Однажды, следя в пизанском соборе за качаниями люстры, привешенной к потолку, он заметил; что

¹⁾ По мнению некоторых биографов Галилея, рассказы о наблюдении Галилеем качания люстры в пизанском соборе и о сбрасывании им тел с пизанской башни (см. § 116) являются вымыслом его ученика—Вивiani.

хотя движения люстры постепенно затихали и размахи становились слабее, однако время, затрачиваемое на каждое колебание, заметно не изменялось,—результат, который он подверг проверке сравнением с биениями собственного пульса. Последующие размышления и опыты убедили его, что эта особенность не составляет исключительной привилегии соборных люстр, но что всякий груз, подвешенный на верёвке (или иная форма маятника), качается в промежутки времени, зависящие только от длины верёвки или от других особенностей самого маятника, но не от способа, каким ему сообщено было движение, или от величины размаха. Вслед за тем он изобрёл прибор, колебания которого могли служить для измерения времени и который оказался весьма пригодным в медицинской практике для измерения частоты пульса.

115. Очень скоро обнаружилось, что у Галилея нет особенно-го влечения к медицине, избранной его отцом потому, что она вела к единственно доходной профессиональной карьере, и что истинным призванием его была математика и приложения её к опытным наукам. В течение первого года пребывания в университете он не приобрёл почти никаких формальных сведений из математики, но на второй год он подслушал при дворе великого герцога урок из эвклидовой геометрии и пришёл в такое восхищение, что продолжал слушать курс сперва украдкой, затем открыто; это обстоятельство укрепило в нём интерес к математике, а способности его были так очевидны, что он получил, наконец, у отца позволение бросить медицину для математики.

В 1585 г. бедность принудила его бросить университет, не окончив курса и не получив учёной степени, и следующие четыре года он прожил большей частью дома, продолжая читать и размышлять о научных предметах. В 1586 г. он написал свой первый учёный опыт¹⁾, циркулировавший в списках и напечатанный только в XIX столетии.

116. В 1589 г. он назначен был на трёхлетие профессором математики (с астрономией) в Пизе. Этой должности соответствовал ничтожный оклад, приблизительно равный двум с половиной рублям в неделю, но он мог пополнять свои скудные доходы частными уроками.

В этом новом положении Галилею открылся широкий простор для его замечательного дара изложения, но, не довольствуясь традиционным чтением лекций, он предпринял ряд научных исследований, замечательных как по содержанию, так и по новизне метода.

Мы считаем удобным отложить подробный очерк услуг, оказанных Галилеем механике, на конец этой главы, а здесь только кратко упомянем о первых его опытах над падающими телами,

¹⁾ Об изобретённом им приборе, так называемых *гидростатических весах*.



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ.

которыми он в это время занимался. В некоторых случаях он бросал различные испытываемые тела с вершины падающей башни в Пизе, в других—заставлял шары катиться по желобам, наклонённым под различными углами. В наше время, когда научные эксперименты стали обычным явлением, как-то трудно даже вообразить себе всю новизну и важность столь простых опытов для конца XVI столетия. В Пизе, как и повсюду, ещё господствовали средневековые традиции, по которым научные исследования производились преимущественно путём истолкования текстов из Аристотеля, Галена и других великих писателей древности, а выводы получались из общих принципов, находимых в сочинениях этих писателей; к самостоятельным же наблюдениям и не думали обращаться. Например, утверждалось, на основании авторитета Аристотеля, что так как причиной падения тел служит их вес, то различные тела должны падать со скоростями, пропорциональными их весу. Можно, правда, сомневаться, обладал ли кто-нибудь до Галилея настолько ясными представлениями о данном предмете, чтобы дать решительный ответ на вопрос, во сколько раз большее расстояние пройдёт некоторый груз при падении за 1 секунду, нежели груз в десять раз более лёгкий; но, по всей вероятности, ответ был бы дан в том смысле, что он пройдёт в десять раз большее расстояние или что он потребует в десять раз меньше времени на прохождение такого же пространства. Произвести же эксперимент на самом деле, изменить условия эксперимента, удаляя по возможности случайные источники ошибок и увеличивая время падения для того, чтобы возможно было точнее измерить его, как это сделал Галилей,—всё это шло вразрез с господствовавшими привычками научного мышления и казалось большинству его товарищей нежелательным и, пожалуй, даже опасным новшеством. Между тем, достаточно было нескольких простых экспериментов для того, чтобы доказать полную несостоятельность ходячих воззрений по данному вопросу и установить, что, вообще говоря, тела различного веса проходят равные расстояния в равные времена, причём небольшие различия можно всецело отнести на счёт сопротивления воздуха.

Эти и другие результаты исследований Галилея были изложены в особом трактате, который, как и большая часть первых произведений Галилея, разошёлся в списках; впрочем всё существенное из него он поместил в большом трактате по механике, напечатанном им к концу своей жизни (§ 133).

Эти нововведения, в связи с презрительным отношением к оппонентам, которого он не трудился скрывать, сделали Галилея непопулярным среди пизанских коллег его; по этой ли причине, или из-за домашних неурядиц, последовавших за смертью отца (1591), но только Галилей оставил свою кафедру незадолго до истечения срока службы и вернулся в дом своей матери во Флоренции.

117. Спустя несколько месяцев, проведённых во Флоренции, он получил по ходатайству одного венецианского приятеля должность профессора математики в Падуе, принадлежавшей тогда к территории Венецианской республики (1592). Он получил назначение сразу на шесть лет при окладе, значительно превышавшем тот, который он получал в Пизе. В первые годы пребывания в Падуе Галилей проявлял богатую и чрезвычайно разностороннюю деятельность; помимо регулярного чтения лекций, он писал трактаты, тогда ещё мало печатавшиеся, по астрономии, механике, фортификации и изобрёл несколько научных приборов.

Мы не имеем точных сведений относительно того, когда именно он усвоил астрономические воззрения Коперника, но в 1597 г. он сам сообщил, что познакомился с ними несколькими годами раньше, и тогда же собрал доказательства в пользу их.

В следующем году он назначен был профессором ещё на шестилетие, с прибавкой жалованья; по истечении этого времени он был назначен ещё на шесть лет, а затем пожизненно, причём всякий раз ему увеличивали оклад.

Первое астрономическое открытие Галилея было сделано в 1604 г., когда в созвездии Змееносца внезапно зажглась новая звезда; Галилей показал, что она во всяком случае дальше планет, чем подтвердил выводы Тихо (гл. V, § 100) о том, что перемены происходят в небесных пространствах даже за пределами планет и вовсе не ограничены, как обыкновенно полагали, Землёй и всем, что её непосредственно окружает.

118. В это время по всей Италии разнеслась молва о Галилее не только как о блестящем лекторе, но и как о знающем и оригинальном учёном. Событием, доставившим ему всеевропейскую славу, был ряд телескопических наблюдений, сделанных в 1609 и последующих годах.

Роджер Бэкон (гл. III, § 67) утверждал, что он изобрёл комбинацию линз, при помощи которой отдалённые предметы можно было созерцать так, как если бы они находились вблизи; приблизительно такое же изобретение было якобы сделано *Леонардом Диггсом* (умершим около 1571 г.); оно было описано также итальянцем *Портой* в 1558 г. Если бы даже подобный инструмент и был изготовлен кем-либо из трёх претендентов, на что мы не имеем достоверных указаний, то это открытие во всяком случае не обратило на себя внимания и затерялось. Достоверно известно, что телескоп изобретён был в Голландии в 1608 г. *Гансом Липперсгеймом* (?—1619), миддлбургским оптиком, и почти одновременно с ним двумя другими голландцами, но независимо или нет—трудно сказать. В начале следующего года весть об изобретении дошла до Галилея, и несмотря на то, что он не знал подробностей устройства инструмента, ему удалось после нескольких попыток приспособить к трубе две линзы—выпуклую и вогнутую—таким образом, что они стали увеличивать изображения предметов;

первый его инструмент приближал или увеличивал предметы в три раза, а вскоре он научился изготовлять телескопы с тридцатикратным увеличением.

Было вполне очевидно, что новый инструмент можно с таким же успехом приложить к небесным объектам, как и к земным; эта мысль почти одновременно пришла в голову английскому математику Томасу Гарриоту (1560—1624), немцу Симону Мариусу (1570—1624) и Галилею. То обстоятельство, что Галилею почти неизменно приписывается честь первого применения телескопа к астрономическим целям, хотя первые наблюдения начаты были им, по всей вероятности, несколько позже Гарриота и Мариуса, оправдывается настоятельностью, с которой он исследовал предмет за предметом, если представлялась надежда получить какие-нибудь результаты, энергией и проницательностью в наблюдениях, независимостью ума, с какой он их истолковывал, и больше всего глубоко верной оценкой их астрономического значения.

119. Свои первые телескопические наблюдения он обнародовал в начале 1610 г. в книжке, озаглавленной *Sidereus Nuntius*, т. е. *Звёздный вестник*. Эти первые наблюдения сейчас же пролили свет на природу нашего ближайшего небесного соседа, Луны. Обыкновенно полагали, что Луна, подобно другим небесным телам, вполне гладка и шарообразна; причины же тёмных пятен на её поверхности совершенно не знали¹⁾.

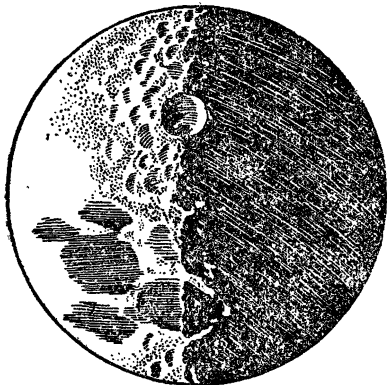


Рис. 51. Один из галилеевых рисунков Луны. Из *Sidereus Nuntius*.

Галилей с первого взгляда открыл массу мелких пятен, светлых и тёмных (рис. 51), и признал очень многие из этих последних за тени, отбрасываемые лунными горами под лучами Солнца; далее, в светлых точках, наблюдаемых у границы освещённой части неполной Луны, он угадал горные вершины, освещённые лучами восходящего или заходящего Солнца, в то время как окружающая часть лунной поверхности погружена во мрак. Ма-

ло того, с характерной изобретательностью и любовью к точности он вычислил из наблюдений такого рода высоту наиболее заметных лунных гор; самую высокую он оценил в четыре мили (около семи километров)—результат, близко согласующийся с совре-

¹⁾ Прекрасное представление о средневековых взглядах на этот предмет даёт одна из скучнейших песен великой Дантовой поэмы (Рай, II), где поэт и Беатриче приводят два различных «объяснения» пятен на Луне.

менными оценками высочайших вершин на Луне. Большие тёмные пятна он (ошибочно) объяснял присутствием воды, хотя он, повидимому, менее верил в правильность такого объяснения, чем некоторые из его ближайших преемников в науке, присвоившие этим пятнам название *морей* (гл. VIII, § 153). Он заметил также отсутствие облаков на Луне. Но, не считая подробностей, действительно ценный результат его наблюдений заключается в том, что он доказал сходство Луны с Землёй во многих важных отношениях, разрушил традиционное убеждение в абсолютной шарообразности Луны и показал, что ходячая доктрина о резком различии между небесными и земными предметами лишена основания; важность этих успехов в связи с учением Коперника о том, что Земля является одной из шести планет, обращающихся вокруг Солнца, не требует комментариев.

Один из многочисленных противников Галилея в науке пытался объяснить кажущееся противоречие между старой теорией и новыми наблюдениями при помощи остроумного предположения, что наблюдаемые на Луне впадины в действительности заполнены прозрачным кристаллическим материалом, так что Луна вполне шарообразна. На это Галилей ответил, что он признаёт превосходство подобной идеи и, распространяя её дальше, утверждает, что на Луне находятся горы из того же самого невидимого вещества, своей высотой, по крайней мере, в десять раз превосходящие те, которые он наблюдал.

120. Телескоп обнаружил также существование огромного количества звёзд, слишком слабых для того, чтобы их можно было видеть невооружённым глазом; Галилей насчитал, например, 36 звёзд в созвездии Плеяд, тогда как простому глазу доступно только шесть. Некоторые части Млечного Пути и туманные пятна оказались состоящими из необъятного множества тесно скученных слабых звёздочек, например, в Яслях (звёздная куча в созвездии Рака) он насчитал 40 звёзд.

121. Но самым поразительным открытием, о котором сообщает *Звёздный Вестник*, являются луны или спутники Юпитера. 7 января 1610 г. Галилей направил свой телескоп на Юпитер и заметил три слабых звёздочки, привлёкших его внимание своей



Рис. 52. Юпитер и его спутники 7 января 1610 г. Из *Sidereus Nuntius*.

близостью к планете и расположением—почти на одной прямой линии с нею. В следующую ночь он опять отыскал их и заметил, что они переменили своё положение относительно Юпитера, но не так, как это могло бы произойти от перемещения планеты между ними. Две ночи спустя его догадка подтвердилась, и он

сделал вывод, что новые тела представляют собой не неподвижные звёзды, но движущиеся светила, сопровождающие Юпитер в его движениях. 13 января было замечено четвёртое тело, и Галилей в скором времени убедился, что эти четыре тела обращаются около Юпитера, как около центра. С характерной для него осторожностью он следил за движениями новых тел из ночи в ночь и ко времени обнародования своей книги уже определил с достаточной точностью периоды их обращения вокруг Юпитера (наименьший из периодов обращения составлял 42 часа, наибольший—17 суток); после этого Галилей продолжал изучать движения спутников Юпитера в течение многих лет.

Новооткрытые тела Галилей назвал Медичейскими планетами в честь своего покровителя Козьмы Медичи, великого герцога Тосканского; но очевидно было, что тела, обращающиеся вокруг планеты наподобие того, как сами планеты обращаются вокруг Солнца, образуют новый разряд тел, отличных от собственно планет, и название *спутников*, присвоенное Кеплером этим новым телам, равно как и Луне, вошло во всеобщее употребление.

Открытием спутников Юпитера доказана была ошибочность старой доктрины, что Земля—единственный центр движения; мало того, оно серьёзно подорвало веру в непогрешимость Аристотеля и Птолемея, без сомнения, не подозревавших существования подобных тел; далее, лица, с трудом соглашавшиеся признать обращение Меркурия и Венеры вокруг видимо движущегося тела,—Солнца, должны были умерить свои сомнения при виде новых спутников, самым реальным образом совершавших оспариваемые движения, и, наконец, что важнее всего, исчезло весьма серьёзное механическое затруднение в признании концепции Коперника, по которой Луна могла обращаться вокруг движущейся Земли, не отставая от неё,—ведь проделывали же нечто совершенно подобное спутники Юпитера.

Те же самые причины, по которым телескопические открытия Галилея приобрели высокую научную ценность, сделали их ненавистными для сторонников старых воззрений, выпустивших против Галилея целый ряд памфлетов, из которых некоторые дошли до нашего времени и представляют своеобразный интерес. Например, некто *Мартин Горький*, молодой немец, занимавшийся под руководством Кеплера, напечатал памфлет, в котором, доказав, к собственному удовольствию, что спутники Юпитера не существуют, он рассуждает о том, что они представляют собой, на что они похожи и почему существуют. Другой писатель с важностью доказывал, что поелику в голове человека находится только семь отверстий—глаза, уши, ноздри и рот,—то по аналогии должно существовать лишь семь планет (считая Солнце и Луну), отнюдь не больше. Вскоре, однако, и другие лица подтвердили открытия Галилея, и противники его ударились в другую крайность—стали утверждать, что у Юпитера гораздо больше

спутников. Однако, все эти наблюдения оказались вымышленными, и до конца XIX столетия (гл. XIII, § 295) известны были только четыре спутника Юпитера, открытые Галилеем¹⁾.

122. Благодаря изданию *Вестника*, составившего Галилею лестную репутацию, ему удалось привести к желанному результату сношения, которые он вёл некоторое время с тосканским двором. Хотя венецианцы относились к нему хорошо, однако он начинал тяготиться своими обязанностями, так как ему хотелось посвящать больше времени исследованиям и научной литературе. От республики он вряд ли мог ожидать такой должности, какая ему была нужна, и потому он принял летом 1610 г. приглашение занять должность «первого философа и математика» при великом герцоге Тосканском; с этой должностью соединялся хороший оклад и никаких определённых обязанностей.

123. Незадолго до отъезда из Падуи Галилей наблюдал в свой телескоп Сатурна, и ему показалось, что эта планета состоит как бы из трёх частей, как это изображено на первом рисунке рю. 65 (гл. VIII, § 154). В следующие наблюдения он видел только центральное тело, и внешний вид Сатурна долго озадачивал астрономов, пока загадка не была решена Гюйгенсом в 1655 г. (гл. VIII, § 154).

Во Флоренции первым открытием Галилея (октябрь 1610 г.) было то, что Венера, чрезвычайно изменчивая в блеске для простого глаза, в телескопе представляется в различных фазах подобно Луне. Этим доказано было, что Венера, как и Луна, тело тёмное, заимствующее свой свет от Солнца; таким образом, сходство её с Землёй стало ещё очевиднее.

124. Ряд телескопических открытий завершился открытием тёмных пятен на Солнце. По собственному утверждению Галилея, он впервые заметил их в конце 1610 г.²⁾, но, повидимому, не обратил тогда на них особенного внимания; и хотя он показывал их нескольким друзьям как любопытный объект, однако не делал формального объявления о своём открытии до мая 1612 г., когда это открытие было сделано, независимо от него, *Гарриотом* (§ 118) в Англии, *Иоганном Фабрицием* (1587—1615) в Голландии и *Христофором Шейнером* (1575—1650) в Германии и обнародовано Фабрицием (июнь 1611 г.). Солнечные пятна наблюдались уже раньше невооружённым глазом, но их обыкновенно объясняли прохождением Меркурия по диску Солнца. Присутствие на Солнце «позорных» тёмных пятен, «изменчивость» их формы и положения, их внезапное появление и исчезновение — всё это было

¹⁾ 9 сентября 1892 г. Барнард открыл пятого спутника Юпитера. С тех пор открыто ещё шесть спутников (последние два — в 1938 г.).

²⁾ В письме от 4 мая 1612 г. он говорит, что видел их восемнадцатью месяцами раньше; в *Разговоре о двух системах* он говорит, что видел их ещё в то время, как читал лекции в Падуе, т. е. не позже сентября 1610 г., так как он в этом месяце переехал во Флоренцию.

весьма не по нутру сторонникам старого взгляда, по которому небесные тела нетленны, совершенны и неизменны. Все наблюдатели отмечали, что пятна перемещаются по диску Солнца от восточного к западному краю (если наблюдать в наших широтах, то для невооружённого глаза слева направо); с первого взгляда это обстоятельство, повидимому, подтверждало мнение, между прочим, защищавшееся Шейнером, что солнечные пятна представляют собой небольшие планеты, обращающиеся вокруг Солнца и кажущиеся тёмными объектами всякий раз, когда им случается проходить между Солнцем и наблюдателем. В трёх письмах к своему другу Вельзеру, богатому аугсбургскому купцу, написанных в 1612 и напечатанных в следующем году¹⁾, Галилей, изложив полностью свои открытия, беспощадно разрушает эти воззрения; он доказывает, что солнечные пятна должны находиться поблизости или на самой поверхности Солнца; что наблюдаемые

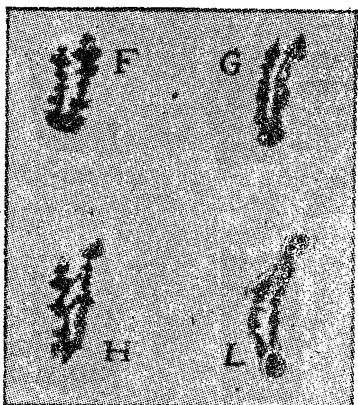


Рис. 53. Солнечные пятна. Из *Macchio Solari*.

движения точно таковы, какими они должны быть, если пятна неразрывно связаны с Солнцем, которое обращается на своей оси приблизительно раз в месяц, и, наконец, не желая вполне высказываться, обращает внимание на некоторые черты сходства их с облаками.

Один из его доводов против взглядов Шейнера так прост и в то же время так убедителен, что мы считаем излишним воспроизвести его для иллюстрации галилеева метода, хотя от самого спора давно уже не осталось и следа.

Галилей заметил, что хотя пятно передвигается с одного края солнечного диска на другой в течение четырнадцати дней—всё равно, проходит ли оно через центр солнечного диска или совершает более короткий путь в некотором расстоянии от центра,—однако скорость движения пятен отнюдь не равномерна, а именно, у солнечного края пятна кажутся движущимися гораздо медленнее, чем у центра. Это Галилей объяснял действием перспективного сокращения; которое в столь сильной степени могло иметь место только в случае, если бы пятна находились на поверхности Солнца.

Пусть на рис. 54 круг изображает сечение Солнца плоскостью, проходящей через наблюдателя, помещённого в O , а точки A, B, C, D, E отделены равными расстояниями на поверхности Солнца

¹⁾ *Historia e Dimostrazioni intorno alle Macchio Solari*.

и представляют собой положение объекта на Солнце через равные промежутки времени при условии, что Солнце вращается равномерным движением; тогда величина перемещения из A в B измеряется для наблюдателя углом AOB , и очевидно, что оно покажется гораздо меньше перемещения из D в E , измеряемого углом DOE ; вследствие этого объект, неразрывно связанный с Солнцем, покажется движущимся из A в B , т. е. у солнечного

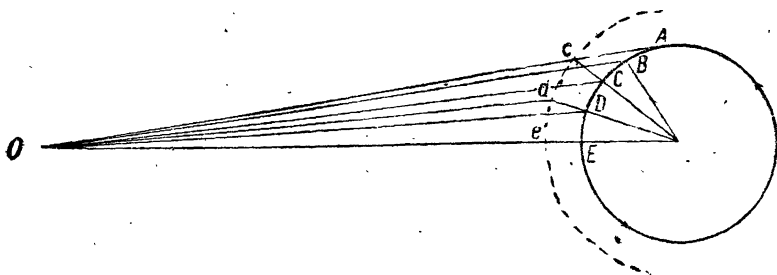


Рис. 54. Доказательство Галилея, что солнечные пятна не планеты.

края, гораздо медленнее, чем из D в E , у центра. С другой стороны, если бы пятно было телом, обращающимся на некотором расстоянии от Солнца, например, по пунктирному кругу cde (причём точки c , d , e разделены одинаковыми промежутками), тогда кажущееся перемещение из c в d , измеряемое углом cOd , будет лишь немногим меньше перемещения из d в e , измеряемого углом dOe . Достаточно было затем простого вычисления (что Галилей и делал неоднократно), чтобы выразить эти результаты в числовой форме и доказать из прямого наблюдения, что расстояние пятен от поверхности Солнца самое ничтожное. Уклониться от такого вывода можно было лишь путём предположения, что движение пятен как самостоятельных тел, вокруг Солнца происходит неправильным образом, и именно так, что они всегда движутся быстрее, находясь между центром Солнца и Землёй, какое бы положение Земля ни занимала в данный момент; предположение это, с одной стороны, не имеет под собой никаких разумных оснований, а, с другой,—находится в полном противоречии с идеей равномерного движения, за которую так крепко держалась средневековая астрономия.

Установленный таким образом факт вращения Солнца вокруг своей оси, очевидно, мог служить веским аргументом в пользу аналогичного вращения Земли, но, насколько нам известно, ни Галилей, ни его современники не заметили этой аналогии. Что касается солнечных пятен, то Галилей сделал ещё одно открытие, именно, что центральная часть пятна темнее краёв; на некоторых его рисунках (рис. 53, стр. 140), как и на большей части современных, весьма ясно заметна разграничительная линия между центральной частью (*тенью*) и менее тёмным краем (*полутенью*), окру-

жающим её. Он заметил также, что пятна часто появляются группами и что отдельные члены группы изменяют своё взаимное расположение, величину и вид в течение периода своего существования; наконец, что пятна чаще всего наблюдаются в двух зонах по обе стороны солнечного экватора, приблизительно соответствующих тропикам на земном шаре, и что за этими пределами они никогда не встречаются.

Такие же наблюдения производились и другими лицами, располагавшими телескопом; между прочим, Шейнеру принадлежит честь определения с гораздо большей точностью, чем это сделал Галилей, положения солнечной оси и экватора, а также периода вращения Солнца.

125. Спор Галилея с Шейнером относительно природы солнечных пятен перешёл в личную ссору из-за прав на открытие их, — ссору, сделавшую Шейнера злейшим врагом Галилея и, быть может, немало способствовавшую развитию враждебного к нему отношения со стороны иезуитов. Несомненное первенство Галилея в области новых научных идей, неуважение, обнаруженное им по отношению к установленным традицией авторитетам, и едкие сарказмы, которыми он осыпал своих оппонентов, создали ему массу врагов в научных и философских кругах, особенно среди многочисленных приверженцев Аристотеля, хотя, как Галилей им неустанно напоминал, их методы мышления и выводы были бы, вероятно, отвергнуты великим греческим философом, найдись он в живых.

В 1611 г. Галилей на короткое время съездил в Рим, отчасти, быть может, потому, что замечал возрастающую враждебность к своим взглядам среди учёных и духовенства; здесь он встречен был с большим почётом и был дружески принят и облакан некоторыми кардиналами и другими высокопоставленными лицами.

В том же году был издан трактат, автор которого доказывал, что существование спутников Юпитера несогласно со священным писанием. В 1612 г. Галилей советовался с кардиналом Конти касательно астрономического авторитета библии и услышал от него мнение, что библия, повидимому, расходится как с аристотелевской доктриной о неизменяемости небес, так и с учением Коперника о движении Земли. Галилеев трактат о плавающих телах, изданный в 1612 г., вызвал новые недоразумения, но, с другой стороны, кадинал Барберини (впоследствии, под именем Урбана VIII, принимавший главное участие в преследовании Галилея) особенно благодарил его за присылку экземпляра книги о солнечных пятнах, в которой Галилей впервые ясно и публично заявил себя приверженцем коперниковой системы. В том же году (1613) математик Кастелли, друг и последователь Галилея, был назначен профессором в Пизе с обязательством не читать лекций о движении Земли. Спустя несколько месяцев Кастелли пустился в рассуждения об отношении библии к астрономии в доме великой

герцогини и в подтверждение своих взглядов сослался на Галилея; это заставило Галилея высказать свои мнения в письме к Кастелли, списки которого стали циркулировать при дворе. Несколько месяцев спустя доминиканский проповедник Каччини ответил на это письмо страстной проповедью на текст: «Мужи галилейские, что стоите, зряще на небо?», а в 1615 г. на Галилея был сделан тайный донос в инквизицию на основании письма к Кастелли и других улик. В том же году Галилей разработал письмо к Кастелли в целый трактат под заглавием: *Письмо к великой герцогине Христине*, циркулировавший в списках и напечатанный не ранее 1636 г. Рассуждения об отношении некоторых мест библии (как, например, чудо Иисуса Навина) к птоломеевой и коперниковой системе теперь потеряли значительную часть своего интереса: любопытно, однако, заметить, что Галилей решает вопрос словами кардинала Барония: «Намерения Святого Духа заключаются в том, чтобы учить нас не тому, как движутся небеса, но тому, как придвинуться к небесам», а нижеприведённое место даёт отличное представление об общем характере его аргументации.

«Мне кажется, что при обсуждении естественных проблем мы не должны отправляться от авторитета текстов священного писания, но от чувственных опытов и необходимых доказательств. Ибо... природа неумолима и неизменяема и никогда не переступает границ предписанных ей законов: она не заботится о том, доступны ли её сокрытые причины и методы творчества человеческому уму или нет; я полагаю, что всё, касающееся действий природы, что может сделаться доступным нашим главам через чувственный опыт или быть уяснено путём необходимых доказательств, не должно возбуждать сомнений, ни тем менее подвергаться осуждению на основании текстов священного писания, которые могут скрывать в своих словах совершенно противоположный смысл».

126. Между тем враги Галилея проявили столь усиленную деятельность, что он обеспокоился и счёл необходимым в конце 1615 г. отправиться в Рим для самозащиты. В начале следующего года собрание теологов, так называемых подготовителей судебных дел инквизиции, созданное для испытания коперниковых доктрин, дало следующий отзыв:

«Учение, что Солнце находится в центре мира и неподвижно, ложно и нелепо, формально еретично и противно священному писанию, а учение, будто Земля не лежит в центре мира и движется, вдобавок обладая суточным движением, ложно и нелепо с философской точки зрения, с богословской же по меньшей мере ошибочно».

В результате такого отзыва решено было сделать Галилею предупреждение, и папа поручил кардиналу Беллярмину «призвать Галилея и увещевать его отказаться от означенного мнения», что кардинал и исполнил¹⁾. Вслед за тем издан был декрет, осуждав-

¹⁾ Единственно важным пунктом в отношениях Галилея к инквизиции, возбуждающим серьёзные сомнения, является вопрос о строгости этого увещевания. Согласно акту от 26 февраля 1616 г., фигурировавшему на процессе Галилея в 1633 г. (§ 132) и являющемуся, повидимому, подложным, Галилею особенно воспретили «поддерживать, учить или защищать каким бы то ни было способом, словесным или письменным», опасную доктрину. Сам Галилей это отрицал.

ший «означенные мнения» и занесший в известный *Указатель запрещённых книг* три сочинения, защищавшие взгляды Коперника, из которых *De Revolutionibus* Коперника и другая книга были только оставлены под сомнением, «до тех пор пока не будут исправлены», третья же окончательно воспрещена. Необходимые поправки к *De Revolutionibus* были официально обнародованы в 1620 г. и заключались в немногих изменениях, имевших назначение представить существенные принципы книги в виде чисто математических гипотез, придуманных ради удобств вычисления. Галилей в общем был, повидимому, весьма доволен исходом процесса, поскольку он его касался и, получив от кардинала Беллярмина удостоверение в том, что он не отказался от своих убеждений и что на него не было наложено никаких взысканий в связи с ними, он прожил в Риме ещё несколько месяцев, желая показать силу своей доброй репутации.

127. Следующие несколько лет Галилей, которому теперь уже перевалило за пятьдесят, сильно страдал от болезней и потому не проявлял особенной деятельности. Он вёл, однако, переписку с испанским двором о методах определения долготы на море путём наблюдения спутников Юпитера. Главная задача при нахождении долготы сводится к определению солнечного времени в данном месте и в каком-нибудь другом, долгота которого известна. Если, например, полдень в Риме наступает часом раньше, чем в Лондоне, то это значит, что Солнце в течение часа переходит с римского меридиана на лондонский и, следовательно, Рим на 15° восточнее Лондона. На море легко определить местное время — стоит только из наблюдений определить момент наибольшей высоты Солнца над горизонтом (т. е. момент наступления полдня), но главное затруднение во времена Галилея и долго спустя (гл. X, § 197, 226) заключалось в невозможности точного определения времени, соответствующего начальному пункту. Надеяться на правильный ход часов во время долгого морского путешествия в ту эпоху не было возможности, и, следовательно, требовались астрономические методы определения времени. Мысль Галилея заключалась в том, что если бы научиться предсказывать движения юпитеровых спутников, в особенности же затмения их, неизменно происходящие при вступлении спутника в тень Юпитера, то можно было бы составить таблицу времён, в которые затмения случаются для данного места, например, Рима; если моряк определит местное время затмения и затем сравнит его с временем, указанным в таблице, то ему легко будет узнать, насколько долгота его местонахождения разнится от долготы Рима. Сомнительно, разумеется, чтобы движения спутников Юпитера в то время могли предсказываться с точностью, достаточной для того, чтобы этот метод мог оказаться практически полезным; во всяком случае, переписка по этому вопросу с испанским двором ни к чему не привела.

В 1618 г. появилось три кометы, по поводу которых Галилей вступил в спор с иезуитом по имени Грасси. Спор получил, по обыкновению, личную окраску и скоро перешёл на общие вопросы философии и астрономии. Конечные выводы Галилея были напечатаны в 1623 г. под заглавием *Il Saggiatore* (Пробирщик); местами он говорит о системе Коперника, хотя и косвенным образом, памятуя эдикт 1616 г. В одном характерном месте Галилей, например, говорит:

«Так как приписываемое Земле движение, которое я, в качестве благочестивого католика, считаю совершенно ложным и не существующим, прекрасно объясняет массу различных явлений, то я полагаю, что, при всей своей ложности, оно до некоторой степени объясняет явление комет».

И далее, говоря о соперничающих системах Коперника и Тихо, он замечает:

«Что касается гипотезы Коперника, то, если мы, католики, не свободны от ошибок и слепота наша не озарена светом Высшего Разума, я не думаю, чтобы такая милость и счастье были нам ниспосланы через аргументы и наблюдения Тихо».

Хотя в научном отношении *Il Saggiatore* стоит ниже многих других сочинений Галилея, оно всё-таки пользовалось репутацией блестящего полемического произведения, и, несмотря на тонко замаскированный коперниканизм, книга настолько понравилась новому папе, Урбану VIII, которому она была посвящена, что он приказывал читать её себе вслух за столом. Книга, однако, дала новое оружие в руки врагов Галилея, и, быть может, с целью ослабить их влияние он отправился в следующем году в Рим засвидетельствовать своё почтение папе и поздравить его с недавним избранием. Визит увенчался почти полным успехом. Урбан несколько раз милостиво принимал его у себя, обещал выхлопотать пенсию для его сына, одарил его и, наконец, отпустил с рекомендательным письмом к новому великому герцогу Тосканскому, по некоторым признакам относившемуся к Галилею менее милостиво, чем его отец. Но всё же папа отказался выслушать просьбу Галилея об отмене декрета 1616 г.

128. В это время Галилей серьёзно взялся за работу над большим астрономическим трактатом: *Разговор о двух главных системах мира, птоломеевой и коперниковой*, задуманным ещё в 1610 г.; в нём он предполагал изложить свои астрономические труды и собрать все возможные доказательства в пользу коперниковой системы. Он избрал форму диалога отчасти из литературных соображений, а ещё больше потому, что она давала ему возможность защищать коперникову систему устами вымышленных лиц, не высказывая своих собственных мнений. Рукопись была почти закончена в 1629 г., а в следующем году Галилей отправился в Рим с целью получить разрешение на издание её. Цензор выёз в книгу некоторые изменения и затем дал желанное разрешение напечатать её в Риме с условием, чтобы книга была представлена

ему до окончательного выпуска издания. Вскоре после возвращения Галилея во Флоренцию началась чума, из-за карантинных неудобств пришлось перенести печатание книги из Рима во Флоренцию. Галилей послал в Рим для одобрения введение и заключение своей книги, где оно было, вероятно, слегка изменено, и получил одобрение всей книги от флорентинского цензора; книга, наконец, стала печататься, и в начале 1632 г. были готовы первые её экземпляры, с римскими и флорентинскими *imprimatur*—«печатать разрешается».

129. Разговор растянут на четыре дня и ведётся тремя собеседниками, из которых Сальвиати—коперниканец, а Симпличио—аристотелианец, Сагредо же с виду занимает нейтральное положение, хотя при всяком удобном случае или сразу соглашается с Сальвиати, или поддаётся на его аргументы и нередко присоединяется к нему, осыпая насмешками доводы неудачника Симпличио. Хотя многие из аргументов и потеряли для нас свой непосредственный интерес и сама книга непомерно растянута, однако её и теперь ещё можно читать, а образчики схоластической мудрости, вложенные в уста Симпличио, и опровержение их остальными собеседниками способны развеселить даже современного читателя.

Многие из аргументов приводились уже в прежних сочинениях Галилея, но в рассматриваемой книге они собраны и расположены в систематическом порядке, благодаря чему приобретают большую силу и связность. Галилей заново рассмотрел аристотелевский догмат о нетленности и неизменяемости небесных тел и показал, что он не только опровергается наблюдениями над Луной, Солнцем, кометами и новыми звёздами, но и сам по себе полон противоречия и тёмных мест. Доводом в пользу движения Земли служит существование спутников Юпитера, несомненные фазы Венеры, предполагаемые фазы Меркурия и изменения в кажущемся диаметре Марса. Галилей особенно подчёркивает большую простоту коперникова объяснения суточного движения небесной сферы и планетных движений, причём подробно иллюстрирует эти преимущества. Он указывает на то, что, по коперниковой гипотезе, все вращения и обращения совершаются в одном направлении (с запада на восток), тогда как гипотеза Птолемея требует, чтобы одни движения совершались в одном направлении, другие—в другом. Кроме того, кажущееся суточное движение звёзд, представляющееся довольно простым при условии, что звёзды плотно прикреплены к материальной сфере, является совершенно в ином свете, если, как соглашается даже Симпличио, подобной сферы не существует и каждая звезда движется сама по себе. В этом случае звезда, находящаяся у полюса, должна двигаться гораздо медленнее звезды, находящейся по близости экватора, так как ей приходится описывать гораздо меньший круг за тот же самый промежуток времени; и далее—аргумент,

чрезвычайно характерный для манеры Галилея выводить заключения из известных фактов—благодаря предварению равноденствий (гл. II, § 42 и гл. IV, § 84) и проистекающей отсюда перемене положения полюса среди звёзд, те звёзды, которые во времена Птолемея описывали маленькие кружки и, значит, двигались медленно, теперь должны описывать большие круги с большей скоростью и наоборот.

Приходится, таким образом, сочинять чрезвычайно сложные махинации движений для объяснения тех фактов, которые Коперник с такой простотой и успехом объяснял вращением Земли и простым перемещением оси её вращения.

Сальвиати обсуждает также затруднение, состоящее в том, что вследствие годового движения Земли должно существовать кажущееся перемещение звёзд и что если принять звёзды на таком расстоянии, что это их перемещение незаметно, то некоторые из них должны быть по меньшей мере такого же диаметра, как орбита, описываемая Землёй вокруг Солнца. Сальвиати указывает, что видимые или угловые величины неподвижных звёзд, определить которые чрезвычайно трудно, в действительности вполне иллюзорны, в значительной степени являясь следствием оптического обмана—иррадиации, в силу которого яркий предмет имеет тенденцию казаться больше¹⁾, и что, следовательно, нет причин предполагать звёзды столь необъятно громадными. Он указывает, что самый надёжный способ обнаружения годового перемещения звёзд, проистекающего от движения Земли, состоит, быть может, в наблюдении относительного перемещения двух звёзд, взятых на небе близко одна возле другой (и потому лежащих приблизительно в одном направлении), из которых одну, если она ярче другой, можно было бы предположить на более близком расстоянии от нас. Если, например, на рис. 55 E и E' отмечают два положения Земли на её орбите, а A и B —две

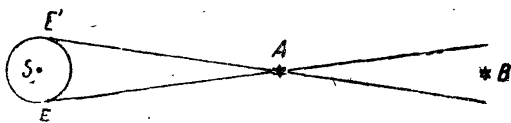


Рис. 55. Дифференциальный метод параллакса.

звезды на различных расстояниях, но почти в одном направлении от Солнца, то наблюдателю в E звезда A , очевидно, покажется влево от B , а шесть месяцев спустя, когда наблюдатель находится в E' , A покажется лежащей вправо от B . Подобное перемещение одной звезды относительно другой, близко возле неё находящейся, гораздо легче будет заметить, нежели

¹⁾ Это иллюстрируется общеизвестным рисунком—изображением двух рядом стоящих кружков одинакового диаметра: белого—на чёрном поле и чёрного—на белом поле. Другой иллюстрацией может послужить чрезмерная толщина накалённого волокна в современной электрической лампочке.

то же перемещение относительно какой-нибудь общей для всех звёзд точки, вроде полюса.

Сальвиати указывает на то, что точных наблюдений в этом роде ещё не производилось и что телескоп мог бы оказаться весьма полезным для этой цели. Действительно, этот *дифференциальный метод параллакса* привёл двумя столетиями позже к первому успешному определению указанного движения (гл. XIII, § 278).

130. Приложение открытых Галилеем законов движения тел к проблеме движения Земли открывает читателю *Разговора* совершенно новое поле. Его великое открытие, пролившее совершенно новый свет на механику солнечной системы, в существенных чертах представляет собой первый из формулированных впоследствии Ньютоном трёх законов движения: *каждое тело неизменно пребывает в первоначальном состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока не будет выведено из этого состояния действием приложенной к нему силы*. Оставляя пока в стороне рассуждения о том, что такое сила, первое определение которой дано было Ньютоном (Галилей же понимал её весьма несовершенно), мы можем истолковать этот закон в том смысле, что телу не в большей мере присуще стремление замедлить своё движение или прекратить его, чем ускорить или возобновить его, и что всякое изменение в скорости или направлении движущегося тела следует объяснять действием на него какого-либо другого тела или во всяком случае какой-нибудь определённой причины. Так, камень, пущенный вдоль по дороге, останавливается благодаря трению, происходящему между ним и почвой; мяч, подброшенный в воздух, поднимается вверх всё медленнее и медленнее и, наконец, падает на Землю по причине притяжения, оказываемого на него Землёй и называемого нами тяжестью.

Так как невозможно вполне изолировать тело от всех остальных, то мы не можем экспериментальным путём создать такой порядок вещей, при котором тело продолжало бы двигаться неопределённо долгое время в одном и том же направлении и с одинаковой скоростью; можно, однако, доказать, что чем больше мы удаляем тело от влияния окружающей его среды, тем меньше изменений претерпевает оно в своём движении. Таким образом, вышеуказанный закон, как и большая часть научных законов, является абстракцией такого порядка вещей, к которому в природе мы наблюдаем лишь приближение. В *Разговоре* Галилей приводит пример с шаром, катящимся по гладкой наклонной плоскости. Если шар толкнуть вверх, то движение его постепенно замедляется; если пустить его вниз, оно постепенно ускоряется. Это справедливо в том случае, если плоскость совершенно гладкая, как хорошо выстроганная доска, и угол наклонения не очень мал. Если мы представим себе, что опыт производится на идеальной плоскости, совершенно гладкой, то результат должен получиться тот же самый, как бы ничтожно ни было наклонение

плоскости. Следовательно, если представить себе плоскость совершенно ровной, не наклонённой ни вверх, ни вниз, то мы должны ожидать, что движение не будет ни замедляться, ни ускоряться, но продолжаться без изменения.

Галилей приводит и другие общеизвестные примеры стремления тела, находящегося в движении, продолжать это движение: всадника, падающего через голову лошади, если она внезапно остановится, или предметы, находящиеся в каюте движущегося корабля и разделяющие его движение; тело падает в такой каюте точно таким же образом, как если бы она находилась в покое; значит, в действительности оно при падении всё время сохраняет то же самое поступательное движение, которое оно разделяло с кораблём и всем, что на нём находится. Вопреки общепринятому мнению, Сальвиати утверждает, что камень, пущенный с вершины корабельной мачты, упадёт у её основания, а не позади; но он не говорит, был ли этот опыт произведён кем-нибудь.

Установивши раз навсегда этот механический принцип, легко разделаться со многими возражениями против предполагаемого движения Земли. Пример камня, пущенного с верхушки башни, который якобы должен при падении отклониться к западу, если бы Земля быстро двигалась с запада на восток, вполне аналогичен примеру с камнем, пущенным с вершины мачты движущегося корабля. Движение к востоку, разделяемое покоящимся на вершине башни камнем с этой башней и с Землёй, не нарушается во время его падения, и это находится в полном согласии с теорией Коперника, что камень должен упасть у подножия башни¹⁾. Подобным же образом то обстоятельство, что облака, вообще атмосфера, летающие в ней птицы и свободные предметы на поверхности Земли не обнаруживают тенденции отставать от неё в её быстром движении к востоку, не оказывающем на них, повидимому, ни малейшего влияния, вполне аналогично с фактом, что мухи, летающие в каюте корабля, и находящиеся в нём свободные предметы не подвергаются влиянию равномерного поступательного движения судна (хотя неправильные движения его и толчки отзываются на них). Таким же образом устраняется и возражение, что пушечное ядро, которым выстрелили на запад, должно упасть дальше, чем ядро, пущенное при таких же условиях на восток; но далее указывается, что благодаря несовершенству артиллерийского искусства эксперимент не может быть произведён с точностью, необходимой для получения решительных результатов.

¹⁾ В действительности, благодаря тому, что верхушка башни описывает большую дугу, чем её основание, камень в начале падения движется к востоку быстрее, чем в конце, и потому падает на Землю несколько восточнее (но не западнее, как это утверждали аристотелианцы) башни. Это перемещение, однако, весьма незначительно; его удалось обнаружить лишь в 1802 г. значительно более деликатными экспериментами, чем те, которые были доступны Галилею.

Самой неудачной частью *Разговора* оказывается беседа четвёртого дня, о приливах, для которых Галилей предлагает объяснение, основанное исключительно на движении Земли, с презрением отвергая объяснение Кеплера и других, оказавшееся вполне правильным,—что они вызываются причинами, исходящими от Луны. Впрочем, едва ли можно удивляться тому, что крайне ограниченные механические и математические познания, находившиеся в распоряжении Галилея, не позволили ему удачно справиться с проблемой, которую даже неизмеримо более могучие методы современной науки решают весьма несовершенно (гл. XI, § 248 и гл. XIII, § 292).

131. Если не по форме, то по духу книга Галилея является могучим, мало того, неопровержимым доказательством истинности коперниковой системы. Галилей пытался оградить себя как формой изложения, так и весьма замечательным предисловием, которое было не только прочитано и одобрено придерживающимися цензурными властями, но, по всей вероятности, даже отчасти и составлено римским цензором и папой. Мы в нём видим старательно и тонко замаскированную иронию, и оно является любопытным свидетельством ума и сообразительности папы и цензора, которые одобрили книгу, приняв его содержание всерьёз.

«Благоразумный читатель! Несколько лет тому назад в Риме был выпущен спасительный эдикт, ради предотвращения опасных соблазнов нашего века наложивший справедливый запрет на пифагорейское мнение о движении Земли. Некоторые безрассудно утверждали, что декрет явился результатом не трезвого исследования, но недостойной злобы; поговаривали даже, что виновником его, как совершенно невежественным в астрономических вопросах, не следовало бы своими поспешными запрещениями обрезать крылья мыслящих умов. Усердие не позволяет мне молчать, когда я слышу столь неосновательные жалобы. Будучи вполне осведомлён насчёт этого благоразумного распоряжения, я счёл уместным открыто выступить на общественной арене, в качестве свидетеля чистой истины. Я находился в это время в Риме, где удостоился не только аудиенции, но и одобрения именитейших прелатов тогдашнего двора; самый декрет издан был не раньше, чем мне дано было знать о нём. Вот почему я намерен в данном случае показать иноземным народам, что об этом известно было Римскому двору до запрещения и что из нашей страны исходят не только душеспасительные доктрины, но и удивительные открытия для услаждения разума... Надеюсь, из вышеизложенных доводов мир убедится, что, если другие нации и больше нас плавали по морю, мы не меньше их успели в науках, и что наше возвращение к утверждению неподвижности Земли и принятию противоположного мнения за математический каприз проистекает не из невнимания к мнениям других, но из руководившего нами благочестия религиозности и сознания божественного всемогущества и слабости человеческого разума».

132. Разумеется, многочисленные враги Галилея не дались обман и очень скоро догадались, в чём дело; небывалый успех книги усилил только их раздражение; им удалось убедить папу, что в лице Симплицио, игравшего самую жалкую роль в *Разговоре*,

изображена его святейшая особа, и его самолюбие было жестоко уязвлено; скоро стало очевидно, что издание книги нелегко сойдёт с рук Галилею. В июне 1632 г. назначена была специальная комиссия для расследования дела, а два месяца спустя запрещён был дальнейший выпуск экземпляров; в сентябре уже вышел папский эдикт, которым Галилей призывался в Рим на суд инквизиции. Он, видимо, испугался этого приглашения и пытался уклониться от явки, прося заступничества у Тосканского двора и ссылаясь на свой преклонный возраст и немощи; однако, после значительного промедления, когда папа распорядился привезти его в случае надобности силой и в оковах, он должен был покориться и отправиться в Рим в начале 1633 г.

На первом допросе перед инквизицией, в ответ на обвинение в нарушении декрета 1616 г. (§ 126), он объяснил, что не понял, что декрет или увещания, которым он подвергался, запрещали ему учить о коперниковой системе, как о чистой гипотезе, и что иного смысла он этой доктрине не придавал. Между первым и вторым допросом комиссия, занимавшаяся рассмотрением галилеевой книги, доложила, что в ней ясно защищаются и поддерживаются пагубные доктрины, и Галилей, которому генеральный комиссар инквизиции посоветовал частным образом вести себя смиреннее и покорнее, на следующем допросе сознался, что, перечитывая свою книгу, он увидел в некоторых местах её более строгие доказательства коперниковой доктрины, чем ему казалось сначала. Угнетённое состояние духа, до которого он дошёл в это время, ясно доказывается его предложением написать дополнение к *Разговору*, в котором были бы разбиты по мере возможности его собственные доводы в пользу Коперника. На последнем допросе, 21 июня, ему грозили пыткой¹⁾, а на следующий день был объявлен приговор. Его обвинили в том, что он «верил и поддерживал доктрины—ложные и противные святому и божественному писанию,—будто Солнце находится в центре мира, а не движется от востока к западу, а Земля будто движется, а не покоится в центре мира; также в том, что он считал вероятным мнение, по декрету объявленное противным священному писанию». В наказание ему предписали «отречься, проклясть и возненавидеть вышесказанные заблуждения»; отречение он должен был произвести на коленях; затем его присудили к «формальному заключению при святой инквизиции» и к еженедельному чтению семи покаянных псалмов в течение трёх лет. На следующий день папа заменил ему тюремное заключение ссылкой в деревенскую виллу великого герцога, расположенную недалеко от Рима; 24 июня Галилей отправился туда. В ответ на просьбу о позволении вер-

¹⁾ Официальное выражение: Et ei dicto quod dicat veritatem, alias deve-nietur ad torturam, т. е. «И ему было приказано, чтобы сказал истину, иначе он будет подвергнут пытке».

нуться во Флоренцию он получил сперва разрешение переехать в Сиену, а в конце ему позволили поселиться в своей вилле в Арчетри, поблизости Флоренции, под условием не выезжать из неё без позволения; между тем, за всеми сношениями его с учёными и приятелями учреждён был строгий надзор.

При оценке поведения Галилея во время его процесса следует помнить о той жестокости, с которой расправлялась римская инквизиция со всеми, кто так или иначе колебал авторитет католической церкви. Хотя с Галилеем во время процесса обращались сравнительно мягко, ему дали ясно понять, что, если он откажется от публичного отречения, ему не миновать гибели. Ведь всего лишь за 30 с небольшим лет до этого (в 1600 г.) в Риме был сожжён инквизицией знаменитый философ Джордано Бруно, отказавшийся отречься от своего учения о бесконечной вселенной и о множественности населённых миров. Нет сомнения, что несмотря на совершенно исключительные научные заслуги Галилея ему угрожала подобная же участь. Помимо этого не следует забывать о преклонном возрасте Галилея и слабом состоянии его здоровья. То и другое несомненно способствовало подрыву его стойкости и мужества.

Копии с приговора Галилея и его отречения немедленно разосланы были по Италии и во все римско-католические центры; выпущен был декрет Конгрегации Индекса, которым *Разговор* присоединялся к трём коперниковым книгам, осуждённым в 1616 г., и к кеплерову *Сокращению коперниковой астрономии* (гл. VII, § 145), которое внесено было в *Индекс* недолго спустя. Любопытно, что эти пять книг попали ещё в издание *Указателя запрещённых книг*, вышедшее в 1819 г. (с дополнениями, выпущенными в 1821 г.), но уже не встречаются в следующем издании 1835 г.

133. Остаток жизни Галилея можно описать очень кратко. За исключением нескольких месяцев, проведённых им «с дозволения начальства» во Флоренции, где он лечился, он непрерывно жил в Арчетри под строгим присмотром агентов инквизиции; он терпел чрезвычайные стеснения в сношениях со своими друзьями, ему мешали вести свои занятия в том направлении, в котором ему хотелось. К тому же он недомогал и испытывал домашние огорчения; в 1634 г. он потерял горячо любимую дочь, инокиню соседнего монастыря. При всём том дух его не был надломлен, и он продолжал некоторые важные труды, начатые в молодости. Он продолжал изучать свои любимые медичейские планеты и разрабатывать метод нахождения долготы на море, основанный на их движениях (§ 127); по этому поводу он переписывался с голландским правительством. Он сделал ещё одно открытие относительно Луны, о котором стоит сказать несколько слов.

Искони было известно, что при обращении Луны вокруг Земли мы наблюдаем одни и те же детали в одном и том же положении на лунном диске, другими словами, что Луна всегда обращает

к Земле одну и ту же сторону. Галилей пожелал исследовать, действительно ли это так, или же вид лунного диска как-нибудь изменяется. Он думал, что если линия, соединяющая центры Луны и Земли, всегда проходит (что представлялось весьма вероятным) через одну и ту же точку лунной поверхности, то тем не менее перемена места наблюдателя на Земле даст ему возможность временами наблюдать часть скрытого полушария Луны. Простейшее из таких перемещений даётся суточным движением Земли. Допустим, для простоты, что наблюдатель находится на земном экваторе, в плоскости которого находится также центр Луны. Пусть больший круг на рис. 56 изображает земной экватор, а меньший—сечение Луны плоскостью экватора. За 12-часовой

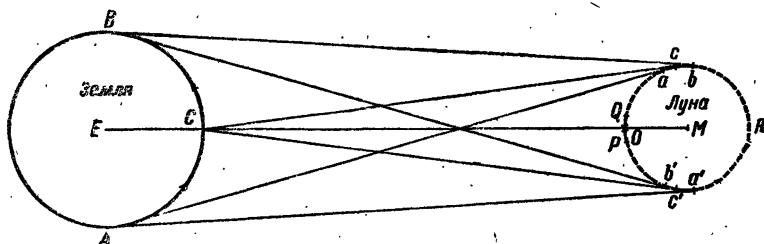


Рис. 56. Суточная либрация Луны.

промежуток вращение Земли переносит наблюдателя из A , где он видит восход Луны, в B , где он наблюдает её закат. Когда он находится в C , на линии, соединяющей центры Земли и Луны, то точка O приходится на центр лунного диска, и тогда часть sOc' для него видима, часть sRc' невидима. Когда же он находится в A , то в центре приходится точка P , справа от O , и он видит тогда часть aPa' , т. е. видит $c'a'$ и не видит ca . Точно так же, находясь в B , он видит часть cb и не видит $b'c'$, причём точка Q приходится в центре диска. Таким образом, в течение суток часть aOb' (отмеченная пунктиром) постоянно видима наблюдателю, а bRa' (также отмеченная пунктиром) постоянно скрыта от него, части же acb и $a'c'b'$ попеременно появляются и исчезают. Другими словами, когда Луна восходит, то мы видим небольшую часть за верхним краем её диска; когда же она заходит, мы наблюдаем небольшую часть обращённого от Земли полушария за противоположным краем, который в это время станет верхним. Это объяснение приложимо и в том случае, когда наблюдатель находится не на экваторе (для этого требуется только несколько более сложное геометрическое построение). Подобным же образом, при переходе Луны во время её месячного движения к северу от экватора и обратно мы наблюдаем несколько больше или меньше южной или северной половины её. Этот ряд перемен—простейший из нескольких такого же характера, известный теперь под на-

званием *либраций* луны,—казался Галилею весьма вероятным; он предпринял проверку путём наблюдения некоторых деталей вблизи лунного края и сразу же открыл, что расстояние их от края изменяется, что вполне согласовалось с его теоретическими выкладками. Более точному исследованию помешало ослабление зрения Галилея, перешедшее (в конце 1636 г.) в полную слепоту.

Наиболее важным делом этих лет явилось окончание большой книги, в которой он собрал и дополнил все свои открытия в механике; она называлась *«Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению»*. Она была написана в форме разговора между теми же тремя собеседниками, которые фигурировали в *Разговоре о системах*, но в литературном отношении далеко уступала первой книге. Мы не станем касаться значительной части книги, трактующей об условиях, при которых тела удерживаются в покое действием приложенных к ним сил (статика); точно так же мы оставим в стороне рассмотренные в ней проблемы относительно сопротивления тел при ломании или сгибании, хотя в этой области Галилей открыл новое поле исследования. Гораздо больше важности с точки зрения астрономической и, вероятно, принципиальной представляет для нас то, что он называет наукой о местном движении¹⁾, трактующей о движении тел. На основании своих первых опытов (§ 116) он строит теорию падающих тел, в которой впервые встречается плодотворная идея о *равномерно ускоренном движении*, т. е. таком движении, при котором тело получает через равные промежутки времени равные приращения скорости. Он показывает, что движение падающего тела—насколько ему не препятствует воздух—носит именно такой характер и что скорость этого движения, как было уже упомянуто, одинакова для всех тел, хотя числовая его оценка не совсем точна. Из этого основного закона он получает целый ряд математических выводов, связывающих воедино пройденное пространство, скорость и время падения, всё равно, будет ли тело падать свободно или катиться по наклонной плоскости. Он излагает совершенно правильно элементарную теорию метания снарядов, в которой полнее формулирует закон инерции (§ 130); хотя определение Галилея всё же много уступает обобщению Ньютона:

Пусть мы метнули или бросили тело по горизонтальной плоскости, устранив все препятствия. Из вышесказанного ясно, что его движение будет продолжаться равномерно и непрерывно по означенной плоскости, если она простирается неопределённо далеко.

Повидимому, Галилей понимал, что тело может одновременно обладать движениями в двух различных направлениях, из которых каждое можно рассматривать независимо от другого; например, если выстрелить ядром из пушки в горизонтальном направ-

¹⁾ Соответствует некоторым отделам современной кинематики и динамики.

влении, то движение его вниз, обусловливаемое весом, совершенно не зависит от горизонтального его перемещения, и потому оно достигает Земли за такой же точно промежуток времени, в течение которого просто упало бы на земную поверхность с высоты, на которой был произведён выстрел; но Галилей не даёт общей формулировки этого принципа, впоследствии выраженного Ньютоном в его втором законе движения.

Трактат о *Двух новых науках* окончен был в 1636 г., но так как в Италии Галилею запрещено было печатать книги, то он был издан с небольшим опозданием в Лейдене в 1638 г. В том же году зрение Галилея, поправившееся было после первого приступа болезни, пропало совершенно, а спустя четыре года (8 января 1642 г.) он скончался.

134. О главных научных открытиях Галилея мы уже говорили. Телескопические открытия, на которых главным образом была основана его популярность, обратили на себя, быть может, более внимания, чем следовало; многие из них почти одновременно с Галилеем были сделаны другими, а остальные, являясь неизбежным следствием изобретения телескопа, не могли заставить долго себя ждать. Но остроумие, с которым Галилей воспользовался ими как аргументами в пользу коперниковой системы, громадное значение для последней его динамических открытий, ясность и блеск диалектики, с которой он развивал доводы в пользу своих взглядов и опровергал воззрения своих противников,— всё это в связи с преследованиями, которым он подвергался, бесповоротно решило спор в пользу системы Коперника. Хотя в астрономических руководствах помещались рядом очерки птоломеевой и коперниковой систем, причём авторы, если были добрыми католиками, обыкновенно высказывались, в более или менее общих выражениях, в пользу первой, однако старая астрономия потеряла свою жизнеспособность; новые успехи в области астрономических теорий безусловно говорили в пользу Коперника, и в обширной научной переписке Ньютона и его современников истинность коперниковой системы почти никогда не бывала предметом обсуждения.

Открытия Галилея в динамике, только отчасти касающиеся астрономии, во многих отношениях являются самым замечательным его вкладом в науку. В то время как астрономию он строил на основаниях, заложенных предыдущими поколениями, в динамике приходилось не развивать или совершенствовать существующую науку, но создавать новую. От предшественников он получил в наследство лишь ошибочные традиции и смутные идеи; отбросив их, он должен был разработать ясные основные понятия, придумать опыты и произвести наблюдения, истолковать результаты своих опытов и вывести математические следствия из полученных простейших законов. Если смотреть с точки зрения современной науки, то полученные им положительные результаты

мы не назовём многочисленными, но их оказалось достаточно для утверждения прочного базиса, на котором последующие учёные воздвигли свою надстройку.

Реформу в методах научного исследования, которая совершалась в течение семнадцатого века и которой следует приписать быстрый прогресс естественных наук, с этого времени обыкновенно связывают с именем англичанина Фрэнсиса Бэкона (1561—1627). Достоинства бэконовой теории научного исследования оцениваются критиками весьма различно, но нет никакого сомнения в том, что попытки Бэкона приложить свою теорию к некоторым частным случаям увенчались полной неудачей, и можно с полным правом поставить вопрос, не представляют ли научные методы, о которых Галилей неоднократно, хотя и мимоходом, упоминает и которые он блестяще применял на деле, значительной части того истинно ценного, что заключается в философии науки Бэкона, причём у Галилея ещё отсутствовали бэконовские ошибки. Мы уже говорили о частых протестах Галилея против общепринятого метода исследования научных вопросов путём толкования текстов из Аристотеля, Птолемея или других писателей, равно как и о постоянных его указаниях на необходимость обращаться непосредственно к наблюдению фактов. Соглашаясь с Бэконом в этих существенных пунктах, он, однако, отличался от него тем, что, наряду с получением новых результатов из ранее установленных положений путём математических или иных процессов точного суждения, он считал также важным сравнивать эти выводы с новыми опытными данными для проверки ранее принятых гипотез.

Этот метод доказательства, лежащий в основе почти всех важнейших научных исследований, едва ли не лучше всего описан словами Галилея в приложении к частному случаю.

«Примем это пока за постулат, в справедливости которого мы убедимся впоследствии, когда увидим, что другие заключения, построенные на этой гипотезе, самым точным образом согласуются с опытом»¹⁾.

¹⁾ Из *Двух новых наук*.

ГЛАВА VII

КЕПЛЕР

«Его знаменитые законы явились плодом размышлений целой жизни,—размышлений, по большей части беспочвенных и безуспешных... Но имени Кеплера суждено было бессмертие, в награду за безмерное терпение, с которым он проверял свои гипотезы через сравнение с наблюдениями, за чистосердечие, с которым он признавал ошибку за ошибкой, и за настойчивость и изобретательность, с которыми он возобновлял свои попытки разгадать тайну природы».

Д ж е в о н с

135. Иоганн Кеплер родился в 1571 г., семью годами позже Галилея, в Вейле, в Вюртемберге; родители его жили в чрезвычайной бедности, хотя отец претендовал на дворянское происхождение. В Вейле преобладали католики, но Кеплеры были протестанты, и это обстоятельство неоднократно становилось Кеплеру поперёк дороги в различные эпохи его жизни; впрочем, отец его никак не мог назваться ревностным протестантом, ибо поступил в армию знаменитого герцога Альбы, посланного в Нидерланды усмирять восстание, вызванное насилиями испанцев.

Раннее детство Кеплера протекло почти в непрерывных болезнях¹⁾; принимая во внимание его физическую слабость и проблемски громадных умственных способностей, родители прочили его в духовные. Проучившись с большими пропусками—частью по нездоровью, частью из-за домашних обязанностей—в нескольких элементарных училищах, он послан был в 1584 г. на общественный счёт в монастырскую школу в Адельберг, а два года спустя в монастырскую же школу высшего разряда (нечто вроде гимназии) в Маульбронн; школа эта давала право поступления в Тюбингенский университет—в то время крупный центр протестантского богословия.

¹⁾ Кеплер родился семимесячным и всю жизнь отличался хилым сложением; вдобавок у него очень рано испортилось зрение. Вряд ли он мог заниматься чем-нибудь в раннем детстве: до двенадцати лет ему приходилось исполнять домашние работы у своего отца, где он не мог почерпнуть никаких познаний.

В 1588 г. Кеплер получил степень бакалавра словесных наук, а в следующем году поступил на философский факультет Тюбингенского университета.

Здесь он подпал под влияние Мэстлина, профессора математики, частным образом преподававшего ему принципы коперниковой системы, хотя официальные лекции его имели предметом традиционную астрономию. В 1591 г. Кеплер получил степень магистра, вторым из четырнадцати кандидатов.

136. В 1594 г. протестантские провинции Штирии обратились в Тюбингенский университет с просьбой указать лектора по математике (с астрономией) для высшей школы в Граце; университет предложил это место Кеплеру. В Граце спрос на высшую математику был, повидимому, не особенно велик; в первый год математические лекции Кеплера привлекли весьма немногих слушателей, во второй год—совсем никого; чтобы не лишиться доходов, ему пришлось преподавать элементы других предметов. Кроме того, на обязанности его лежало редактирование календаря, от которого ожидалось не только обыкновенные астрономические сведения, вроде тех, какие мы привыкли встречать в современных календарях, но и астрологические сообщения более или менее интересного характера, как, например, предсказания погоды и замечательных событий, указания счастливых и несчастливых дней и т. п. Первый календарь Кеплера, на 1595 год, содержал в себе несколько удачных предсказаний погоды, благодаря чему он приобрёл репутацию прорицателя и астролога, сохранявшуюся за ним всю жизнь.

Между тем, официальные обязанности, очевидно, оставляли Кеплеру массу досуга, который он с обычной энергией употреблял на возможно более тщательное ознакомление с астрономией и на размышления об этом предмете.

По собственным его словам, «были три вещи—число, величина и движения небесных тел, относительно которых он с особенным рвением доискивался, почему они таковы, а не иные». Многолетние упорные размышления на эту тему привели его, наконец, к результату, которым он остался чрезвычайно доволен, именно, к числовой зависимости, связывающей расстояния некоторых планет от Солнца с известными геометрическими фигурами, так называемыми правильными телами (из числа которых наиболее известным является куб); означенная числовая зависимость не очень точна и вообще не имеет решительно никакого научного значения¹⁾. Это открытие, с подробным описанием попыток, при-

¹⁾ Кеплер брал правильные тела в таком порядке: куб, тетраэдр, додекаэдр, икосаэдр, октаэдр. Величина этих тел была выбрана так, что сферы, описанные около них, являлись в то же время вписанными сферами для предыдущих тел этого ряда. Затем Кеплер показал, что радиусы полученных таким образом шести сфер пропорциональны расстояниям от Солнца шести планет: Сатурна, Юпитера, Марса, Земли, Венеры и Меркурия.



КЕПЛЕР.

ведших к нему, как и массы других попыток, ровно ни к чему не приведших, обнародовано было в 1596 г. в книге, часть названия которой можно перевести следующим образом: *Введение в трактат о мире, содержащее в себе тайну вселенной*; обыкновенно её называют *Mysterium Cosmographicum*. Содержание этой книги представляло, по всей вероятности, больше интереса и ценности для современников Кеплера, чем для нас, но даже и для тех, кто меньше всего расположен был придавать какое-нибудь значение его выводам, книга являлась доказательством громадных астрономических познаний и необычайного остроумия автора; и Тихо Браге, и Галилей, получившие по экземпляру книги, признали в авторе восходящее светило астрономии.

137. В 1597 г. Кеплер женился. В следующем году религиозные волнения, продолжавшиеся уже несколько лет, особенно усилились по милости эрцгерцога Фердинанда Австрийского (впоследствии императора Фердинанда II), который, по возвращении из паломничества в Лоретто, возбудил в своих владениях ряд жестоких преследований против протестантов; одной из мер его в этом направлении было изгнание из Штирии всех протестантских священников и преподавателей (1598). Кеплер бежал в Венгрию, но через несколько недель вернулся, по особому разрешению эрцгерцога, последовавшего, очевидно, по совету иезуитов, надеявшихся обратить астронома в свою религию. Так как преследования значительно сократили число слушателей Кеплера, то ему очень трудно было добиться аккуратной уплаты жалованья; а усилившееся влияние католиков делало его положение всё более и более непрочным. Предложение Тихо переехать к нему оказалось как нельзя более кстати, и в 1600 г., как мы уже говорили (гл. V, § 108), Кеплер навестил его в Бенатеке и в Праге. Осенью он вернулся в Грац в нерешительности относительно того, согласиться ли на предложение Тихо; но когда он потерял место в Граце из-за своих протестантских убеждений, то уехал в Прагу в конце того же года.

138. Вскоре после смерти Тихо Кеплер назначен был ему в преемники в звании придворного математика императора Рудольфа (1602), но только на половинном окладе; впрочем, даже и это жалованье уплачивалось ему чрезвычайно неаккуратно; всю жизнь он непрерывно жалуется на отчаянные материальные затруднения, преследовавшие его в последние годы и в Граце. Инструменты Тихо не достались Кеплеру, но так как у него было мало расположения и искусства к наблюдениям, то, надо думать, наука от этого немного потеряла. К счастью, после некоторых препирательств с наследниками ему удалось завладеть большей частью драгоценных наблюдений Тихо; в течение следующих 25 лет своей жизни он занимался главным образом разработкой этих наблюдений и построением на их основе усовершенствованной теории солнечной системы. Прежде, однако, чем ему удалось

добиться существенных результатов в этом направлении, он успел издать несколько трудов меньшей важности, например, две брошюры о новой звезде, появившейся в 1604 г., и трактат *Дополнения к Вителлону*¹⁾ о приложении оптики к астрономии (напечатанный в 1604 г.), самой интересной и драгоценной частью которого является значительное улучшение теории астрономической рефракции (гл. II, § 46 и гл. V, § 110). В позднейшем трактате (*Диоптрика*, 1611 г.) было помещено описание устройства телескопа при помощи двух двояковыпуклых чечевиц; эта конструкция телескопа пользуется большим распространением в наше время и являлась крупным усовершенствованием сравнительно с галилеевым инструментом (гл. VI, § 118), одна из чечевиц которого была двояковогнута; но, повидимому, Кеплер не обладал механическим искусством, необходимым для сооружения такого телескопа, и не мог найти сведущего мастера; весьма вероятно, что противник Галилея Шейнер (гл. VI, §§ 124, 125) первый употребил в дело (около 1613 г.) такого рода инструмент.

139. Мы уже упоминали (гл. V, § 108), что когда Тихо распределял между своими помощниками занятия на обсерватории, то Кеплеру поручено было изучение планеты Марса, вероятно, потому, что это представляло больше трудностей, чем задачи, поставленные другим. Уже со времён Коперника известно было, что планеты, включая Землю, обращаются вокруг Солнца по орбитам, во всяком случае не очень отличающимся от круга, и что отклонения от равномерного кругового движения могли быть грубо представлены системой эксцентриков и эпициклов. Эти отклонения были, однако, весьма различны для различных планет, например, очень малы для Венеры, сравнительно велики для Марса и ещё больше для Меркурия. *Прусские таблицы*, вычисленные Рейнгольдом по Копернику (гл. V, § 94), вскоре стали предсказывать небесные движения с большими погрешностями, в 4° или 5°, обнаруженными Тихо и Кеплером; таким образом, принципы, на которых были построены эти таблицы, оказывались, повидимому, ложными.

Вскоре стало ясно, что правильнее всего было бы решать задачу путём изучения движений той планеты, которая обнаруживала наибольшие отклонения от кругового движения. Для Меркурия имелось очень мало сносных наблюдений, тогда как для Марса у Тихо оказалась масса систематических наблюдений. Поручив Кеплеру изучение этой планеты, Тихо обнаружил удивительную проницательность, которую Кеплер и оправдал со всем пылом своего неутомимого усердия. Так как особая система эпициклов, придуманная Коперником (гл. IV, § 87), оказалась непригодной, то Кеплер принялся изобретать другие геометрические схемы, результаты которых можно было бы сравнивать с наблюдениями.

¹⁾ *Ad Vitellionem Paralipomena quibus Astronomiae pars optica traditur.*

Так как положение Марса на небе есть комбинация результатов движений Марса и Земли по своим орбитам, причём неправильности обеих орбит, повидимому, безнадежно перепутывались, то ясно, какое громадное упрощение внёс Кеплер, когда ему удалось при помощи остроумной комбинации своевременно сделанных наблюдений отделить неправильности, порождаемые движением Земли, от неправильностей движения самого Марса и, таким образом, получить возможность сосредоточить своё внимание исключительно на Марсе. Плодовитое воображение Кеплера создавало гипотезу за гипотезой, комбинацию за комбинацией эксцентров, эпициклов и эквантов; он сравнивал результаты каждой из них с наблюдениями; однажды ему удалось притти к геометрической схеме, расходившейся с наблюдениями не больше, чем на $8'$). Человек менее честного ума или менее убеждённый в необходимости подчинить теорию фактам, когда между теорией и фактами обнаруживалось разногласие, быть может, удовольствовался бы этой степенью точности или счёл бы непослушные наблюдения Тихо ошибочными. Кеплер думал иначе:

«Так как божественная благодать даровала нам в лице Тихо Браге добросовестного наблюдателя, из наблюдений которого явствует ошибка в $8'$, сделанная в этом вычислении..., то мы по всей справедливости должны с благодарностью принять и воспользоваться этим даром Божиим. Ибо если бы я желал пренебречь $8'$ долготы, то давно бы уже в достаточной мере исправил гипотезу, раскрытую в главе XVI. Но так как пренебречь невозможно было, то эти самые $8'$ повели к полному преобразованию астрономии и сделались предметом большей части этого труда»²⁾.

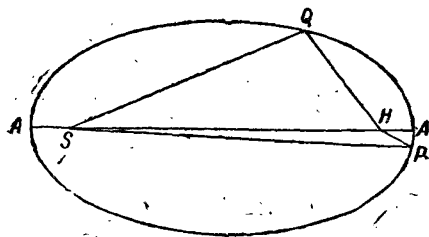


Рис. 57. Эллипс.

140. Он снова принялся за работу и, перепробовав другие комбинации кругов, решил, что орбита Марса должна быть овалом. Сперва он остановился на яйцеобразном овале, с одного

конца более широком, чем с другого, но вскоре оставил эту мысль. Наконец, он попробовал взять эллипс³⁾, простейшую

¹⁾ Две звезды на расстоянии $4'$ едва представляются раздельно невооружённому глазу человека с средней силой зрения.

²⁾ *Комментарии о движении Марса*, часть II, конец XIX главы.

³⁾ Эллипс представляет собой одну из нескольких кривых, называемых коническими сечениями, т. е. таких, которые получаются от сечения конуса плоскостью; это замкнутая кривая, сумма расстояний каждой точки которой от двух постоянных точек внутри её, называемых *фокусами*, есть величина постоянная.

Если на рис. 57 S и H обозначают фокусы, а P и Q—две любые точки кривой, то сумма расстояний HP, SP равна сумме расстояний SQ и HQ и, кроме того, длине большой оси эллипса AA'. Отношение расстояния SH к AA' называется *эксцентриситетом* и служит удобной мерой вытянутости эллипса.

овальную кривую, и к неопишуемому своему удовольствию нашёл, что он вполне удовлетворит условиям своей задачи, если поместит Солнце в одном из фокусов эллипса, описываемого Марсом.

Далее необходимо было формулировать закон изменения скорости движения планеты в различных частях её орбиты. Здесь Кеплер также перепробовал массу гипотез, причём потерял немало времени из-за математических трудностей задачи, но, к счастью, в результате сомнительной процедуры уравнивания ошибок открыл простой закон, согласовавшийся с наблюдением. Он нашёл, что планета быстрее движется вблизи Солнца и медленнее — в отдалении от него таким образом, что площади, описываемые линией, соединяющей Солнце с Марсом, всегда пропорциональны временам. Например, на рис. 58¹⁾ движение Марса всего быстрее в точке *A*, ближайшей к фокусу *S*, где находится Солнце, и наименее быстро в *A'*. Белые и заштрихованные части эллипса обозначают равные площади, соответствующие движению планеты за равные промежутки времени. Достиг-

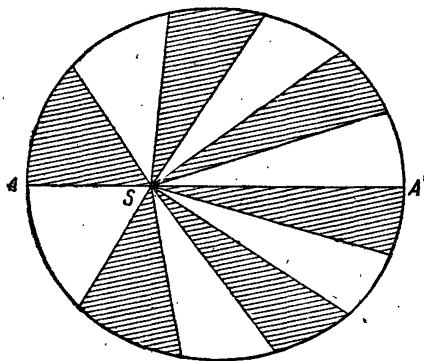


Рис. 58. Второй закон Кеплера.

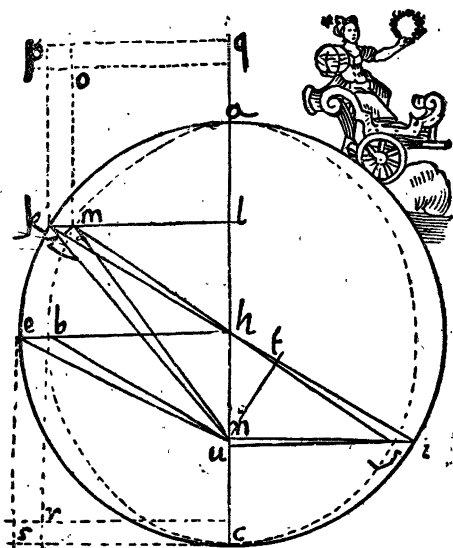


Рис. 59. Диаграмма Кеплера, иллюстрирующая законы планетных движений. Из *Комментарий о движении Марса*.

нув этого результата, Кеплер выразил свой восторг фигурой победы в углу диаграммы (рис. 59), изображающей последнюю стадию его доказательства.

1) Эллипс здесь более растянут, нежели действительная орбита Марса, точное изображение которой глаз не отличил бы от круга. На рисунке эксцентриситет эллипса равен $\frac{1}{3}$, а у орбиты Марса— $\frac{1}{11}$.

141. Таким образом, для Марса найдено было два важных закона, известных под названием двух первых законов Кеплера:

1. *Планета описывает эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.*

2. *Прямая линия, соединяющая планету с Солнцем, описывает равные площади в равные промежутки времени.*

Полная история этого открытия с изложением вышеупомянутых результатов и массой выводов и следствий меньшей важности наряду с бесчисленными отступлениями и причудливыми замечаниями о ходе последования напечатана была в 1609 г. в книге значительного объёма—*Комментарии о движениях Марса*¹⁾.

142. Хотя два вышепоименованные закона планетных движений были вполне установлены только для Марса, Кеплер утверждал, что и орбита Земли должна представлять собой некоторого рода овал, и, очевидно, был убеждён,—это убеждение поддерживалось в нём верой в гармонию природы,—что все планеты подчиняются одинаковым законам. Взгляд этот выражен в посвящении книги императору Рудольфу, заключающем в себе шутовское описание трудов Кеплера в виде войны с мятежным богом брани, Марсом, которого Кеплер в конце концов кладёт связанным к ногам императора в качестве нового верноподданного. Но так как у Марса много родичей в эфирных пространствах—отец Юпитер, дед Сатурн, милая сестра Венера, верный брат Меркурий,—тоскующих по нём, как и он по ним, по причине сходства их привычек, то он умоляет императора как можно скорее выслать экспедицию для полонения их и снабдить Кеплера «военной силой», дабы он мог снарядить приличную армию.

Хотя столь деликатно испрошенное пособие выплачивалось весьма неаккуратно, однако Кеплер постоянно имел в виду «экспедицию»; другими словами, он усердно работал над задачей—распространить эллиптическую теорию на остальные планеты и составить таблицы планетных движений, основанные на наблюдениях Тихо,—задачей, которую он давно уже себе поставил.

143. В 1611 г. покровитель Кеплера, Рудольф, принуждён был отречься от престола в пользу своего брата Матвея, который очень мало интересовался астрономией и даже астрологией. Так как положение Кеплера стало теперь более шатким, чем когда бы то ни было, то он вступил в переговоры с правительством Верхней Австрии, окончившиеся тем, что ему предложено было небольшое жалованье при условии исполнения различных обязанностей

¹⁾ *Astronomia nova aetiológica seu Physica coelestis, tradita commentariis de motibus Stellae Martis. Ex Observationibus G. V. Tychoonis Brahe, t. e. Новая астрономия, причинно обоснованная, или физика неба, изложенная в исследованиях о движениях звезды Марса, по наблюдениям благороднейшего мужа Тихо Браге.*

преподавателя математики в высшей школе в Линце, столичном городе, составления новой карты этой провинции и окончания своих планетных таблиц. Он решил пока остаться при Рудольфе.

В том же году Кеплер лишился жены, давно уже страдавшей от телесного и умственного расстройства.

В следующем году (1612) скончался Рудольф, и Кеплер переехал в Линц, где вступил в отправление своих новых обязанностей, сохранив, однако, за собой звание императорского математика; иногда даже ему удавалось получать часть жалованья, присвоенного этой должности. В 1613 г. он вступил во второй брак после тщательного обсуждения относительных достоинств одиннадцати невест, как видно из характерного письма его к одному из приятелей; заботы о снабжении вином своего нового хозяйства привели его к изданию брошюры, не лишённой математического интереса, трактующей о наилучшем способе измерения ёмкости бочки с изогнутыми боками¹⁾.

144. В 1618—1621 гг. (в некоторых отношениях самые тревожные годы его жизни) он издал три ценных труда—*Сокращение коперниковой астрономии*, *Гармонию мира*²⁾ и трактат о *Кометах*.

Второй и самый важный из них, напечатанный в 1619 г., хотя главная идея его зародилась в уме Кеплера в начале 1618 г., он считал продолжением *Mysterium Cosmographicum* (§ 136). Мистический и склонный к размышлениям склад ума постоянно заставлял Кеплера искать соотношений между различными числовыми величинами, встречающимися в солнечной системе; по счастливому наитию он попытался найти связь между размерами орбит различных планет и временами их обращения вокруг Солнца; после целого ряда неудачных попыток он открыл простое и важное соотношение, известное под именем третьего закона Кеплера:

Квадраты времён обращений двух планет (считая и Землю) около Солнца пропорциональны кубам их средних расстояний от него.

Если, например, мы выразим времена обращения различных планет, приняв за единицу период обращения Земли, т. е. год, и одновременно выразим расстояния планет от Солнца через расстояние Земли от Солнца, то времена обращения планет, взятых в таком порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, приблизительно выразятся числами: 0,24, 0,615, 1, 1,88, 11,86, 29,457, а расстояния их от Солнца—числами 0,387, 0,723, 1, 1,524, 5,203, 9,539. Если мы возьмём квадраты первого ряда чисел (т. е. помножим их самих на себя) и кубы второго ряда

¹⁾ В ней содержатся начатки метода бесконечно малых.

²⁾ *Harmonices Mundi, Libri V.*

(т. е. повторим эти числа три раза множителями), то получим приблизительно такую таблицу:

	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн
Квадрат периода обращения . .	0,058	0,378	1	3,54	140,7	867,7
Куб среднего расстояния	0,058	0,378	1	3,54	140,8	867,9

Мы видим, что два ряда чисел, верхний и нижний, вполне совпадают в пределах данного числа значащих цифр, за исключением двух внешних планет, для которых нижние числа несколько больше верхних. Ньютон впоследствии объяснил это расхождение (гл. IX, § 186), но при том несовершенном знании времён обращения и расстояний, каким обладал Кеплер, вряд ли можно было подметить его, и Кеплер со своей точки зрения был совершенно прав, называя закон точным.

Нужно заметить далее, что закон Кеплера вовсе не требует знания истинных расстояний планет от Солнца, но только относительных, т. е. того, во сколько раз одна планета дальше или ближе к Солнцу, чем другая. Другими словами, важно было построить карту солнечной системы в правильной пропорции, для каковой цели вовсе не нужно было знать её масштаба.

Хотя *Гармония мира* и представляет собой громадную книгу, однако в ней вряд ли найдётся что-нибудь ценное, кроме того, что мы уже сказали. Значительная доля её занята повторениями

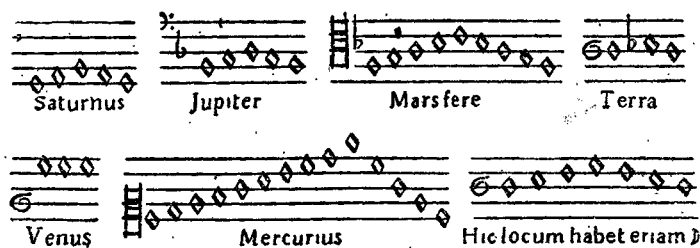


Рис. 60. «Музыка сфер» по Кеплеру. Из *Гармонии мира*.

мыслей, изложенных уже раньше в *Mysterium Cosmographicum*, а почти вся остальная часть наполнена малоценными аналогиями между пропорциями солнечной системы и соотношениями между различными музыкальными гаммами. Кеплер смело воспроизводит «музыку сфер» (рис. 60). В качестве примера его рассуждений на эту тему приведём замечание, взятое из той же части книги:

«Земля поёт ноты MI, FA, MI, откуда можно догадаться, что в нашей юдоли царят MIséria (бедность) и FAmes (голод)».

145. *Сокращение коперниковой астрономии*, изданное по частям в 1618, 1620 и 1621 гг., правда, не содержит в себе каких-либо блестящих открытий, но тем не менее является одной из увлекательнейших книг Кеплера, так как она свободна от странностей, обычно делающих столь утомительным чтение его произведений. Это—довольно сжатое изложение, в форме вопросов и ответов, современной ему астрономии с коперниковской точки зрения, дополненное новейшими открытиями Кеплера и Галилея. Такое руководство отвечало назревшей потребности, и это очень хорошо поняли как друзья, так и враги Кеплера, что доказывается появлением этой книги в *Указателе запрещённых книг* (гл. VI, § 126, 132). В *Сокращении* встречается первое ясное указание на то, что два основных закона планетного движения, установленных для Марса (§ 141), справедливы и по отношению к другим планетам (разумеется, удовлетворительного доказательства не даётся) и что они прилагаются также и к движению Луны вокруг Земли, хотя в этом случае дело усложняется массой неправильностей. Кеплер довольно пространно излагает теорию Луны, подробно рассмотрев и эвекцию (гл. II, § 48), и вариацию (гл. III, § 60, гл. V, § 111), но не касаясь, впрочем, «годового уравнения», которое Тихо признал только в конце своей жизни (гл. V, § 111). Интересно также дальнейшее открытие Кеплера, что его третий закон планетного движения прилагается и к движениям четырёх спутников Юпитера, которые были наблюдаемы Галилеем и Симоном Мариусом (гл. VI, § 118). В *Сокращение* своё Кеплер внёс значительную поправку для общепринятой оценки расстояния Земли от Солнца, зная которое можно было сразу получить расстояния других планет.

Если, как обыкновенно полагали со времени Аристарха и Гиппарха, расстояние Солнца равно 1 200 радиусам Земли, то параллакс его (гл. II, § 43, 49) временами должен доходить до 3', а параллакс Марса, который иногда бывает в $2\frac{1}{2}$ раза ближе к Земле, нежели Солнце, должен быть пропорционально больше. Но Кеплер не мог обнаружить у Марса никакого параллакса и заключил на этом основании, что расстояние Солнца и Марса гораздо больше предполагаемой величины. Не имея точных данных, он получил при помощи собственного воображения и своеобразных идей о гармонии солнечной системы число, приблизительно в три раза превосходившее прежнюю оценку. Он рассуждал, что если Земля представляет собой убежище измеряющих существ, то есть основание ожидать, что размеры солнечной системы находятся в некотором простом соотношении с размерами Земли. Сообразно с этим он считал, что объём Солнца во столько раз больше объёма Земли, во сколько раз его расстояние превосходит земной радиус, и из этого курьёзного допущения вывел

вышесказанное расстояние, более близкое к истине, нежели старая оценка, но всё же составлявшее лишь около одной седьмой правильной величины.

В *Сокращении* прекрасно изложена теория солнечных и лунных затмений, их причин, способов предсказания и т. д. Слабый свет (обыкновенно красноватый), наблюдаемый на диске затмившейся Луны, Кеплер правильно объяснял действием солнечных лучей, преломившихся в земной атмосфере и достигших, таким образом, Луны, которую они не могли бы освещать прямым путём, так как на пути между ними и Луной стоит Земля. Кеплер упоминает также о светлом кольце вокруг Солнца, затмившегося в 1567 г. (по всей вероятности, это было полное, а не кольцеобразное затмение), и приписывает его своеобразной светящейся атмосфере вокруг Солнца, ссылаясь на плутархово описание подобного же явления. Это было, повидимому, первое наблюдение и первое рациональное, хотя, разумеется, несовершенное объяснение замечательной оболочки Солнца, так называемой *короны*, обратившей на себя столь большое внимание во второй половине истекшего столетия (гл. XIII, § 301).

146. Трактат о *Кометах* (1619) касается кометы 1607 года (впоследствии прославившейся под названием кометы Галлея, гл. X, § 200) и трёх комет, наблюдавшихся в 1618 г. Следуя Тихо, Кеплер твёрдо держался того взгляда, что кометы — небесные, а не земные тела, и их внезапное появление и исчезновение объяснял предположением, что они движутся по прямым линиям и потому, пройдя мимо Земли, снова погружаются в бесконечное пространство; впрочем он, повидимому, не делал серьёзных попыток подтвердить эту теорию сравнением с наблюдениями; очевидно, он был того мнения, что путь тела, которому не суждено вновь появиться, не может служить объектом серьёзного изучения. Он подтвердил наблюдение Фракастора и Апиана (гл. III, § 69), что кометные хвосты всегда обращены в сторону, противоположную Солнцу, и для объяснения предположил, что хвост образован солнечными лучами, пронизывающими тело кометы и уносящими с собой частицу её вещества, — теорию, являющуюся удивительно верным предвосхищением современных теорий кометных хвостов (гл. XIII, § 304), если принять во внимание перемену наших воззрений на природу света.

Для популярности книги необходимо было подробно коснуться «значения» новой кометы и её влияния на человеческие дела, а так как Кеплер писал в начале Тридцатилетней войны (войны и религиозные преследования почти непрерывно свирепствовали в Европе в течение всей его жизни), то ему нетрудно было отыскать чрезвычайные события, случившиеся вскоре после появления данной кометы или незадолго перед тем. Сам Кеплер, очевидно, не придавал большого значения таким совпадениям; он верил, что действительное столкновение с кометным хвостом

может вызвать мор, но помимо этого присоединялся к популярному мнению, что одно из назначений кометы—напоминать нам о бренности человеческого существования. Уверенность в многочисленности комет он выражает следующей любопытной фразой:

«Доводов в пользу годичного движения Земли столько же, сколько в небесах комет».

147. Между тем положение Кеплера в Линце становилось всё более и более невыносимым благодаря усилению политических и религиозных волнений, завершившихся вспыхнувшей в 1618 г. Тридцатилетней войной; несмотря на это, он в 1617 г. отказался от предложенной ему в Болонье кафедры, частью из привязанности к родине, частью из справедливого недоверия к милостям папы. Три года спустя он отверг предложения английского посланника, мечтавшего приобрести в нём украшение для двора Якова I.

В 1619 г. скончался император Матвей: ему наследовал Фердинанд II, ещё эрцгерцогом возбуждавший преследования против грацских протестантов (§ 137) и мало интересовавшийся науками. После некоторого промедления Кеплер был все-таки утверждён в звании придворного математика. В 1620 г. Линц был занят имперскими войсками, а около 1626 г. притеснения протестантов католиками усилились до такой степени, что Кеплер решил уехать, и, отославши семью в Регенсбург, сам отправился в Ульм.

148. В Ульме Кеплер напечатал свою последнюю крупную работу. Больше четверти века он упорно занимался, на основании наблюдений Тихо и собственных теорий, изучением движений небесных тел; он выразил свои результаты в удобной форме таблиц, по которым путём простого вычисления легко было определить положение светила для любого момента, равно как и другие астрономические явления вроде затмений; этот грандиозный труд, до некоторой степени суммировавший работы его и Тихо, был, наконец, напечатан в 1627 г. под названием *Рудольфинских таблиц* (названных так в честь первого его покровителя), которые были в своём роде образцом около столетия.

Кеплер давно уже намеревался по окончании таблиц написать полный трактат по астрономии под заглавием *Новый Альмагест*; но ему не удалось не только исполнить свой план, но даже и приняться за него как следует.

149. После множества неудачных попыток получить жалование Кеплер, говорят, обратился к Валленштейну, знаменитому имперскому полководцу, в то время почти неограниченно властвовавшему в Силезии; этот последний очень интересовался астрологией и всегда возил с собой одного или нескольких жрецов этого искусства. В 1628 г. Кеплер присоединился к Валленштейну в качестве астролога при его особе и, между прочим, написал несколько малых трактатов астрономического и астрологического содержания. В 1630 г. он отправился в Регенсбург, где заседает

в то время сейм, с целью лично выхлопотать уплату недоимок жалования; удручённый тревогами и дорожными неприятностями, он через несколько дней по прибытии заболел горячкой и скончался 15 ноября 1630 г. на 59 году жизни.

150. Помимо перечисленных нами крупных открытий, Кеплер оказал астрономии массу мелких услуг—нахождением новых методов определения долготы и различными усовершенствованиями методов вычислений, необходимых для решения астрономических задач. Размышления Кеплера относительно внутренних причин наблюдаемых небесных движений не лишены интереса. В то время как птоломеева система требовала массы движений, совершающихся вокруг чисто геометрических точек, центров эпициклов или эксцентриков, эквантов и т. п., причём некоторые движения такого рода признавал и Коперник, кеплерова схема солнечной системы помещала вполне реальное тело, Солнце, в самую важную точку, вокруг которой обращаются планеты, и таким же образом трактовала и движение Луны вокруг Земли, и обращение четырёх спутников Юпитера вокруг своей планеты. Обращения оказались связанными не с центральной точкой, но с центральным телом, и, таким образом, явился на сцену интересный вопрос, не находятся ли движения в какой-нибудь зависимости от центрального тела. Свойство магнита притягивать с небольшого расстояния кусочки железа, быть может, внушило Кеплеру мысль об аналогии; на него, видимо, произвела сильное впечатление внимательно прочитанная им книга *О магните (De Magnete)*, изданная в 1600 г. англичанином Вильямом Джильбертом из Кольчестера (1540—1603). Кеплер предположил, что планеты управляются Солнцем и как бы разделяют до некоторой степени его собственное вращение. Другими словами, некоторая «движущая сила» простирается от Солнца к планетам вместе или наподобие лучей света и теплоты и увлекает планеты вокруг Солнца. ✱

«Происходит конфликт между движущей силой Солнца и бессилием или материальной неповоротливостью [*инерция*] планеты. Оба эти начала в некотором отношении одерживают победу, ибо первое сдвигает планету с её места, а второе отчасти освобождает тело планеты от стесняющих её уз..., но только до того момента, когда она снова подхватывается этой вращательной силой». (*Сокращение*, кн. IV, часть 2¹).

На приложенной диаграмме (рис. 61) Кеплер иллюстрирует свою крайне запутанную и неясную теорию.

Он признавал также более общий закон «тяжести», которую он определяет как «взаимное телесное расположение между двумя родственными телами, клонящееся к их соединению», и приливы

¹) Кеплер даёт здесь в сущности прекрасное описание процесса тяготения, весьма близкое к современным понятиям. Ведь и в настоящее время действие непрерывной силы на движимое ею тело рассматривается при анализе как ряд отдельных толчков, разделяемых бесконечно малыми промежутками времени.

он объяснял подобного рода взаимодействием между Луной и водами земного шара. Но эти умозаключения, в которых можно видеть предвосхищение ньютонова открытия всемирного тяготения, не получили никакого логического развития, а механические понятия во времена Кеплера были слишком несовершенны для того, чтобы он мог достичь действительного успеха в этом направлении.

151. Мало найдётся астрономов, мнения о заслугах которых расходились бы до такой степени, как относительно Кеплера. Правда, все согласны насчёт громадной важности его трёх законов планетного движения и существенных достоинств *Рудольфинских таблиц* и некоторых мелких открытий. Но эти результаты составляют лишь небольшую часть объёмистых сочинений Кеплера, наполненных массой странных идей и мистических фантазий и бредней, астрологией, предсказаниями

погоды и тому подобным. Всё это ничего не стоит с точки зрения современной астрономии и направлено не в ту сторону, в которую могла прогрессировать наука; это должно было казаться чем-то вроде бреда таким здравомыслящим современникам, каков, например, Галилей, почти в такой же мере, как и нам. Прочитывая главу за главой и не встречая ни одной верной мысли, трудно удержаться от сожалений по поводу того, что Кеплер часто бесплодно растратывал свой громадный ум, и от предположений, что те ценные результаты, которые встречаются в массе скучнейших умствований, попали туда чисто случайно. С другой стороны, не следует забывать, что такого рода «случайности» сопутствуют только великим личностям и что если Кеплер любил давать волю своему воображению, то не менее того он чувствовал необходимость тщательного сравнения умозрительных результатов с наблюдаемыми фактами и без колебаний отказывался от любимейших своих фантазий, если они не выдерживали этой пробы. Если бы Кеплер сжёг три четверти того, что напечатал, то мы, вероятно, были бы более высокого мнения о трезвости его суждений; но зато в значительной степени потеряли бы впечатление необычайного энтузиазма и трудолюбия и почти беспримерной честности ума, какое мы теперь получаем при изучении его трудов.

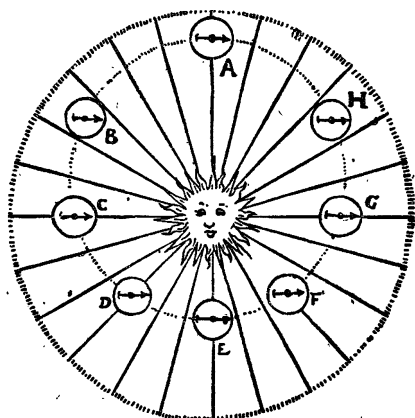


Рис. 61. Идея Кеплера о тяготении. Из *Сокращения*.

ГЛАВА VIII

ОТ ГАЛИЛЕЯ ДО НЬЮТОНА

«И вот громадный телескоп, орудье,
Каким они на небо посягают,
Был поднят и направлен прямо на Луну».

Гудибрас

152. Между изданием галилеевых *Двух Новых Наук* (1637) и ньютоновых *Principia* (Начала, 1687 г.) прошло полвека; за этот промежуток не было сделано ни одного первостепенного астрономического открытия, но зато астрономия в целом спокойно и уверенно развивалась по уже проложенному пути.

С одной стороны толчок, данный Тихо Браге развитию точных наблюдений, ещё не ослабил своего влияния, и наряду с этим изобретение телескопа и его постепенное совершенствование развернули новое, почти безграничное поле для открытия интересных небесных объектов. С другой стороны, три замечательные закона Кеплера, в которых он формулировал наиболее характерные черты планетного движения, неизбежно должны были вызвать у мыслящего астронома вопрос, почему существуют эти законы, или, другими словами, навести на мысль, не представляют ли они необходимого следствия какого-нибудь основного, более общего и простого закона; в то же время исследования Галилея о законах движения могли внушить мысль о возможности некоторой связи между причинами небесных движений и явлений, наблюдаемых на Земле.

153. Мы уже говорили о том, что большинство телескопических открытий Галилея было сделано почти сейчас же вслед за ним и другими астрономами. Его сопернику Христофору Шейнеру (гл. VI, § 124, 125) принадлежит честь открытия ярких облакообразных пятнышек, наблюдаемых главным образом у края Солнца и по причине своей яркости названных *факелами*. Шейнер, кроме того, произвёл длинный ряд наблюдений над движениями и появлением пятен.

Иоганн Гевелий из Данцига (1611—1686) занялся тщательным изучением лунной поверхности; в 1647 г. он издал свою *Селенографию*, или описание Луны, прекрасно иллюстрированное гравами, нарисованными и выгравированными им самим. Он систе-

матически описал и дал название главным особенностям лунной поверхности—горам, кратерам и тёмным пятнам, почитавшимся морями,—преимущественно по сопоставлению с таковыми же особенностями земной поверхности. Гевелиевы названия главных горных цепей *Аппенин* и *Альп* и некоторых морей—*Mare Serenitatis*, Море Ясности, или Тихий Океан, удержались до настоящего времени; но названия отдельных гор и кратеров вышли из употребления, так как их теперь называют именами выдающихся учёных и философов, например *Платон*, *Коперник* и т. п., по системе *Жана Баптиста Риччиоли* (1598—1671), изложенной в объёмистом астрономическом трактате, *Новом Альмагесте* (1651). Неутомимый Гевелий напечатал две больших книги о кометах, *Prodromus Cometicus* (1654) и *Cometographia* (1668), заключающих в себе первый систематический обзор всех появлявшихся комет. Он составил каталог 1 500 звёзд, наблюдённых, хотя и без помощи телескопа, но с точностью, превышавшей точность, достигнутую Тихо ¹⁾. Кроме того, Гевелий обнаружил усовершенствованные солнечные таблицы и массу других вычислений и наблюдений.

154. В свою очередь и планеты с интересом изучались многими наблюдателями, замечавшими по временам светлые и тёмные пятна на Юпитере, Марсе и Венере. Два сатурновых придатка, которые Галилей открыл в 1610 г., но не мог различить два года спустя (гл. VI, § 123), были наблюдаемы и описаны многими астрономами самым различным образом; загадка была разгадана через полвека после первого открытия Галилея лишь *Христианом Гюйгенсом* (1629—1695), одним из величайших учёных своего времени, родом из Гааги. Гюйгенс отличался многосторонними выдающимися способностями как в практической, так и в теоретической области, и собственно астрономические труды его составляют лишь небольшую часть вклада, внесённого им в науку. Усовершенствовавшись в искусстве шлифовки линз до небывалой точности, он мог сооружать телескопы, несравненно более сильные, чем те, какие изготовлялись его предшественниками. С помощью одного из таких инструментов ему удалось открыть в 1655 г. спутника Сатурна (Титан). Проникнутый идеями средневекового мистицизма, от которого с большим трудом освобождались даже самые трезвые умы его времени, он утверждал, что так как количество планет и спутников достигло теперь совершенного числа 12, то больше ничего не остаётся открывать,—пророчество, неоднократно опровергнутое впоследствии.

С помощью ещё более могущественного телескопа и благодаря удивительной проницательности в объяснении наблюдаемого Гюй-

¹⁾ По странному упорству Гевелий ни за что не хотел приспособить зрительной трубы к своим угловым инструментам, хотя в его время мысль эта была уже не нова и с успехом применялась к делу другими астрономами.

генс сделал ещё более интересное открытие, именно, что загадочные придатки Сатурна суть не что иное, как тонкое кольцо (рисунки 62 и 63), наклонённое под значительным углом (он определил его в 31°) к плоскости эклиптики, а потому и к пло-

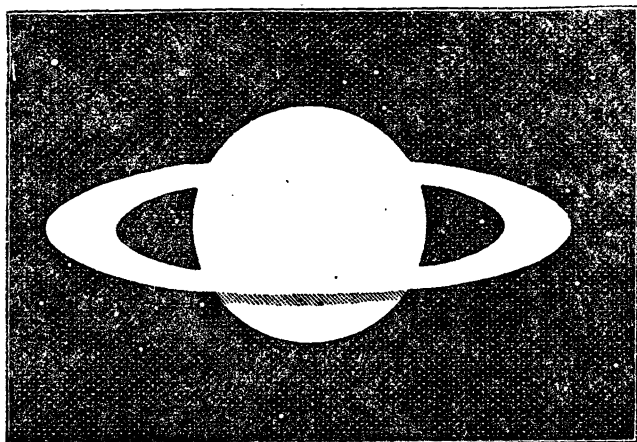


Рис. 62. Кольцо Сатурна, по рисунку Гюйгенса. Из *Системы Сатурна*.

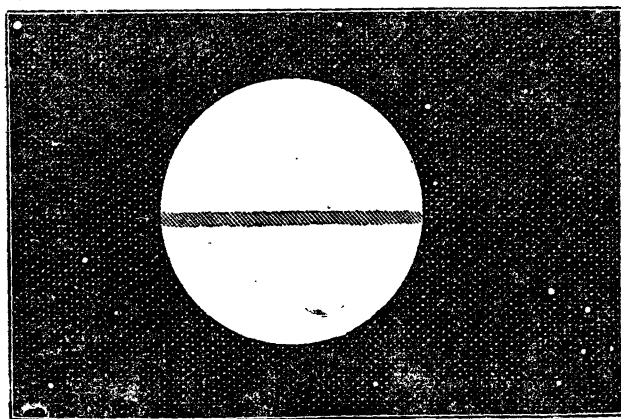


Рис. 63. Сатурн и кольцо, видимое с края. Из *Системы Сатурна*.

скости сатурновой орбиты вокруг Солнца. Об этом результате Гюйгенс возвестил учёному миру, по обычаю того времени, анаграммой, помещённой в той же брошюре, где обнаружено было открытие спутника, *De Saturni Luna Observatio Nova* (Новые

наблюдения спутников Сатурна, 1656 г.¹⁾); три года спустя появилась его большая книга *Systema Saturnium* (1659), в которой он дал разгадку своей анаграммы²⁾, с необычайной ясностью и полнотой объяснив странные придатки Сатурна, замеченные им самим и прежними наблюдателями. Благодаря своей исключительно малой толщине кольцо невидимо, когда оно обращено ребром к наблюдателю или к Солнцу, так как в последнем случае площади его не освещены Солнцем. Дважды во время обращения

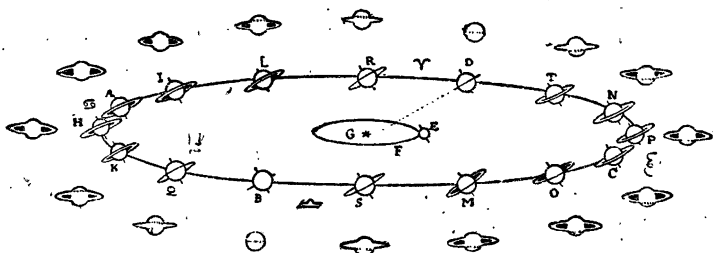


Рис. 64. Фазы кольца Сатурна. Из *Системы Сатурна*.

Сатурна вокруг Солнца (в *B* и *D* на рис. 64), т. е. через промежутки почти в 15 лет, плоскость кольца проходит в течение короткого времени через Землю и Солнце или весьма близка к такому положению и, следовательно, в эти периоды оно невидимо (рис. 63). Близ этих положений (в *Q*, *R*, *S*, *T*) кольцо кажется сильно приплюснутым, в виде двух ручек, выступающих из тела Сатурна; чем дальше, тем шире становится кольцо, и отверстие его начинает открываться: спустя семь лет или за семь лет до периода невидимости в *A* и *C* кольцо представляется наиболее широким. Для сравнения со своими результатами Гюйгенс приводит несколько рисунков прежних наблюдателей (воспроизведённых на рис. 65), откуда можно видеть, как близки были некоторые из них к открытию кольца.

155. Англичанин *Вильям Гаскойнь* (1612?—1644) первый обнаружил, что телескопом можно пользоваться не только для общего обзора небесных тел, но и в качестве измерительного инструмента, могущего определять направление на звёзды с большей точностью,

¹⁾ Делалось это для ограждения своих прав на открытие; ещё раньше Галилей точно так же возвестил об открытии фаз Венеры анаграммой; разгадкой её была фраза:

Synthiae figuras aemulatur mater amorum, т. е. Венера (как известно, считавшаяся у греков матерью любви) подражает формам Цинтии (т. е. Луны), и о загадочном очертании Сатурна: *Altissimam planetam tergemina observavi*,

т. е. крайнюю планету я наблюдал тройной.

²⁾ Смысл её был такой: *Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato*, т. е. что Сатурн окружён тонким плоским кольцом, нигде не соприкасающимся с планетой и наклонённым к эклиптике.

чем это доступно простому глазу; кроме того, телескоп увеличивает углы, облегчая этим измерение угловых расстояний между соседними звёздами, а также измерение диаметров планет и тому подобных величин.

К сожалению, Гаскойнь был убит в молодых годах в сражении при Марстон-Муре; но письма его, напечатанные много лет спустя,

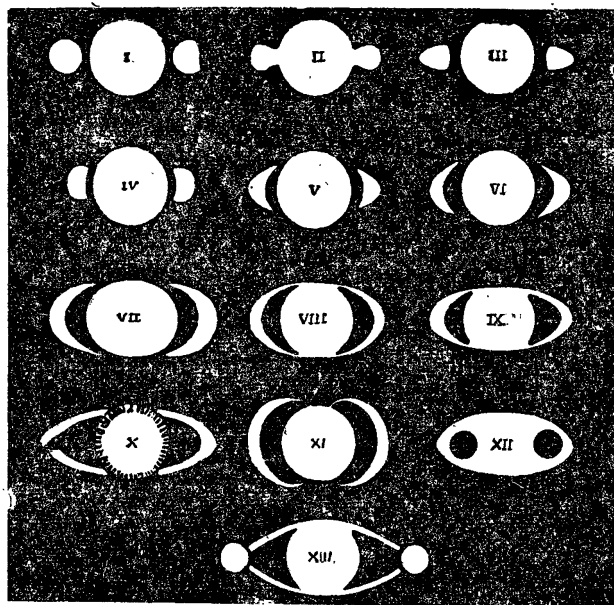


Рис. 65. Старинные изображения Сатурна. Из *Системы Сатурна*.

показывают, что он знаком был с употреблением телескопических перекрёстных нитей и изготовил так называемый *микрометр*¹⁾, с помощью которого мог измерять углы в несколько секунд. О его открытиях некоторое время ничего не знали, и Гюйгенс независимо от него изобрёл микрометр худшего качества (1658), а *Адриан Озу* (?—1691) изобрёл усовершенствованный инструмент (около 1666), почти тождественный с инструментом Гаскойнья.

Систематическое пользование телескопическими перекрёстными нитями для регулярных работ на обсерватории введено было впервые около 1667 г. другом и товарищем Озу, *Жаном Пикаром* (1620—1682).

156. Наряду с Гаскойнем заслуживает упоминания его друг *Перемия Горрокс* (1617?—1641), горячий поклонник Кеплера, внесший значительное улучшение в теорию Луны: он взял за

¹⁾ Прототип нитяного микрометра современной астрономии.

основание эллиптическую орбиту и тем устранил некоторые неправильности. Он первый наблюдал прохождения Венеры по диску Солнца, случившееся в 1639 г., вопреки кеплеровским *Рудольфовским таблицам*, но в согласии с соперничавшими таблицами *Филиппа фон-Лансберга* (1561—1632), которые Горрокс проверил для данного случая. Однако только много времени спустя Галлей указал на важность наблюдений прохождений Венеры как средства для определения расстояния Солнца от Земли (гл. X, § 202). Любопытно, что Горрокс подозревал возможность происхождения неравенств лунного движения от возмущающего влияния Солнца и имел понятие о некоторых неправильностях движений Юпитера и Сатурна, ныне объясняемых их взаимным притяжением (гл. X, § 204; гл. XI, § 243).

157. Одно из гюйгеновых открытий произвело переворот в искусстве точного астрономического наблюдения. Мы говорим об изобретении часов с маятником (сделано в 1656). Мы уже упоминали, что такое же изобретение было сделано Бюрги, но погибло (гл. V, § 98); Галилей снова возвёл маятник в достоинство измерителя времени (гл. VI, § 114). Впрочем, галилеев маятник годился лишь для измерения весьма коротких промежутков времени, так как при нём не было механизма, поддерживающего движение, которое вскоре само собой прекращалось. Гюйгенс приспособил маятник к часам, которые приводились в движение гириями, так что часы поддерживали качания маятника, а маятник регулировал ход часов¹⁾. С этих пор возможно было вести точные по времени наблюдения и, замечая промежуток между прохождениями двух звёзд через меридиан, выводить, на основании известной скорости движения небесной сферы, их угловое расстояние друг от друга к востоку или к западу. Пикар (§ 155) первый оценил важность этого открытия для астрономии и ввёл правильные измерения времени на новой Парижской обсерватории.

158. Гюйгенс не удовлетворялся одним практическим применением маятника, но написал трактат *Oscillatorium Horologium*, или *Часы с маятником* (1673), в котором изложил ценные результаты разработанной им теории маятника и близких вопросов, связанных с движением тела по кругу или иной кривой. Большая часть этих исследований выходит за пределы астрономии, но формула, связывающая время качания маятника с его длиной и напряжением силы тяжести²⁾ (или другими словами, с «ускорением» свободно падающего тела), давала возможность измерять силу тяжести с гораздо большей точностью, чем это позволяли прямые опыты над падающими телами; исследования Гюйгенса

1) Повидимому, Галилей в последние годы своей жизни подумывал о соединении часового механизма с маятником, но у нас нет достаточных доказательств, что он привёл свою мысль в исполнение.

2) Современная формула: время полного колебания равно $2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

относительно кругового движения, приведшие к выводу, что тело, движущееся по кругу, должно находиться под влиянием некоторой силы, направленной к центру, величина которой находится в определённой зависимости от скорости тела и размеров круга¹⁾, имеют громадное значение для объяснения планетных движений действием тяготения.

159. В XVII в. было сделано первое измерение Земли, представлявшее собою решительный шаг вперёд сравнительно с измерениями греков и арабов (гл. II, § 36, 45 и гл. III, § 57). *Виллеброрд Снеллиус* (1591—1626), больше известный открытием закона преломления света, произвёл в Голландии в 1617 г. ряд измерений, показавших, что длина градуса равна 67 милям (приблизительно 108 км); один из его учеников, исправивший некоторые ошибки в вычислении, определил её в 69 миль—результат, очень близкий к современной оценке. Далее, *Ричард Норвуд* (1590?—1675) измерил расстояние между Лондоном и Иорком и получил (в 1636 г.) для длины градуса величину с погрешностью в $\frac{1}{2}$ км. Наконец, в 1671 г. *Пикар* произвёл некоторые измерения близ Парижа и получил результат, отличавшийся от истинного всего на несколько метров. Зная длину дуги в один градус, легко было вычислить окружность и радиус Земли.

160. Озу и Пикар принадлежали к группе астрономов-наблюдателей, работавших в Париже, из которых знаменитейшим, хотя и не самым великим, является *Джованни Доминик Кассини* (1625—1712). Родом из северной Италии, он приобрёл громадную известность частью своими фантастическими планами сооружения гигантских инструментов, частью открытием вращения Юпитера (1665), Марса (1666), а также и таблицами движения юпитеровых спутников (1668). В уважение к этому последнему открытию Пикар побудил Людовика XIV (в 1669 г.) пригласить Кассини в Париж для главного заведывания обсерваторией, в то время ещё строившейся и законченной в существенных частях к 1671 г. Кассини был в такой же мере прилежный наблюдатель, как и плодовитый писатель; и обладал замечательным талантом производить впечатление как на учёную публику, так и при дворе. Он проникнут был твёрдым сознанием важности как своих трудов, так и своей особы, но более чем сомнительно, чтобы у него были такие же ясные представления, как у Пикара, относительно того, какие именно работы должны производиться на общественной обсерватории и как приступать к ним. Несмотря на эти недочёты он оказал ценные услуги различным отделам астрономии. Он открыл четыре новых спутника Сатурна: Япета в 1671, Рею в следующем году, Диану и Тетис в 1684 г.; в 1675 г. он заметил на кольце Сатурна тёмную линию, которая впоследствии оказалась ясным

¹⁾ Т. е. он получил известную формулу mv^2/r и другие эквивалентные выражения для центростремительной силы.

делением его на два кольца, наружное и внутреннее, и носит название Кассиниева-деления (рис. 92, стр. 328). Он до некоторой степени усовершенствовал теорию видимого движения Солнца, вычислил новую таблицу атмосферного преломления, которая оставила за собой кеплеровскую (гл. VII, § 138), и выпустил в 1693 г. новые таблицы спутников Юпитера, значительно превосходившие точностью те, которые он издал в 1668 г.

161. Вероятно, по внушению Пикара или Кассини один из их сотоварищей, *Жан Рише* (?—1696), до тех пор малоизвестный астроном, отправлен был с учёной экспедицией (1671—1673) в Кайенну (под 5° северной широты). Экспедиция достигла двух важных результатов. Было обнаружено, что маятник данной длины качается в Кайенне медленнее, чем в Париже, из чего явствует, что напряжение тяжести меньше у экватора, чем в высоких широтах. Это обстоятельство было объяснено действием центробежной силы, возникающей при вращении Земли, причём это действие особенно сильно сказывается на земном экваторе. Оно навело также на предположение, что Земля—не правильный шар, а имеет небольшую сплюснутость у полюсов. Впоследствии это было принято в соображение при теоретическом исследовании вопроса о фигуре Земли (гл. IX, § 187). Затем наблюдения Рише над положениями Марса в небе, в соединении с одновременными наблюдениями Кассини, Пикара и других французских астрономов, привели к довольно точному определению расстояния Марса, а, значит, и Солнца. Марс находился в это время в противостоянии (гл. II, § 43), т. е. он был ближе к Земле, чем в другие периоды (как показано на рис. 66), и потому занимал положение, благоприятное для наблюдений. Принцип измерения прост до чрезвычайности и в существенных чертах сходен с методом, которым пользовались для оценки расстояния Луны (гл. II, § 49). Один наблюдатель находится, положим, в Париже (*P*, рис. 67) и смотрит в направлении Марса, т. е. по линии

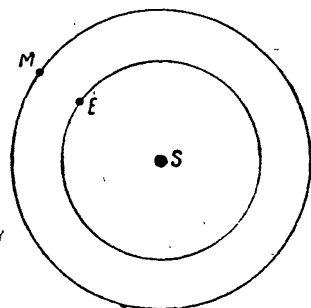


Рис. 66. Марс в противостоянии.

PM; другой, помещённый в Кайенне (*C*), с своей стороны, наблюдает Марс в направлении *CM*. Линия *CP*, соединяющая Париж с Кайенной, известна, а зная фигуру (т. е. углы) треугольника *CPM* и длину одной из сторон, легко вычислить длины остальных сторон.

Результаты такого рода исследований удобнее всего выражать с помощью некоторого угла, из которого в случае надобности легко получить расстояние в радиусах Земли, а отсюда и в километрах.

Параллакс небесного тела, например, Луны, Солнца или планеты, определяемый (гл. II, § 43) как угол OMP между линиями, соединяющими небесное тело с наблюдателем и центром Земли, меняется в зависимости от положения наблюдателя. Очевидно, он наибольший, когда наблюдатель занимает положение Q , так что линия MQ касается Земли; в этом случае M находится на горизонте наблюдателя. Вдобавок, так как угол OQM прямой, то форма треугольника и отношение его сторон вполне определяются, если известен угол OMQ . Так как этот угол есть параллакс светила M , когда оно находится на горизонте наблюдателя, то он

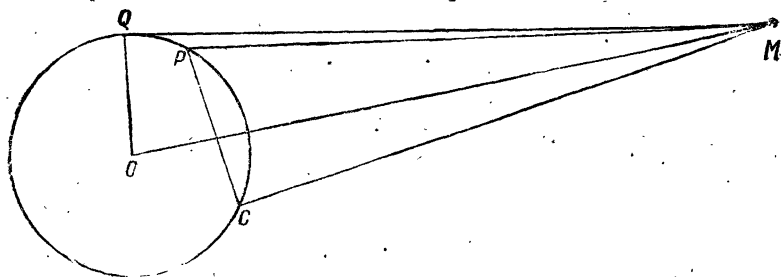


Рис. 67. Параллакс планеты.

называется *горизонтальным параллаксом*, хотя слово «горизонтальный» часто опускается. Из рисунка легко убедиться, что чем тело дальше, тем меньше горизонтальный параллакс, а при незначительности параллаксов, с которыми имеет дело астрономия, расстояние и горизонтальный параллакс можно считать обратно пропорциональными друг другу; если, например, одно тело вдвое дальше другого, то параллакс его вдвое меньше, и т. д.

Считаем нелишним заметить, что когда дело идёт о неподвижной звезде, то слово «параллакс» употребляется в ином, хотя в то же время и в аналогичном смысле. Кажущееся перемещение неподвижной звезды (происходящее от годичного движения Земли вокруг Солнца, гл. IV, § 92), которое очень долго не удавалось обнаружить наблюдениями (гл. XIII, § 278), называется *годовичным* или *звёздным параллаксом* (причём прилагательное нередко опускается); в частности это название прилагается к *наибольшему* углу между направлениями к звезде, проведёнными от Солнца и от Земли при её движении в течение года. Если мы примем M за звезду (рис. 67), O — за Солнце, а круг за орбиту Земли вокруг Солнца, то угол OMQ есть годичный параллакс звезды M .

В частности Кассини путём очень сомнительной процедуры получил из наблюдений Марса, произведённых им и Рише, величину солнечного параллакса около $9'',5$, что соответствует расстоянию от Земли в 140 000 000 км или 360 расстояниям Луны; по наиболее вероятной из современных оценок (гл. XIII, § 284) оно немного меньше 150 000 000 км. Результат Кассини, хотя

и не точный, был громадным шагом вперёд, так как древнегреческая оценка расстояния Солнца, соответствующая параллаксу в 3', пользовалась правами гражданства до начала XVII в. и хотя её обыкновенно считали весьма неточной, однако исправления, которым она подвергалась, носили характер простых догадок (гл. VII, § 145).

162. Первые годы деятельности Парижской обсерватории ознаменовались ещё одним славным открытием, именно—открытием скорости света. В 1671 г. Пикар отправился в Данию с целью исследовать, что осталось от обсерватории Тихо Браге на острове Гвзне ¹⁾. Вернувшись оттуда, он пригёз с собой молодого датского астронома, *Олафа Ремера* (1644—1710), в качестве помощника на Парижскую обсерваторию. Изучая движения спутников Юпитера, Ремер заметил (1675), что промежутки между последовательными затмениями какого-нибудь спутника (затмения происходят от погружения спутника в тень планеты) оказывались неизменно меньше в тот период, когда Земля и Юпитер приближались друг к другу, чем когда они удалялись друг от друга. Он понял, что это легко можно объяснить предположением, что свет распространяется с конечной, хотя и весьма большой скоростью. Так, когда Юпитер приближается к Земле, то время, в течение которого лучи от спутников достигают Земли, постепенно уменьшается, и, следовательно, кажущимся образом сокращаются промежутки между последовательными затмениями. По разности наблюдаемых промежутков и по известным уже скоростям движения Юпитера и Земли возможно произвести грубую оценку скорости распространения света. Ремер произгёл несколько важных улучшений в инструментах, но они носят слишком специальный характер, и потому мы их здесь не будем касаться.

163. Остаётся упомянуть ещё одно славное имя, принадлежащее периоду, которому посвящена эта глава; мы говорим о *Рене Декарте* ²⁾ (1596—1650). Хотя он и стоит в числе великих учёных и всё важные усовершенствования в области чистой математики, однако астрономические его работы не представляют большой ценности, а во многих отношениях даже повредили этой науке. В своих *Принципах философии* (1644) он дал, наряду с некоторыми совершенно ошибочными положениями, более полную и общую формулировку первого из открытых Галилеем законов движения (гл. VI, § 130, 183), но не подкрепил её мало-мальски солидными доводами. В этой же книге содержится изложение его знаменитой теории вихрей—попытка объяснить движение тел солнечной системы с помощью некоторой комбинации вихрей.

¹⁾ Вместо великолепного некогда замка Пикар нашёл яму, наполненную мусором, так что для отыскания фундамента пришлось делать раскопки. Так заботилось датское правительство о сохранении храма науки, принадлежавшего величайшему астроному Дании!

²⁾ Часто его называют латинизированным именем *Картезиус*.

Эта теория не защищалась какими-нибудь экспериментальными данными и не была достаточно ясно формулирована для того чтобы её можно было проверить фактическими наблюдениями; в отличие от многих ошибочных теорий (как, например, теория греческих эпициклов) она никоим образом не являлась предшественницей истинных теорий, сменивших её. Однако, «картезианство» приобрело большую популярность как в философии, так и в естествознании, особенно во Франции; слава его заметно способствовала падению авторитета Аристотеля, уже потрясённого мыслителями вроде Галилея и Бэкона, и, таким образом, подготовила умы к восприятию новых идей, так что этим косвенным путём, равно как и своими математическими открытиями, Декарт способствовал прогрессу астрономии.

ГЛАВА IX

ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ

«Радуйтесь, смертные, что на Земле существовало такое украшение рода человеческого».

(Из эпитафии)

164. Жизнь *Ньютона* можно разделить на три периода. Первый обнимает 22 года (1643—1665), эпоху его отрочества и студенчества; за ним следует большой продуктивный период, почти такой же продолжительности, увенчавшийся изданием *Principia* в 1687 г.; остальная часть жизни Ньютона (1687—1727), по продолжительности равняющаяся первым двум, вместе взятым, посвящена главным образом официальным обязанностям и занятиям ненаучного характера и не отмечена открытиями, которые можно было бы поставить на одну доску с открытиями среднего периода, хотя некоторые из более ранних его работ получили в этот период более широкое развитие и, кроме того, добыты были новые, несомненно интересные результаты.

165. Исаак Ньютон родился в Вульсторпе, близ Грантама, в Линкольншире, 4 января 1643 г.¹⁾; это случилось почти ровно через год после смерти Галилея и через несколько месяцев после начала английских гражданских войн. В ранние годы Ньютон не отличался, повидимому, особенной любовью к наукам²⁾, но позже стремление к науке обнаружилось столь сильно, что после нескольких безуспешных попыток сделать из него фермера его отправили в Тринити-колледж в Кембридж в 1661 г.

Хотя первое время Ньютон, вероятно, сильно отставал от товарищей, он всё-таки сделал громадные успехи в математике и смежных отраслях знания и немало смущал своих учителей быстротой,

¹⁾ По старому стилю (в то время ещё пользовавшемуся в Англии правом гражданства) это случилось в самый день рождества 1642 г.

²⁾ Если он в этот период и не проявлял прямого интереса к наукам, то во всяком случае обнаруживал склонности незаурядного характера; он любил подсмеиваться над суеверием и невежеством своих односельчан: пускал, например, по ночам воздушные змеи с привязанным к хвосту фонарём и уверял их, что появилась комета; изобрёл мельницу, которую приводил в движение силами специально для того посаженной мыши.

с какой поглощал тот скудный запас сведений, которым они обладали. С *Началами геометрии* Эвклида Ньютон познакомился в первое время студенчества, но вскоре оставил эту «лёгкую вещь» ради более серьёзных книг. В январе 1665 г. он получил степень бакалавра.

166. О внешних событиях жизни Ньютона в последующие 22 года можно рассказать в двух словах. Он избран был в члены коллегии в 1667 г., в следующем году обычным порядком получил степень магистра и назначен был профессором математики в качестве преемника своего друга Исаака Барроу в 1669 г. Три года спустя он избран был в члены незадолго перед тем основанного Королевского Общества. За вычетом нескольких поездок домой, в Линкольншайр, почти весь этот период он провёл, повидимому, в спокойных занятиях в Кембридже, и история его жизни почти всецело исчерпывается историей его открытий.

167. Научные труды Ньютона можно разбить на три главные группы—астрономию (с динамикой), оптику и чистую математику. Он посвящал немало времени и химическим опытам, и теплоте, и другим отделам физики, а во второй половине жизни уделял много внимания вопросам хронологии и теологии, но ни в одной из этих областей он не получил ценных результатов.

168. Давая оценку гения Ньютона, необходимо, разумеется, иметь в виду обширность предметов, которыми он занимался; с нашей точки зрения математика Ньютона представляет, впрочем, интерес лишь как орудие, которым приходится оперировать в астрономии; точно так же мы упомянем здесь лишь о тех его оптических открытиях, которые представляют астрономическую ценность. В 1668 г. он построил *отражательный телескоп*, т. е. такой, в котором идущие от объекта лучи света собираются при помощи кривого зеркала, а не линзы, как в преломляющих телескопах Галилея и Кеплера. Телескоп такого рода, отличный, впрочем, в некоторых важных отношениях от ньютоновского, был описан ещё в 1663 г. *Джемсом Грегори* (1638—1675), с идеями которого Ньютон был знаком; но Грегори, повидимому, не пытался соорудить инструмент на самом деле. Из-за механических трудностей приготовления отражательные телескопы только через полвека смогли соперничать с лучшими рефракторами своего времени, и до эпохи Вильяма Гершеля, т. е. в течение ста с лишком лет со времени их изобретения, при помощи их не было сделано ни одного важного астрономического открытия.

Открытое Ньютоном свойство призмы разлагать пучок белого света на различные цвета составляет существенную основу спектрального анализа (гл. XIII, § 299), которому мы обязаны массой астрономических открытий за последние 85 лет.

169. Идеи, нашедшие себе выражение в трёх величайших и наиболее популярных открытиях Ньютона—теории тяготения, теории цветов и теории флюксий,—повидимому, пришли ему



НЬЮТОН.

в голову и были отчасти продуманы в течение первых двух лет по получении им степени, т. е. раньше, чем ему исполнилось 24 года. Он сам несколькими годами позже рисует живыми красками свою необычайную умственную деятельность в этот период.

«В начале 1665 г. я нашёл метод приближённых рядов и правило превращений любой степени двучлена в такой ряд. В мае того же года я нашёл метод касательных Грегори и Служия, в ноябре получил прямой метод флюксий; в январе следующего года я получил теорию цветов, а в мае приступил к обратному методу флюксий. В том же году я начал размышлять о действии тяжести, простирающейся до орбиты Луны, и, найдя, как вычислить силу, с которой тело, обращающееся внутри сферы, давит на поверхность этой сферы, я вывел из закона Кеплера, по которому периоды обращения планет находятся в полуторной пропорции с расстояниями их от центров орбит, что сила, удерживающая планеты в их орбитах, обратно пропорциональна квадратам их расстояний от центров обращения; при этом я сравнил величину силы, потребной для удержания Луны на её орбите, с силой тяжести на поверхности Земли и нашёл между ними приблизительное равенство. Всё это имело место во время чумы 1665—1666 гг.; в это время я переживал лучшую пору своей юности и больше интересовался математикой и философией, чем когда бы то ни было впоследствии»¹⁾.

170. Большую часть этого времени (1665—1666) Ньютон провёл в Вульсторпе по причине свирепствовавшей чумы.

Известный рассказ о том, что падение яблока с яблони, росшей в его саду, навело его на размышления о тяжести, основан на заслуживающем доверия авторитете и вполне правдоподобен в том смысле, что падение яблока напомнило ему в данный момент о некоторых проблемах, связанных с тяжестью. Совершенно невероятно, однако, чтобы яблоко внушило ему самую мысль о существовании подобных проблем или ключ к разрешению их.

Немало астрономов задумывалось о «причине» известных движений планет и спутников; другими словами, они пытались представить эти движения, как следствия более общих законов. Как мы видели, Кеплер (гл. VII, § 150) указывал, что эти движения следует приписывать не влиянию чисто геометрических точек, каковы, например, центры древних эпициклов, но влиянию тел и в частности пытался объяснить движение планет особого рода силой, исходящей из Солнца. Он, однако, сделал громадную ошибку в том, что искал силу, подталкивающую планеты. Галилеево открытие, что движение тела продолжается бесконечно, если его не прекращает или не изменяет какая-нибудь причина, пролило новый свет на эти и другие механические проблемы; но сам Галилей не дал своей идее развития в этом частном направлении. *Джованни Альфонсо Борелли* (1608—1679) в книге о спутниках Юпитера, изданной в 1666 г., значит, в эпоху первых трудов Ньютона, указал, что тело, обращающееся по кругу (или аналогичной кривой), стремится удалиться от центра и что в случае планет можно предположить, что это стремление уравновешивается некоторого рода притяжением к Солнцу. Здесь мы

¹⁾ С подлинной рукописи Ньютона, из Портсмутского собрания.

встречаемся с идеей, — правда, очень неясной, — что движение планеты нельзя объяснить силой, действующей в направлении движения, но можно объяснить силой, направленной к Солнцу, т. е. почти под прямым углом к направлению движения планеты. Гюйгенс полнее развил эту мысль, хотя и без специального отношения к астрономии, и получил (гл. VIII, § 158) численное выражение для стремления тела, движущегося по кругу, удалиться от центра, — стремления, которое должно чем-нибудь уравновешиваться, иначе тело отлетело бы прочь. Гюйгенс напечатал свою работу в 1673 г., через несколько лет после того, как и Ньютон получил соответствующие результаты, не успев ещё к этому времени ничего обнародовать; нет сомнения, что оба учёные трудились совершенно независимо друг от друга.

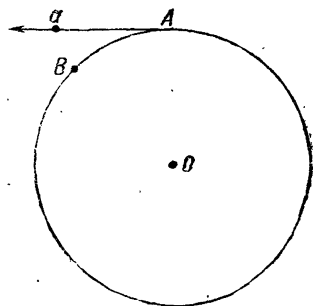


Рис. 68. Круговое движение.

171. Если смотреть с общей точки зрения, независимо от приложения к астрономии, то решённая ими задача представляется в таком виде: *исследовать условия, при которых тело может обращаться по кругу с равномерной скоростью.*

Пусть A (рис. 68) изображает для данного момента положение тела, обращающегося с равномерной скоростью по кругу, центр которого находится в O . В этот момент тело движется по касательной Aa к кругу. По первому закону Галилея (гл. VI, § 130, 133) это тело, если его предоставить самому себе и уединить от влияния других тел, продолжало бы двигаться с той же скоростью и в том же направлении, т. е. по прямой Aa , и, следовательно, по истечении некоторого промежутка времени пришло бы, скажем, в точку a . В действительности же оно оказывается в точке B на круге. Очевидно, какая-то сила перенесла его в B вместо a . Но B ближе к центру круга, чем a : значит, некоторая сила непрерывно стремилась притянуть тело к точке O , противодействуя стремлению, которым оно обладало в силу первого закона движения, именно стремлению удалиться от O . Выразить численно то или иное из этих стремлений возможно лишь при помощи более сложного понятия, чем скорость движения, именно с помощью ускорения или величины изменения скорости — понятия, которое Галилей ввёл в науку в своём исследовании законов падения тел (гл. VI, § 116, 133). Например, падающее тело через секунду после начала падения движется со скоростью 10 метров в секунду (приблизительно), через две секунды со скоростью 20 метров, через три — со скоростью 30 метров и так далее; в каждую секунду оно получает приращение скорости в 10 метров; другими словами, это можно выразить так: тело обладает ускорением в 10 метров

в одну секунду. Дальнейшее исследование кругового движения показывает, что его можно вполне объяснить при условии, если движущееся тело кроме начальной своей скорости обладает определённым ускорением, направленным к центру круга. Далее легко показать, что ускорение можно выразить численно, разделив квадрат скорости движущегося тела, выраженной в метрах за одну секунду, на радиус круга, также выраженный в метрах. Если, например, тело движется по кругу, радиусом в 4 метра со скоростью 10 метров в секунду, то ускорение к центру равно будет $(100 : 4) = 25$ метрам в секунду.

Эти результаты и другие того же характера были обнародованы Гюйгенсом, разумеется, в несколько другой форме, в его книге о *Часах с маятником* (гл. VIII, § 158) и независимо от того открыты Ньютоном в 1666 г.

Итак, когда тело видимым образом движется по кругу, то движение его становится вполне понятным, если открыть тело, производящее ускорение. Так, например, когда камень вращается на верёвке, это ускорение производится верёвкой, к которой он привязан; во вращающемся волчке ускорение внешних частей производится силами, связывающими внешние части с внутренними частями и т. п.

172. В астрономии наиболее важным случаем этого рода является обращение планеты вокруг Солнца по орбите, мало отличающейся от круга. Если мы допустим, что путь её действительно круг, то планета должна обладать ускорением к центру, которое можно приписать влиянию центрального тела—Солнца. Таким путём возникает мысль—приписать Солнцу определённое влияние на планету, обращающуюся вокруг него, способность сообщать ей ускорение; вслед за тем немедленно возникает вопрос—как изменяется это «влияние» в зависимости от расстояния? Чтобы ответить на него, Ньютон воспользовался третьим законом Кеплера (гл. VII, § 144). Мы видели, что по этому закону квадраты времён обращения двух планет пропорциональны кубам их средних расстояний от Солнца; но скорость планеты можно найти, разделив длину орбиты, описываемой ею вокруг Солнца, на время обращения, а длина орбиты в свою очередь пропорциональна расстоянию планеты от Солнца. Следовательно, скорости двух планет пропорциональны их расстояниям от Солнца, делённым на времена их обращения, и поэтому квадраты скоростей пропорциональны квадратам расстояний от Солнца, делённым на квадраты времён обращений. Отсюда по закону Кеплера квадраты скоростей пропорциональны квадратам расстояний, делённым на кубы расстояний, т. е. квадраты скоростей обратно пропорциональны расстояниям; таким образом, наиболее удалённая планета обладает наименьшей скоростью, и наоборот. По формуле Гюйгенса ускорение измеряется квадратом скорости, делённым на радиус круга (в данном случае расстояние планеты от Солнца)

Поэтому ускорения двух планет в направлении Солнца обратно пропорциональны расстояниям, помноженным на себя, т. е. обратно пропорциональны квадратам расстояний¹⁾.

Первый результат, полученный Ньютоном, был такой: движения планет, если считать их движущимися по кругам, в строгом согласии с третьим законом Кеплера, можно объяснить влиянием Солнца, если предположить, что оно сообщает планете ускорение, обратно пропорциональное квадрату её расстояния от него. Иначе говоря, при двойном расстоянии ускорение равно $\frac{1}{4}$, при тройном — $\frac{1}{9}$, при десятичном — $\frac{1}{100}$ первоначальной величины и т. д.

Поясним это численным примером. В круглых цифрах расстояние Юпитера от Солнца в 5,2 раза больше земного, и Юпитер совершает свой оборот в течение 11,9 земных годов. Значит, Юпитер в 11,9 лет проходит в 5,2 большее пространство, чем Земля в один год, и, следовательно, скорость его составляет $\frac{5,2}{11,9}$ скорости Земли, или отношение этих скоростей равно $\frac{5,2}{11,9}$. Квадраты их относятся, как 27 к 142. Ускорения Юпитера и Земли относятся поэтому, как $27 : 5,2$ к $142 : 1$ или как $5,2 : 142$; значит ускорение Юпитера составляет около $\frac{1}{27}$ ускорения Земли. Но $5,2 \times 5,2$ равно приблизительно 27. Значит, при расстоянии, в 5,2 раза большем, ускорение меньше в $5,2 \times 5,2$ раза.

Этот закон обратных квадратов, как его можно назвать, есть тот самый закон, по которому изменяется сила освещения, испускаемого Солнцем или другим светящимся телом, и весьма возможно, что он справедлив для всех влияний, исходящих от Солнца.

173. Следующим шагом Ньютона была попытка исследовать, нельзя ли объяснить вышеописанным образом и движение Луны вокруг Земли. Путём изложенных аргументов можно было и у Луны обнаружить ускорение в направлении Земли. Брошенный камень падает вниз, т. е. в направлении центра Земли, и Галилей показал (гл. VI, § 133), что это — равномерно-ускоренное движение; если, согласно господствовавшему в то время мнению, движение это приписывать влиянию Земли, то мы можем сказать, что Земля обладает способностью сообщать ускорение по направлению к своему центру телам, находящимся близ её поверхности. Ньютон заметил, что это влияние простирается, по крайней мере, до

¹⁾ Всё, что изложено автором на словах, может быть следующим образом представлено в виде формул.

Пусть v_1 и v_2 — скорости двух планет; r_1 и r_2 — их расстояния от Солнца; T_1 и T_2 — их периоды обращения вокруг Солнца; g_1 и g_2 — ускорения, получаемые планетами от Солнца. Тогда: $v_1 = \frac{2\pi r_1}{T_1}$ и $v_2 = \frac{2\pi r_2}{T_2}$, откуда $\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_1 T_2}{r_2 T_1}$, и так как по третьему закону Кеплера $\frac{T_1^3}{T_2^3} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$, то $\frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{r_2}{r_1}$. Но $g_1 = \frac{v_1^2}{r_1}$ и $g_2 = \frac{v_2^2}{r_2}$; следовательно, $\frac{g_1}{g_2} = \frac{v_1 r_1}{v_2^2 r_1}$ и окончательно: $\frac{g_1}{g_2} = \frac{r_2}{r_1^2}$.

горных вершин, и ему пришло в голову, что оно может простиаться и до Луны, производя требуемое ускорение её движения. Хотя ускорение падающих тел учёным того времени казалось одинаковым для всех земных предметов, где бы они ни находились, всё-таки представлялось вероятным, что на расстоянии Луны ускорение, вызываемое Землёй, гораздо меньше. Ньютон принял гипотезу, что оно уменьшается по тому же закону, к которому он раньше пришёл относительно влияния Солнца на планеты, т. е., что ускорение, сообщаемое Землёй какому-нибудь телу, обратно пропорционально квадрату расстояния этого тела от центра Земли.

Нужно заметить, что здесь возникает затруднение, которого не было в соответствующем случае с планетами. Так как расстояния планет громадны по сравнению с величиной Солнца, то безразлично, отсчитываются ли они от центра Солнца или от другой какой-либо точки его. То же справедливо и для Земли с Луной; но когда мы сравниваем действие Земли на Луну с действием Земли на камень, помещённый на её поверхности или недалеко от неё, то возникает чрезвычайно важный вопрос, отсчитывать ли расстояние камня от ближайшей точки Земли, находящейся в нескольких метрах от него, от центра Земли, находящегося на расстоянии в 6 370 км, или же от какой-нибудь другой точки. Как бы то ни было, Ньютон решил измерять расстояние камня от центра Земли.

Ньютону оставалось проверить свои предположения относительно Луны с помощью вычислений; это легко сделать, зная следующие величины: ускорение тела, падающего на Землю, расстояние поверхности Земли от её центра, расстояние Луны и время обращения её вокруг Земли. Первая из этих величин известна была довольно точно; последняя также была хорошо измерена; кроме того, было известно, что расстояние Луны составляет 60 земных радиусов. Насколько точно Ньютон был осведомлён в это время насчёт величины земного шара, мы не знаем. С приближёнными числами вычисление выполняется весьма быстро. В 27 дней (приблизительно) Луна проходит расстояние, в 60 раз превосходящее окружность Земли, т. е. $60 \times 40\,000\,000$ м, что составляет около 1 000 м в секунду. Ускорение Луны измеряется квадратом этой скорости, делённым на расстояние Луны, равное 60 земным радиусам, т. е. приблизительно 380 000 000 м;

таким образом, ускорение Луны равно $\frac{1\,000 \times 1\,000}{380\,000\,000}$ или, по сокращении, $\frac{1}{380}$ м/сек². Следовательно, если закон обратных квадратов верен, то ускорение падающего тела на поверхности Земли, отстоящей от центра в 60 раз ближе Луны, равно $\frac{60 \times 60}{380}$, или 9,5 м в 1 секунду; но действительное ускорение падающих тел в среднем равно 9,8. Значит, вычисление удовлетворительно, и гипотеза Ньютона проверена.

Указанную аналогию между движением Луны вокруг Земли и движением падающего камня можно иллюстрировать ньютоновым сравнением Луны с ядром, которым выстрелили в горизонтальном направлении из пушки, помещённой высоко над Землёй. Пусть ядро выбрасывается из точки B (рис. 69); двигаясь сперва горизонтально, оно опишет кривую траекторию и достигнет Земли, скажем, в точке C в некотором расстоянии от точки A , находящейся (считая по вертикали) ниже точки отправления. Если придать ядру большую скорость, то путь его будет более

плоским, и оно достигнет Земли в точке C' за C ; если скорость его ещё увеличится, то оно упадёт в точке C'' или C''' ; при небольшом усилии воображения легко понять, что если сообщить ядру определённую, весьма большую скорость, то оно не коснётся Земли, а опишет вокруг нее окружность, BDE . Именно это и происходит с Луной, с той только разницей, что Луна отстоит от Земли гораздо дальше, чем наше воображаемое ядро, и что движение её было вы-

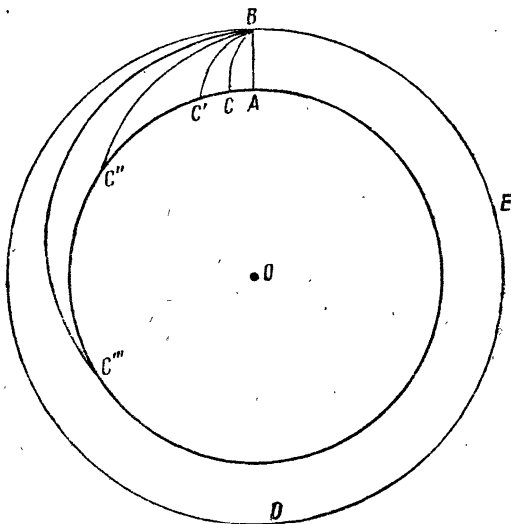


Рис. 69. Луна, рассматриваемая как ядро.

звано не пушкой; но раз движение существует, то уже безразлично, как оно началось. Мы смело можем сказать о Луне, что «она падающее тело, но только движется так быстро и на таком расстоянии, что огибает Землю, вместо того чтобы упасть на неё, и это длится из века в век»¹⁾.

В вышеупомянутом мемуаре (§ 169) Ньютон говорит о своей гипотезе, как о «весьма близко» отвечающей фактам; но в письме, относящемся к более раннему времени (от 20 июля 1686 г.), он указывает на то, что вычисление не было сделано с достаточной точностью. Вероятно, он воспользовался чрезвычайно неточной оценкой величины Земли, не зная об измерениях Снеллиуса и Норвуда (гл. VIII, § 159). Известно, что даже в более позднем возрасте он не мог удовлетворительно справиться с вышеупомянутым затруднением, именно: можно ли отождествлять Землю с её центром при решении вопроса об ускорении? И разумеется,

¹⁾ У. К. Клиффорд, *Цели и средства научной мысли*.

ему было хорошо известно, что путь Луны значительно отклоняется от круга. Мнение, почерпнутое будто бы из беседы с Ньютоном много лет спустя, именно, что он до такой степени был недоволен собственными результатами, что считал свою гипотезу существенно неверной, представляется вероятным, но никоим образом не обладает безусловной достоверностью; как бы то ни было, он отложил на время свою работу в сторону и отдался изучению оптики и математики.

174. Между тем вопрос о планетных движениях занял видное место в числе множества предметов, интересовавших группу замечательных людей, составлявших, так сказать, душу Королевского Общества, основанного в 1662 г. Роберт Гук (1635—1703), претендовавший на большинство научных открытий своего времени, не позже 1674 г. высказал довольно ясное предположение, что движения планет можно объяснить притяжением между ними и Солнцем, и указал также на возможное со стороны Земли влияние на тела, изменяющееся по закону обратных квадратов. Христобор Рен (1632—1723), более, впрочем, известный как архитектор, чем как учёный, обсуждал некоторые вопросы этого рода с Ньютоном в 1677 г. и также, повидимому, приходил к мысли о притяжении. Письмо Гука к Ньютону, писанное в конце 1679 г. и, между прочим, касавшееся вопроса о том, какую кривую описывает падающее тело, если принять в расчёт движение Земли, побудило Ньютона, заявившего о том, что его «пристрастие к философии» исчезло, вновь приняться за изучение небесных движений. В это время повсюду распространилась весть о точном измерении Земли Пикаром (гл. VIII, § 159), и Ньютон заново произвёл свои вычисления лунного движения, пользуясь улучшенной оценкой величины Земли; на этот раз результат оказался более удовлетворительным.

175. В то же самое время (1679) Ньютону удалось сделать ещё одно открытие величайшей важности, преодолев затруднения, связанные с движением тела по траектории, отличной от круга.

Он показал, что если тело движется вокруг центрального тела таким образом, что линия, соединяющая их, описывает равные площади в равные времена, по второму кеплерову закону планетного движения (гл. VII, § 141), то это движущееся тело находится под действием притяжения, направленного прямо к центральному телу; и далее, если орбита—эллипс, в фокусе которого находится центральное тело, по первому кеплерову закону планетного движения, то это притяжение изменяется в различных частях орбиты обратно пропорционально квадрату расстояний между обоими телами. Он показал, что кеплеровы законы планетных движений неизбежно приводят нас к заключению, что Солнце оказывает на планеты притягательное действие, обратно пропорциональное квадрату расстояния планеты от Солнца, и что такое притяжение вполне удовлетворительно объясняет движение планеты.

Тем не менее Ньютон продолжал ничего не печатать и «отложил свои вычисления, будучи занят другим».

176. Приблизительно через пять лет внимание его снова обращено было на этот предмет, на этот раз *Эдмундом Галлеем* (гл. X, § 199—205), дружба с которым сыграла важную роль в последующей жизни Ньютона и который являл своей бескорыстной преданностью великому астроному приятный контраст с завистью и рознью, господствовавшими в то время среди многих людей науки. Не зная о ньютоновой работе 1666 г., Галлей открыл в начале 1684 г. закон обратных квадратов как следствие из третьего закона Кеплера, а вскоре после того принял участие в споре Рена и Гука насчёт того, какую кривую описывало бы тело под влиянием притяжения, подчиняющегося этому закону; но никто из них не мог ответить на этот вопрос¹⁾. В том же году, но позже Галлей навестил Ньютона в Кембридже и получил от него ответ. Ньютон потерял свои прежние вычисления, но с характерной для него быстротой вновь произвёл их и прислал Галлею через несколько месяцев. К счастью, его внимание в это время не отвлекалось посторонними темами; он быстро разработал несколько других вопросов движения, которым и посвятил свой обычный осенний курс лекций в университете. Из новых результатов всего интереснее был тот, что третий закон Кеплера, из которого получен был в 1666 г. закон обратных квадратов при условии, что планеты обращаются только по кругам, оказался вполне согласным с законом Ньютона даже и в том случае, если принять планетные орбиты за эллипсы.

177. В конце 1684 г. Галлей отправился в Кембридж и стал убеждать Ньютона опубликовать свои результаты. По его настояниям Ньютон написал и послал в Королевское Общество трактат, озаглавленный *Propositiones de Motu—Предложения о движении*, 11 предложений которого заключали в себе как вышеизложенные, так и другие результаты, относящиеся к движению тел под влиянием тяготения к центру. Хотя положения даны были в абстрактной форме, тем не менее, в трактате указывается, что некоторые из них приложимы к планетам. Под давлением Галлея Ньютон решился, наконец, придать своим результатам более прочную форму и изложил их в большой книге. Как и следовало ожидать, в обработке Ньютона сюжет стал разрастаться, и громадный трактат, вышедший из рук его, содержал в себе огромное количество материала, не вошедшего в *Propositiones de Motu*. К середине 1686 г. черновая рукопись была уже закончена, и часть её приготовлена к печати. Галлей взял на себя не только издержки, но и надзор за печатанием и помог Ньютону в собирании необхо-

¹⁾ Любопытно, что Рен предложил премию в 40 шиллингов тому из своих оппонентов, который разрешил бы эту загадку солнечной системы;

димых астрономических данных. После некоторого промедления в типографии книга, наконец, появилась в начале июля 1687 г. под заглавием *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*—*Математические начала натуральной философии*.

178. *Principia*, или *Начала*, как обыкновенно называют этот трактат, состоит из введения и трёх книг: первая рассматривает общие вопросы движения, разрешаемые по большей части абстрактным путём и не имеющие специального отношения к астрономии; вторая исследует движение тел в средах, сопротивляющихся движению,—например, в обыкновенных жидкостях—и представляет сравнительно мало значений для астрономии, если не считать нескольких указаний на явную несостоятельность теории вихрей Декарта; третья книга рассматривает полученные результаты в приложении их к солнечной системе и даёт объяснение движений небесных тел на основании ньютоновых механических принципов.

179. Введение, состоящее из «Определений» и «Аксиом или законов движения», представляет собой ценный вклад в динамику: это первое связанное изложение основных законов, по которым возникают или изменяются движения тел. Сам Ньютон, повидимому, не придавал большого значения этой части своего труда, и заключённые в ней важные результаты как бы ступёвывались перед более поразительными открытиями, изложенными в других частях книги, и потому обратили на себя сравнительно мало внимания. Большую часть из них мы должны обойти молчанием, но некоторые результаты, представляющие специально астрономический интерес, заслуживают упоминания.

Галилей, как мы видели (гл. VI, § 130 и 133), первый открыл закон, по которому тело, раз начавшее двигаться, продолжает своё движение в том же направлении и с той же скоростью, если какая-нибудь причина не заставляет его изменить это движение. Закон этот был выражен Ньютоном в форме, приведённой в § 130, в качестве первого из трёх основных законов, который и теперь известен под названием первого закона движения.

Далее Галилей открыл, что падающее тело движется с непрерывно изменяющейся скоростью, именно с равномерным ускорением (гл. VI, § 133), и что это ускорение одинаково для всех тел (там же, § 116). Так как стремление тела падать обыкновенно приписывалось влиянию Земли, то открытие Галилея равносильно было признанию того факта, что влияние одного тела на другое может выражаться в ускорении, сообщаемом движению этого последнего. Ньютон расширил эту мысль, показав, что Земля сообщает ускорение движению Луны, а Солнце—движениям планет, и пришёл к общему понятию об ускорении в движении тела, которое можно различным образом объяснять влиянием других тел и которое удобно принять за меру влияния одного тела на другое.

180. К этим понятиям Ньютон присоединил очень важное и трудное понятие *массы*.

При сравнении двух тел, состоящих из одинакового материала, но неодинаковых по объёму, мы привыкли думать, что большее по объёму тяжелее, т. е. обладает большим весом. С другой стороны, мы считаем, что свинцовый шар тяжелее деревянного шара того же объёма. В нашем сознании наиболее заметным фактором «тяжести» или «лёгкости» является ощущение мускульного усилия, требуемого для поддержания или поднятия данного тела; например, для удержания свинцового шара требуется большее усилие, чем для удержания деревянного шара одинакового с ним объёма. Далее, свинцовый шар, подвешенный на эластическом шнурке, например, на резиновом, растягивает его сильнее, нежели деревянный; если их поместить на чашки весов, то свинцовый шар опустится, а деревянный поднимется. Все эти явления мы приписываем «тяжести» тел, и действие Земли на тела привыкли в большинстве случаев также называть тяжестью. Общеизвестный процесс взвешивания тел на весах показывает далее, что мы привыкли считать тяжесть величиной измеримой. С другой стороны, мы знаем из галилеевых результатов, тщательно проверенных Ньютоном посредством целого ряда опытов над маятником, что свинцовый и деревянный шары падают с высоты с одинаковым ускорением. Значит, если действие, оказываемое Землёй на оба шара, измерять их ускорениями, то окажется, что она влияет на них одинаковым образом; если же измерять его силой, с которой приходится удерживать их в равновесии на весах, тогда влияние, оказываемое Землёй на свинцовый шар, окажется большим, нежели влияние на деревянный шар. В этом случае влияние Земли на каждый шар можно выражать тяжестью; а тяжесть тела можно измерять на весах путём сравнения с тяжестью тела, принятой за единицу.

Различие между двумя телами вроде свинцового и деревянного шара можно установить, однако, ещё и другим путём. Легко видеть, например, что для сообщения движения первому шару требуется большее усилие или, если мы каждый из них привяжем к шнурку и станем вращать с определённой скоростью, то в первом случае шнурок натянется туже, чем во втором. В обоих этих случаях притяжение Земли не играет роли, но независимо от него различие всё-таки существует. Это различие Ньютон объяснял разницей в количестве вещества, из которого состоят тела, и этому количеству он дал название массы. Правда, можно сомневаться, выиграла ли наука от этого особенного определения массы, но громадным шагом вперёд было ясное признание массы за свойство тел—свойство, играющее важную роль в вопросах динамики и доступное измерению.

Развивая мысль Галилея, Ньютон за меру действия, оказываемого одним телом на другое, принимал произведение массы на ускорение, именно, особую величину, которой он давал различные названия, теперь заменённые словом *сила*. Вес тела, таким

образом, отождествлялся с силой действия, оказываемого на него Землёй. Так как Земля в одном и том же месте вызывает одинаковое ускорение во всех телах, то из этого следует, что массы тел, находящихся в одном месте, пропорциональны их весам. Так, если два тела подвергаются сравнению в одном и том же месте и вес одного из них оказывается в десять раз больше веса другого, то, значит, и масса его в десять раз превосходит количеством массу другого тела. Но эксперименты вроде опытов Рихе в Кайенне (гл. VIII, § 161) показали, что ускорение падающих тел на экваторе меньше, чем в высоких широтах, так что если перенести тело из Лондона или Парижа в Кайенну, то вес его изменится, хотя масса останется прежней. Ньютонова концепция о том, что притяжение Земли простирается до Луны, придала особо важное значение различию между массой и весом; если тело переместить с Земли на расстояние Луны, то масса его не изменится, но ускорение, сообщаемое притяжением Земли, уменьшится в 60×60 раз, и в такой же пропорции уменьшится и вес.

Ньютон даёт, кроме того, правила ¹⁾ для отыскания результата одновременного действия на тело двух или более сил.

Следующий весьма важный принцип, лишь слабые следы которого мы находим до Ньютона, был им формулирован под именем третьего закона движения в таком виде: «всякому действию соответствует равное и прямо противоположное противодействие, или взаимные действия двух тел всегда равны и противоположны». Здесь действие и противодействие истолковываются в смысле силы. Если камень покоится на руке, то сила, с которой он давит на руку сверху вниз, равна силе, с которой рука давит на камень снизу вверх; если Земля тянет камень книзу с известной силой, то с такой же силой и камень тянет Землю вверх и так далее. Нужно только помнить, что если два тела действуют друг на друга, как в последнем нашем примере, то ускорения их не одинаковы; так как сила измеряется произведением массы на ускорение, то тело с большей массой получает меньшее ускорение. В случае камня и Земли масса этой последней ²⁾ неизмеримо больше массы камня, значит, и ускорение её неизмеримо меньше и потому (как показывает опыт) совершенно неощутительно.

181. Когда Ньютон начинал писать *Principia*, он, вероятно, удовольствовался признанием того факта (§ 173), что притягательная сила Земли простирается до Луны и что производимое Землёй ускорение всякого тела—будь то Луна или близкий к Земле предмет—обратно пропорционально квадрату расстояния от цент-

¹⁾ Общеизвестный параллелограмм сил, о котором прежние писатели имели смутное представление, был ясно формулирован и доказан во введении к *Началам* и в том же году, по любопытному совпадению, обнаружен Вариньоном и Лами.

²⁾ Она составляет приблизительно 6 квадрильонов кг, т. е. $6 \cdot 10^{24}$ кг (гл. X, § 219).

ра Земли. Введя понятия силы и массы, мы получаем такую формулировку закона: *Земля притягивает всякое тело с силой, обратно пропорциональной квадрату его расстояния от центра Земли и прямо пропорциональной его массе.*

Тем же путём Ньютон установил, что движения планет могут быть объяснены их тяготением к Солнцу, сообщаемому им ускорение, обратно пропорциональное квадрату их расстояния от солнечного центра, что справедливо не только для одной и той же планеты в различных частях её орбиты, но и для различных планет. Отсюда вытекает, что Солнце притягивает всякую планету с силой, обратно пропорциональной квадрату её расстояния от центра и прямо пропорциональной её массе.

По третьему закону движения тело, испытывающее тяготение к Земле, в свою очередь должно оказывать на неё равносильное притяжение. Например, если масса Венеры в семь раз больше массы Марса, то сила, с которой Солнце притягивает Венеру, всемерно больше той силы, с которой оно притягивало бы Марс, если бы его перенести на расстояние Венеры. Поэтому во всех рассмотренных нами до сих пор случаях тяготения сила пропорциональна не только массе притягивающего тела, но и массе притягиваемого тела, оставаясь обратно пропорциональной квадрату расстояния. Таким образом, тяготение оказывается уже не свойством одного только центрального тела системы, но и присутствием планетам в такой же мере, как и Солнцу, Луне и камню, как и Земле.

Мало того, то обстоятельство, что отдельные предметы на поверхности Земли притягиваются ею и в свою очередь сами её притягивают, заставляет думать, что свойство притягивать другие тела, обнаруживаемое небесными телами, присуще каждому небесному телу не только в целом, но и отдельным частицам, составляющим его, так что, например, сила, с которой Юпитер и Солнце взаимно притягиваются, есть результат соединённого действия сил, с которыми отдельные частицы, составляющие Юпитер, притягивают частицы, составляющие Солнце, и наоборот. Таким образом, мы подходим, наконец, к формулировке закона тяготения в наиболее общей его форме: *каждая частица материи притягивает каждую другую частицу с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними¹⁾.*

182. Во всех приведённых нами астрономических примерах притяжения между различными небесными телами трактовались так, как если бы они были в точности направлены к центру этих тел, а расстояния между телами принимались за расстояния между их центрами. О сомнениях Ньютона в этом пункте по поводу

¹⁾ Насколько нам известно, Ньютон не даёт краткой формулировки закона в совершенно законченном и общем виде; отдельные части его излагаются в различных местах *Principia*.

притяжения тел Землёй мы уже говорили (§ 173), но в начале 1685 г. ему удалось оправдать своё предположение. С помощью необычайно изящного и простого рассуждения он показал (*Начала*, книга I, предложения 70, 71), что если тело обладает шарообразной формой и равномерной плотностью, то оно притягивает всякую внешнюю частицу точно так, как если бы вся масса его сосредоточивалась в центре. Далее, он показал, что это справедливо и для шара неодинаковой плотности, если только его можно рассматривать, как состоящий из ряда сферических материальных оболочек, на манер скорлупок, имеющих общий центр, причём на протяжении всей оболочки плотность одинакова, но в одной оболочке она может быть иная, чем в другой. Таким образом вывод Ньютона приложим к полому резинового шару в такой же мере, как и к литому (т. е. сплошь резинового), но неприменим к шару, склепанному из деревянного и железного полушарий.

183. После того как Ньютон установил закон тяготения, перед ним возникла трудная задача, которой он посвятил большую часть первой и третью книгу *Начал*, — вывести из закона тяготения и трёх своих «законов движения» свойства движения различных членов солнечной системы и показать, если возможно, что вычисленные таким образом движения согласуются с наблюдаемыми. Если бы это удалось, то получилось бы самое тонкое и строгое доказательство справедливости ньютоновых принципов.

Понятие о солнечной системе как о механизме, каждый член которого влияет на движение каждого другого члена по всеобщему закону тяготения, как ни просто само по себе, всё-таки порождает, в чём легко убедиться, весьма серьёзные затруднения, если мы попытаемся фактически приложить его к вычислению различных движений. Если бы при исследовании движения планеты, вроде Марса, возможно было считать Марс находящимся под влиянием притяжения одного только Солнца, а влияниями других планет пренебречь, тогда задача получила бы полное разрешение из предложений, установленных Ньютоном в 1679 г. (§ 175); при помощи их положение Марса в любой момент можно было бы вычислить с желаемой степенью точности. На самом же деле движение Марса зависит ещё и от притяжений, оказываемых на него всеми остальными планетами (и спутниками планет), а эти последние в свою очередь связаны с положением Марса (как и других планет), а, значит, и с его движениями. Такого рода задача вообще превосходит силы любого из существующих математических методов. К счастью, однако, масса даже величайшей из планет (Юпитера) настолько мала по сравнению с массой Солнца, что на движение какой-либо планеты её соседки оказывают лишь слабое влияние; поэтому каждую из планет можно считать движущейся почти так, как если бы других планет и не существовало; влияние этих последних впоследствии, однако, учитывается при вычислении *возмущений*, или *пертурбаций*, т. е.

уклонений орбиты исследуемого тела от своей первоначальной формы. Хотя и в этом упрощённом виде задача планетных движений представляется одной из труднейших (гл. XI, § 228) и Ньютон не мог решить её более или менее полным образом, однако ему удалось получить некоторые общие результаты, вытекающие из взаимодействия планет; интереснее всего было медленное поступательное движение апсид земной орбиты, давно уже замеченное астрономами (гл. III, § 59). Ньютон указал, кроме того, что Юпитер благодаря своей огромной массе должен вызывать значительные пертурбации в движении своего соседа, Сатурна; этим он объяснил до некоторой степени неправильность, впервые замеченную Горроксом (гл. VIII, § 156).

184. Движение Луны представляет особенные трудности, но Ньютону, сильно, повидимому, интересовавшемуся лунной теорией, удалось преодолеть их гораздо полнее, нежели соответственные затруднения в вопросе о кометах.

Движение Луны вокруг Земли прежде всего зависит от притяжения этой последней; пертурбации, вызываемые другими планетами, незначительны; Солнце же, хотя и находится на большом расстоянии, зато обладает массой, неизмеримо превосходящей земную, и потому оказывает заметное возмущающее влияние на движение Луны. Как мы уже говорили, некоторые неправильности лунного движения (гл. II, § 40, 48; гл. V, § 111) были обнаружены путём наблюдения. Ньютон сумел показать, что влияние Солнца неизбежно должно порождать пертурбации того же характера, как и наблюдаемые, а в вопросе о движении лунных узлов и апогея Луны он даже в состоянии был прийти к очень точным численным результатам¹⁾; он открыл, кроме того, ещё несколько других, по большей части очень малых неправильностей, до него никем не замеченных. Он указал также на существование известных неправильностей в движениях спутников Юпитера и Сатурна, аналогичных тем, которые мы наблюдаем в движении нашей Луны.

185. Из ньютоновой теории тяготения вытекает группа следствий совершенно особенного характера. Именно, впервые представилась возможность оценивать массы некоторых небесных тел путём сравнения притяжений, оказываемых ими на другие тела, с притяжением Земли.

Иллюстрируем это на примере Юпитера. Время обращения так называемого четвёртого спутника Юпитера составляет около

¹⁾ Обыкновенно утверждают, что ньютонова оценка движения лунных апсид составляет лишь половину истинной величины. В примечании к 35-му предложению третьей книги, находящемуся в первом издании *Начал*, но опущенному впоследствии, он оценил годовое перемещение в 40° , тогда как из наблюдений оказалось около 41° . В одной из невиданных своих бумаг, хранящихся в Портсмутском собрании, он даёт оценку в 39° , полученную из вычисления, которое он сам, повидимому, считал не вполне удовлетворительным.

16 дней 16 часов, а расстояние его от планеты оценено было Ньютоном (не совсем точно), как примерно учетверённое расстояние Луны от Земли. Вычисление, вполне сходное с тем, какое изложено в § 172 или § 173, показывает, что ускорение, сообщаемое спутнику притяжением Юпитера, почти в десять раз превосходит ускорение, сообщаемое Луне Землёй, а так как расстояние его от Юпитера в четыре раза больше лунного, то отсюда следует, что Юпитер притягивает тела с силой, в $10 \times 4 \times 4$ раза большей той, с какой Земля их притягивает на том же расстоянии; следовательно, масса Юпитера в 160 раз превосходит земную. Это рассуждение применяется и к Сатурну, и таким же точно образом сопоставление движения планеты, например, Венеры, вокруг Солнца с движением Луны вокруг Земли даёт соотношение между массами Солнца и Земли. Таким путём Ньютон нашёл, что масса Солнца соответственно в 1 067, 3 021 и 169 282 раза больше массы Юпитера, Сатурна и Земли. В настоящее время приняты цифры: 1 047, 3 500, 332 300. Громадная ошибка в ньютоновом определении последней цифры произошла от неверной оценки расстояния Солнца, — в то время недостаточно точно известного, — от которого зависят оценки других расстояний солнечной системы (кроме расстояния системы Земля—Луна). Так как для пользования этим методом необходимо было наблюдение движений тела, притягиваемого исследуемой планетой, то он не мог быть применён к остальным трём планетам (Марсу, Венере и Меркурию), у которых не числилось спутников.

186. Из равенства действия и противодействия следует, что если Солнце притягивает планеты, то и они притягивают Солнце и, значит, Солнце находится в движении, правда, весьма ничтожном благодаря сравнительной малости масс планет. Отсюда вытекает, что третий закон Кеплера не совсем точен; отклонения от него впрочем заметны лишь для больших планет, Юпитера и Сатурна (гл. VII, § 144). Ньютон, однако, доказал, что во всякой системе тел, движущихся как в солнечной системе, под влиянием взаимного притяжения, есть особая точка, называемая *центром тяжести*, которую всегда можно считать неподвижной; Солнце перемещается относительно этой точки, но так мало, что расстояние между центром Солнца и центром тяжести никогда на много не превосходит диаметра Солнца.

Можно отчасти удивляться тому, что за этот результат не ухватились некоторые церковники, принимавшие участие в осуждении Галилея, со времени которого прошло около полувека; если этот результат и не подтвердил мнения, что Земля находится в центре мира, то во всяком случае опроверг ту часть доктрины Коперника и Галилея, по которой Солнце покоится неподвижно в центре мира. Вероятно, ни один из тех, кому доступна была книга Ньютона, не мог серьёзно поддерживать какой бы то ни было антикопер-

никанской системы, хотя некоторые наружно и продолжали подчиняться папским декретам ¹⁾).

187. Факт различия времени качания маятника в различных частях земного шара, обнаруженный Рихе в 1672 г. (гл. VIII, § 161), налёл на мысль, что Земля не обладает геометрически правильной шарообразностью. Ньютон показал, что это уклонение от шаровидной формы является общим следствием взаимного притяжения составляющих Землю частиц и суточного её вращения. Он мысленно прорыл канал от полюса к центру Земли, оттуда—

¹⁾ До Ньютона как коперниканцы, так и их противники обыкновенно признавали, что «движение» и «покой» тела имеют некоторый смысл и без отношения к другому телу. Но в действительности мы можем наблюдать лишь движения тела относительно другого или нескольких других тел. Астрономические наблюдения, например, говорят нам об известном относительном движении Земли и Солнца; это движение выражалось двумя совершенно различными способами Птоломеем и Коперником. С формальной точки зрения конечный вопрос здесь таков: как будет проще выразить движения различных тел солнечной системы, относительно ли Земли или относительно Солнца? Оказалось более удобным выразить их, как сделали Коперник и Галилей, относительно Солнца; выражение это ещё более выиграет в простоте, если мы будем говорить о Солнце как о «неподвижном» и опускать определение «относительно» Солнца, говоря о движении всякого другого тела. Те же движения можно выразить и относительно другого, произвольно выбранного тела, например, относительно одной из стрелок часов, лежащих в кармане человека, прогуливающегося взад и вперёд по палубе корабля во время качки; ясно, что в этом последнем случае движения остальных тел солнечной системы относительно этого тела окажутся неизмеримо сложными, и было бы весьма неудобно, хотя и возможно, трактовать это последнее тело, т. е. часовую стрелку, как «неподвижное».

Иной вид принимает задача, если мы попытаемся, подобно Ньютону, представить движения тел солнечной системы как результат влияний, оказываемых ими друг на друга. Разобравшись, примерно, в первом ньютоновом законе движения (гл. VI, § 130), мы увидим, что он не имеет смысла, если нам неизвестно, каково то тело или тела, к которым мы относим движение; тело, находящееся в покое относительно Земли, движется относительно Солнца или неподвижных звёзд, и приложимость к нему первого закона зависит; следовательно, от того, считаемся ли мы только с его движением относительно Земли или нет. В большинстве земных движений достаточно применять законы движения к движению относительно Земли; другими словами, мы можем в этих случаях считать Землю «неподвижной». Но если мы тщательнее исследуем некоторые земные движения, то найдём, что такое толкование законов движения не совсем правильно, но что наблюдаемые явления получают более точное объяснение, если законы движения мы станем относить к движению относительно солнечного центра и линий, проведённых от него к звёздам; другими словами, мы сочтём центр Солнца за «неподвижную» точку, а эти линии за «неподвижные» направления. Но, с другой стороны, когда мы имеем дело с солнечной системой, то эта интерпретация обыкновенно оказывается несколько неточной, и нам приходится считать «неподвижным» центр тяжести солнечной системы вместо Солнца. С такой точки зрения мы можем сказать, что в *Началах* Ньютон имел целью показать возможность выбора некоторой точки (центра тяжести солнечной системы) и направлений (линий, соединяющие эту точку с неподвижными звёздами) за основу сравнения, к которой можно относить все движения; таким образом законы движения и тяготения дают удовлетворительное объяснение движениям тел солнечной системы.

к некоторой точке на экваторе, наполнил эти каналы водой (ВОаА на рис. 70) и вычислил условия, при которых водяные столбы *ОВ* и *ОА*, притягиваемые к центру Земли, могли бы находиться в равновесии. Этот метод требовал некоторых допущений относительно внутреннего состояния Земли, о котором мы и поныне очень мало знаем, вследствие чего найденное Ньютоном числовое выражение оказалось недостаточно точным, хотя общий

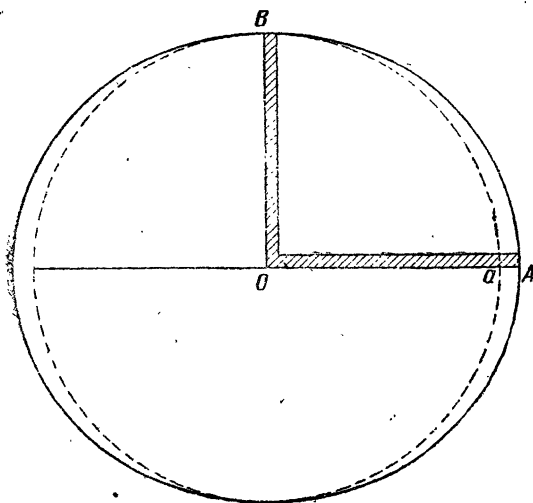


Рис. 70. Сфероидальная форма Земли.

основанной как на фактическом измерении Земли, так и на теоретических вычислениях (гл. X, § 224), около $\frac{1}{230}$ *ОА*. И Ньютонова, и принятая в наше время дробь, выражающая сплюснутость Земли, так малы, что изобразить это сжатие на рисунке нет возможности: на рис. 70 отрезок *аА* мы увеличили для ясности чуть не в 30 раз против истинной его величины.

Приблизительно таким же образом Ньютон определил и сжатие Юпитера, который, благодаря своему быстрому вращению, сплюснут гораздо в большей степени, нежели Земля; это обстоятельство было подмечено Домиником Кассини с помощью телескопа четыре года спустя после издания *Principia*.

188. Определение фигуры Земли повело к объяснению предвращения равноденствий—явления, открытого за 1800 лет перед тем (гл. II, § 42), но всегда составлявшего загадку для астрономов.

Если Земля—правильный шар, то притяжение, оказываемое ею на какое-либо другое тело, таково, как если бы вся масса её была сосредоточена в её центре (§ 182), и притяжение, оказываемое на неё каким-либо телом вроде Солнца или Луны, эквивалентно одной силе, проходящей через центр *О* Земли; всё это

результат его исследований, именно, что Земля приплюснута у полюсов и расширена у экватора, вполне безошибочен. Если пунктирную линию, изображённую на рисунке, мы примем за круг радиуса, равного расстоянию полюса *В* от центра Земли *О*, то действительная поверхность Земли простирается у экватора за пределы этого круга до *А*, причём *аА* составляет по Ньютону приблизительно $\frac{1}{230}$ часть от *ОА*, а по современной оценке,

не приложимо, однако, к Земле, если она не вполне шарообразна. В самом деле, действие Луны или Солнца на шарообразную часть Земли, внутри отмеченного пунктиром круга на рис. 70, выражается силой, проходящей через O и не проявляющей стремления повернуть Землю в каком-нибудь направлении около её центра; но притяжение, оказываемое на остальную часть её, носит уже иной характер, и Ньютон показал, что оно порождает движение земной оси в общем такого же характера, как и прецессия. И действительно, вычисленная Ньютоном величина прецессии оказалась весьма близкой к наблюдаемой, что произошло прочтем от компенсации двух погрешностей, коренившихся в несовершенном знании формы и состава Земли, равно как и в ошибочной оценке расстояния Солнца и массы Луны, так как из этих двух величин Ньютон ни одной не мог измерить с достаточной точностью¹⁾. Далее он показал, что рассматриваемое движение не может быть вполне равномерным, но что земная ось благодаря неодинаковому действию Солнца в различных его положениях совершает колебания, отклоняясь то в одну, то в другую сторону через каждые шесть месяцев, правда, на крайне незначительную величину.

189. Ньютон дал общее объяснение приливам, показав, что они своим существованием обязаны возмущающему действию Луны и Солнца, из которых первое важнее. Если мы предположим Землю состоящей из твёрдого шарообразного ядра, покрытого океаном, то Луна будет притягивать различные части её неодинаково, и в частности притяжение, измеряемое ускорением, которое оно вызывает, для ближайшей к Луне части воды, будет больше притяжения, оказываемого на твёрдую Землю, которое в свою очередь превзойдёт притяжение, оказываемое Луной на наиболее удалённую от неё часть океана. Следовательно, вода двинется по поверхности Земли, и общий характер движения будет таков, как если бы обращённая к Луне часть океана притягивалась ею, а противоположная отталкивалась. Благодаря вращению Земли и собственному движению Луна возвращается в прежнее положение относительно какого-нибудь пункта на Земле через сутки и 50 минут (в среднем). Следовательно, из рассуждений Ньютона следует, что приливы (или отливы), производимые Луной, сменяют друг друга в данном месте через промежутки, приблизительно равные половине вышесказанного периода; другими словами, каждый день происходят два прилива, но какая-нибудь частная фаза прилива ежедневно запаздывает на 50 минут сравнительно с предыдущим днём; этот теоретический результат

¹⁾ Годичную прецессию, порождаемую Солнцем, он считал в $9''$, а лунную приблизительно в четыре с половиной раза большей, так что в сумме получалось около $50''$, что согласуется с наблюдением до дробных долей секунд; теперь мы знаем, однако, что лунная прецессия немногим больше чем в два раза превосходит солнечную.

согласуется с наблюдением. Аналогичным рассуждением Ньютон показал, что и Солнце порождает сходные, но только меньшие приливы, так что всякий прилив в сущности представляет собой комбинацию двух приливов. Он показал ещё, что в новолуние и полнолуние лунный и солнечный приливы складываются, а в квадратурах (первая и последняя четверти) они имеют тенденцию противодействовать друг другу; таким образом, получил объяснение тот факт, что наибольшие приливы наблюдаются через двухнедельные промежутки. Исходя из этих же принципов, Ньютон объяснил и множество других особенностей приливных явлений.

Ньютон искусно пользовался наблюдениями над высотой прилива в эпохи соединённого действия Луны и Солнца и в эпохи их противодействия, имея в виду сравнить приливо-возбуждающие силы Луны и Солнца, а затем выразить массу Луны в долях массы Солнца и, следовательно, массы Земли (§ 185). В результате этих исследований масса Луны оказалась почти вдвое больше современной оценки; но так как до Ньютона никто не подозревал возможности измерить массу Луны хотя бы в самой грубой форме и самый этот результат пришлось исторгнуть из хаоса бесчисленных усложнений, связанных с теорией и наблюдениями приливов, то мы не можем не признать его весьма замечательным шагом вперёд. Ньютонова теория приливов основана на некоторых гипотезах, которые необходимо было создать для того, чтобы можно было приступить к решению задачи, но которые, разумеется, были неправильны; он знал об этом и, следовательно, должен был внести важные изменения, если хотел привести свои результаты в согласие с наличными фактами. Уже, например, одно существование суши, непокрытой водой, само по себе способно внести важные изменения в приливные явления в различных местах. Таким образом, теория Ньютона никоим образом не могла, например, предсказывать момент наступления приливов в желаемом месте или высоту данного прилива, хотя и давала удовлетворительное объяснение многим из приливных явлений в общих чертах.

190. Как мы видели (гл. V, § 103; гл. VII, § 146), кометы до недавнего сравнительно времени считались земными телами, порождением высших слёз нашей атмосферы, и даже наиболее просвещённые астрономы, которые, подобно Тихо, Кеплеру и Галилею, причисляли их к небесным телам, не были в состоянии дать какое-нибудь объяснение их движениям и, казалось бы, совершенно неправильным появлениям и исчезновениям. Ньютон задался вопросом, нельзя ли движение кометы объяснить подобно планетным движениям тяготением к Солнцу. Если это так, то путь кометы, как он доказал в начале *Principia*, должен представлять или эллипс, или одну из двух других родственных кривых, *параболу* или *гиперболу*. Если бы комета двигалась по эллипсу, лишь слегка уклоняющемуся от круга, то она никогда не могла бы удалиться на большое расстояние от центра солнечной системы

и регулярно появлялась бы на нашем горизонте; наблюдения, однако, этого не показывают. Если же эллипс сильно растянут, как на рис. 71, то период обращения может быть очень велик, и большую часть его комета может находиться в таком удалении от Солнца и, следовательно, от Земли, что наблюдать её нет возможности. В этом случае комета становилась бы видимой лишь на короткий срок и затем исчезла бы из виду, чтобы вновь появиться через очень большой промежуток времени, когда её естественно примут за новую комету. Если путь кометы—парабола (которую можно принять за бесконечно удлинённый эллипс), то она совсем не вернётся и будет видима лишь в ближайшей к Солнцу части своей орбиты. Но когда комета движется по параболе, имея Солнце в фокусе, то положения, занимаемые ею на близком от него расстоянии, почти такие же, какие она занимала бы, если бы двигалась по растянутому эллипсу (рис. 71), и, следовательно, в этом случае трудно распознать истинный характер орбиты. Нью-

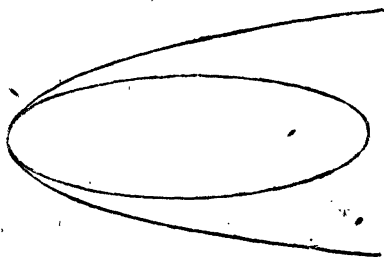


Рис. 71. Эллипс и парабола.

тон поэтому разработал более простой в математическом отношении случай движения по параболе и нашёл, что комете, обратившей на себя всеобщее внимание зимой 1680—1681 г., соответствует параболическая орбита, так как вычисленные в этом предположении места кометы близко согласовались с наблюдаемыми её положениями. В позднейших изданиях *Principia* исследованы движения нескольких других комет с тем же результатом. Таким образом, установлено было, что во многих случаях путь кометы представляет собой или параболу, или растянутый эллипс, и что подобных результатов следует ожидать и впредь. Это подчинение порядку произвольных, повидимому, кометных движений и включение их наряду с планетами в один и тот же класс тел, движущихся около Солнца под действием притяжения, можно смело отнести к числу поразительнейших из множества открытий, содержащихся в *Principia*.

В том же отделе Ньютон обсуждает природу комет, в особенности же строение их хвостов, и приходит к выводу, в общем согласному с современными теориями (гл. XIII, § 304), что хвост образован потоком чрезвычайно разреженной материи вроде дыма, истекающей из тела кометы и освещаемой лучами Солнца, когда комета настолько приблизится к нему, что вступает в период видимости.

191. *Principia*, как мы видели, изданы были в 1687 г. Напечатано было, кажется, весьма небольшое количество экземпляров, разошедшихся в течение трёх или четырёх лет. После

первых открытий Ньютона и представленного им в Королевское Общество трактата *De Motu* (§ 177) учёный мир ожидал найти в *Principia* новые важные результаты, и книга была, повидимому, прочитана выдающимися математиками и астрономами континента, не говоря уже о чрезвычайно тёплом приёме, оказанном ей в Англии. Однако картезианская философия ещё крепко стояла на ногах и её нелегко было пошатнуть; основной принцип Ньютона, включавший в себя идею взаимодействия между двумя телами, разделёнными промежутком повидимому пустого пространства, был едва ли доступен уму мыслителей, не вполне ещё оценивших возможность доказательства научной теории степенью согласия её выводов с наблюдаемыми фактами. Вот почему даже такой человек, как Гюйгенс (гл. VIII, § 154, 157, 158), считал идею тяготения «абсурдом» и выражал своё изумление по поводу того, что Ньютон предпринял столь необъятную массу трудных вычислений, не имея в основе ничего, кроме упомянутого принципа, — замечание, показывающее, что Гюйгенсу недоступно было понятие о том, что согласие результатов этих вычислений с наблюдаемыми фактами является доказательством прочности принципа. Неприязнь учёных континента к теории Ньютона отчасти объясняется причинами личного свойства, каков, например, знаменитый спор Ньютона и Лейбница из-за прав на открытие того, что Ньютон называл флюксиями, а Лейбниц дифференциальным методом (из которого развилось дифференциальное и интегральное исчисление); спор этот разгорался всё сильнее и привлекал новых участников на ту и другую сторону. Полвека протекло, прежде чем воззрения Ньютона сделали существенные успехи на континенте (гл. XI, § 229). В Англии же дело обстояло иначе: там не только *Principia* были с восторгом прочитаны теми немногими, кто мог понять книгу, но даже учёные, вроде Бентли, философы, вроде Локка, и передворцы, вроде Галифакса, пытались усвоить общие идеи Ньютона, хотя подробности его математических доказательств и были им не по силам. Кроме того, вскоре выявилась тенденция воспользоваться научными идеями Ньютона в качестве теологических аргументов.

192. Нежелательным результатом громадного успеха *Начал* в Англии было то, что Ньютон из скромного кембриджского профессора, обладавшего массой досуга и ничтожным окладом, превратился в персону с видным общественным положением, которой приходилось уделять всё большую и большую часть своего времени общественным обязанностям того или иного рода.

Как раз перед опубликованием *Principia* Ньютон был назначен одним из представителей от университета для защиты прав его от попопзновений Якова II, а два года спустя заседал в качестве члена университета в парламентском съезде, хотя удалился после закрытия его.

Невзирая на эти и многие другие помехи, Ньютон продолжал трудиться над теорией тяготения, уделяя особенное внимание лунной теории—предмет чрезвычайно трудный, исследованием которого он никогда не оставался вполне удовлетворён¹⁾. К счастью, ему удавалось иногда получать превосходные наблюдения Луны (как и других тел) от королевского астронома Флемстида (гл. X, § 197, 198), хотя непрерывные просьбы Ньютона и нередкие отказы Флемстида порождали иногда между ними натянутые отношения. Возможно, что в это время Ньютон собирался написать новый трактат с более полным рассмотрением вопросов, затронутых в *Principia*; в 1691 г. уже носились слухи о новом издании *Principia*, быть может, задуманном кем-либо из молодых математиков. Как бы то ни было, в течение нескольких лет в этом направлении не предпринималось ничего серьёзного, вероятно, вследствие тяжёлого недуга,—повидимому сильного нервного расстройства,—поразившего Ньютона в 1692 г. и продолжавшегося около двух лет. Во время этой болезни, по собственным его словам, «он не пользовался обычным состоянием своего ума», и до сих пор не удостоверено, возвращалась ли к нему когда-либо его прежняя умственная сила в полном объёме.

Вскоре по выздоровлении от этого недуга он взялся за приготовления к новому изданию *Principia* и кроме того возобновил занятия лунной теорией; но работа его снова была прервана в 1695 г., когда он получил почётное назначение хранителя монетного двора, а затем, четыре года спустя, был повышен в управляющие. В связи с этим ему пришлось переселиться в Лондон (1696) и посвятить значительную часть своего времени официальным обязанностям. В 1701 г. он отказался от своей кафедры в Кембридже и в том же году вторично был избран представителем от университета в парламент. В 1703 г. он был избран президентом Королевского Общества, которым и состоял до своей смерти.

В этот период он напечатал (1704) свой трактат по оптике, большая часть которого была, вероятно, написана гораздо раньше, а в 1709 г. совершенно отказался от мысли об издании *Principia* собственными силами и поручил это дело Роджеру Котсу (1682—1716), блестящему молодому математику, безвременная смерть которого несколькими годами позже вызвала у Ньютона известную фразу: «Если бы Котс был жив, мы узнали бы кое-что». Изменения, которые следовало внести в книгу, обсуждались в долгой и оживлённой переписке между издателем и автором; наиболее важными пунктами были улучшения и добавления к лунной теории и к теории прецессии и комет, хотя и кроме них внесена была масса мелких изменений; новое издание появи-

¹⁾ Однажды в припадке отчаяния Ньютон сказал Галлею, что «от лунной теории у него болит голова и что она так часто заставляет его просыпаться, что он хотел бы никогда не думать о ней».

лось в 1713 г. Третье издание, выпущенное Пембертоном, опубликовано было в 1726 г.; но на этот раз Ньютон, которому уже перевалило за 80, принимал гораздо меньшее участие, и изменения, внесённые в книгу, не представляли особенной важности. Это был последний научный труд Ньютона, а в следующем году он умер (3 марта 1727 г.).

193. Невозможно составить себе полное представление о неизмеримой важности научных открытий Ньютона, если не пользоваться в широких размерах техническим языком математики, на котором они большей частью выражены. Слова его личного недруга Лейбница, что «если взять математику от сотворения мира до эпохи Ньютона, то он всё же создал лучшую половину её», и замечание его великого преемника Лагранжа (гл. XI, § 237): «Ньютон был величайший гений из всех, когда-либо существовавших, и самый счастливый, ибо только однажды дано человеку открыть систему мира», — отлично показывают беспредельное уважение, которое питали к его трудам лица, наиболее способные судить о них.

Любопытно сопоставить с этими горячими похвалами ньютоново благодарное признание заслуг своих предшественников: «Если я узрел больше других, то только потому, что стоял на плечах гигантов» и скромную оценку собственных своих трудов:

«Не знаю, как на меня посмотрит мир; но самому себе я представляюсь мальчиком, играющим на морском берегу и приходящим в восхищение, когда ему удаётся порой найти более гладкий, нежели обыкновенно, камушек или красивую раковину; между тем, громадный океан сокровенной истины простирается передо мной».

194. Желая объяснить различие между тем, что сделал Ньютон, и успехами, сделанными его предшественниками, иногда говорят, что они открыли, как движутся небесные тела, а он показал, почему эти движения такие, а не иные, или, другими словами, что они описали движения небесных тел, тогда как он объяснил их или раскрыл их причину. Можно, однако, сомневаться, имеет ли это, безусловно удобное в некоторых отношениях, различие между «как» и «почему» какие-нибудь реальные основания. Птоломей, например, представлял движение планеты определённым сочетанием эпициклов; его схема соответствовала особому методу описания движений; если бы его спросили, почему планета должна занимать такое-то положение в такой-то момент, то он с полным правом мог бы ответить, что это происходит потому, что планета связана со своей определённой системой эпициклов и место её можно отыскать с помощью строгого вычисления. Но если бы мы пошли дальше и спросили, почему эпициклы планеты таковы, а не какие-нибудь иные, то Птоломей не мог бы дать ответа. Сверх того, так как система эпициклов разнилась для каждой планеты во многих важных отношениях, то система Птолемея оставляла без ответа множество вопросов, настоятельно требовавших реше-

ния. На некоторые из этих вопросов в состоянии был бы ответить Коперник. На вопрос, почему существуют некоторые планетные движения, соответствующие известным эпициклам, он бы ответил, что это происходит от известных движений Земли, из которых означенные (кажущиеся) планетные движения вытекают как необходимое следствие. Но это есть в сущности описательное выражение того, что Земля движется определённым образом, а планеты в свою очередь обладают определёнными движениями. Далее, если бы Коперника спросили, почему Земля вращается на своей оси или почему планеты обращаются вокруг Солнца, то он не мог бы дать ответа; ещё меньше того мог бы он сказать, почему планеты проявляют в своих движениях некоторые неправильности, изображаемые его эпициклами.

Кеплер, с своей стороны, описал ещё проще и короче эти самые движения при помощи своих трёх законов; если бы его спросили, почему движение планеты изменяется известным образом, то он мог бы ответить, что это совершается потому, что все планеты движутся по эллипсам, описывая равные площади в равные времена. А почему это так, Кеплер не мог бы ответить, хотя потратил много времени на размышления об этом предмете.

На этот вопрос, однако, ответил Ньютон, показавший, что планетные движения являются необходимыми следствиями его закона тяготения и законов движения. Кроме того, из этих самых законов, чрезвычайно простых в формулировке и весьма немногочисленных, вытекало в качестве необходимого следствия движение Луны и многие другие астрономические явления, равно как и некоторые общеизвестные земные явления вроде падения тел; таким образом, множество групп наблюдаемых фактов, доселе не имевших, повидимому, между собой ничего общего, были приведены в связь как необходимые следствия из определённых основных законов. Но опять-таки воззрения Ньютона на солнечную систему можно с неменьшим правом считать за описательное выражение того обстоятельства, что планеты и т. п. движутся с определёнными ускорениями одна к другой. Впрочем, так как истинное положение или скорость движения планеты в данное время можно получить из законов Ньютона только с помощью весьма сложных вычислений, то они не вполне наглядно иллюстрируют наблюдаемые небесные движения, и потому их не так легко счесть за описание.

В свою очередь и законы Ньютона необходимо предполагают вопрос, почему тела притягивают друг друга вышеописанным образом: и на этот вопрос, законность которого Ньютон вполне признавал, он не был в состоянии ответить. Мы можем, далее, спросить, почему планеты обладают такими-то размерами, находятся на таких-то расстояниях от Солнца и т. п., и на эти вопросы Ньютон опять-таки не мог бы дать ответа.

Но в то время как вопросы, оставленные без ответа Птоломеем, Коперником и Кеплером, были полностью или отчасти разрешены их преемниками, причём необъяснённые прежними астрономами факты оказались необходимыми следствиями иных, более простых и общих законов, на вопросы, оставленные без ответа Ньютоном, до настоящего дня никто не сумел дать более или менее удовлетворительного ответа.

Но если бы в текущем году или более отдалённом будущем кому-нибудь удалось показать, что тяготение является следствием некоторого ещё более общего закона, то этот новый закон принёс бы с собой новое «почему».

Однако, если законы Ньютона нельзя считать конечным объяснением явлений солнечной системы иначе, как в том историческом смысле, что не была ещё обнаружена зависимость их от других более основных законов, то успех, с которым они довольно точно «объясняли» огромную массу наблюдённых фактов во всех частях солнечной системы, и их всеобщий характер дали могущественный толчок развитию идеи о возможности объяснения наблюдаемых фактов в других отраслях науки, как, например, в химии и физике, аналогичным же образом, именно, как следствия сил, действующих между телами; отсюда уже один шаг к представлению о материальной вселенной, как о состоящей из известного числа тел, действующих друг на друга с определёнными силами таким образом, что все наблюдаемые перемены являются необходимыми следствиями этих сил и могут быть предсказываемы тем, кто обладает достаточным знанием этих сил и достаточным математическим искусством для того, чтобы развить их следствия.

Верна ли эта концепция материальной вселенной или нет, она во всяком случае оказала несомненно важное влияние на ход научных открытий, равно как и на философское мышление и, хотя она никогда не была формулирована Ньютоном, а некоторые стороны её он бы, вероятно, отверг, однако, есть указания, что в голове его носились подобные мысли, и те исследователи, которые крепче всего держались за эту концепцию, несомненно от него заимствовали свои идеи, прямо или косвенно.

195. Научный метод Ньютона не представляет существенных отличий от галилеевского (гл. VI, § 134), который называют либо *полной индукцией*, либо *обратно-дедуктивным методом*, причём разница названий соответствует различию усилий, направляемых то на одну, то на другую часть одного и того же в общем процесса. Из наблюдений или опытов получают факты; для объяснения их изобретаются гипотезы или временные теории; из такой теории получают, если возможно, путём строго дедуктивного суждения определённые следствия, которые можно сопоставить с действительными фактами, и затем производят сравнение. В некоторых случаях первый процесс оказывается наиболее важным, но в теории Ньютона самая убедительная часть

доказательства справедливости его результатов заключается в последних двух процедурах, особенно в проверке. Это обстоятельство, быть может, до некоторой степени затемнено его знаменитой фразой: «*Hypotheses non fingo*»—«я не строю гипотез», смысл которой не вяжется с остальным текстом. Эти слова встречаются в заключении его *Principia* после тех строк, где он говорит о всемирном тяготении:

«Я ещё не был в состоянии вывести (*deducere*) из явлений причину означенных свойств тяготения и не строю гипотез. Ибо всё, чего нельзя вывести из явлений, должно называть гипотезой».

Ньютон, по всей вероятности, имел в виду представления вроде декартовых вихрей, которые невозможно было вывести прямо из наблюдений и следствия которых или не поддавались разработке и сопоставлению с действительными фактами, или оказывались несостоятельными. Ньютон, правда, отбрасывал гипотезы, не выдерживавшие проверки, но он постоянно строил гипотезы, подсказанные наблюденными фактами и подтверждаемые согласием их следствий с новыми фактами наблюдения. Прекрасным тому примером является случай, когда он распространил действие тяжести на Луну (§ 173): он знаком был с некоторыми фактами относительно движения падающих тел и движения Луны и ему пришло в голову, что притяжение Земли может простираться до Луны, а некоторые другие факты, связанные с третьим законом Кеплера, подсказали ему закон обратных квадратов. Если это верно, то ускорение, получаемое Луной от Земли, должно было иметь определённую величину, которую можно было найти посредством вычисления. Вычисление было сделано и оказалось приблизительно в согласии с действительным движением Луны.

Прекрасно иллюстрирует огромную важность процесса проверки то обстоятельство, что основные законы Ньютона были им установлены не во всей строгости, но что недостатки его доказательств были впоследствии в значительной мере восполнены тщательной процедурой проверки его преемниками. Движения, происходящие в солнечной системе, выведенные Ньютоном из законов тяготения и законов движения, только грубо согласовались с наблюдениями; оставалось много неразрешённых разногласий, и хотя учёные твёрдо были убеждены, что эти разногласия произошли от естественного несовершенства ньютонова метода вычисления, однако потребовалась масса труда и искусства со стороны целого ряда математиков, чтобы устранить их малопомалу, а некоторые незначительные неправильности остались и по сей день неразгаданными (гл. XIII, § 290).

ГЛАВА X

НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ В XVIII в.

«С Ньютоном теория сделала громадные успехи и стала впереди наблюдения; теперь наблюдение прилагает все усилия, чтобы стать на один уровень с теорией».

Бессель

196. Ньютон в сущности создал новую область астрономии, так называемую *астрономию тяготения* и завещал своим последователям проблему—вывести движения небесных тел из их взаимных тяготений полное, чем это удалось сделать ему самому.

В XVIII в. соотечественники Ньютона почти ничего не сделали для решения этой задачи, и истинными его последователями оказалась группа математиков континента, приступивших к работе вскоре после его смерти, хотя не раньше полувека после первого издания *Principia*.

Эта неспособность английских математиков сообщить дальнейшее развитие открытиям Ньютона отчасти объясняется отсутствием или малочисленностью истинных талантов, отчасти же особенностями математической формы, в которой Ньютон излагал свои открытия. *Principia* почти всецело изложены языком геометрии, видоизменённым специальным образом соответственно надобности; с другой стороны, почти всем последующим своим успехом астрономия тяготения обязана математическому методу, известному под именем *анализа*. Хотя различие между этими двумя методами в состоянии вполне оценить только тот, кто пользовался ими обоими, однако, мы, может быть, дадим об этом различии некоторое понятие, если скажем, что в геометрической трактовке астрономической задачи каждая ступень аргументации выражается так, чтобы её можно было перевести на язык первоначального условия, тогда как в аналитической трактовке задача сперва выражается с помощью алгебраических символов; этими символами оперируют по определённым, чисто формальным правилам, совершенно не заботясь об интерпретации промежуточных ступеней, и лишь конечный алгебраический результат, если его можно получить, даёт после интерпретации решение первоначальной задачи. Геометрическое решение задачи, если оно возможно,

бывает обыкновенно короче, яснее и изящнее; но, с другой стороны, каждый специальный вопрос или частную задачу приходится рассматривать в отдельности, тогда как аналитическое решение в значительной мере отыскивается по неизменным правилам, приложимым к большому числу случаев. В эпоху Ньютона современный анализ только зарождался; некоторые из важнейших частей этого метода были созданы Лейбницем и самим Ньютоном; хотя он сам иногда пользовался анализом для решения астрономической задачи, однако имел обыкновение переводить свои результаты перед обнародованием на язык геометрии; к этому, по всей вероятности, его побуждало в значительной мере личное пристрастие к изящным геометрическим доказательствам, а отчасти нежелание усугублять многочисленные трудности *Начал* введением сравнительно малоизвестных математических методов. Но если в руках такого мастера, как Ньютон, геометрические методы могли дать поразительные результаты, то младшие его последователи едва ли в состоянии были достигнуть новых результатов при пользовании этими методами. Необычайное благоговение перед Ньютоном и его приёмами вместе с рознью, долго не прекращавшейся между английскими и континентальными математиками (результат спора о флюксиях, гл. IX, § 191), мешали первым воспользоваться аналитическими методами, которые быстро совершенствовались трудами учеников Лейбница и других математиков континента. Таким образом, английские математики были почти изолированы от иностранных в течение всего XVIII в., и если не считать превосходного труда *Колэна Маклорена* (1698—1746), поднявшего ньютонову теорию фигуры Земли на высшую ступень, то в течение почти столетия по смерти Ньютона в Англии не было сделано ничего существенного для развития теории тяготения.

Зато в других отделах астрономии были сделаны важные успехи как при жизни Ньютона, так и в последующую эпоху, и по курьёзному совпадению, в то время как идеи Ньютона развивались главным образом французскими математиками, Парижская обсерватория, на которой Пикар и другие совершали столько превосходных трудов (гл. VIII, § 160—162), в последующее столетие дала очень мало ценных результатов, и большая часть лучшей наблюдательной работы XVIII в. выпала на долю ссотечественников Ньютона. Для удобства мы разграничим эти две области астрономической науки и о развитии теории тяготения поговорим в следующей главе.

197. Первым из великих английских наблюдателей мы отметим современника Ньютона *Джона Флэмстида*, родившегося близ Дерби в 1646 г. и умершего в Гринвиче в 1720 г. К сожалению, труды его, не дав ни одного блестящего открытия, носили такой характер, что изложить их в более или менее увлекательной форме или дать верное представление об их обширности и значении было бы весьма трудно. Это был один из тех трудолюбивых и

добросовестных исследователей, результаты работ которого драгоценны в смысле материала для будущих изысканий, но в самих себе не заключают ничего поразительного.

Ещё мальчиком он произвёл несколько астрономических наблюдений и написал несколько работ по астрономии технического содержания, которые были замечены. В 1675 г. он был членом комитета по составлению доклада о методе нахождения долготы на море, предложенном правительству неким французом по имени *Сен-Пьер*. Комитет, действуя, главным образом, в направлении, указанном Флэмстидом, неблагоприятно отзывался о вышесказанном методе и обратился к Карлу II с ходатайством об учреждении национальной обсерватории в тех видах, что лучшее знакомство с небесными телами поведёт к нахождению удовлетворительного метода определения долготы,—проблемы, представлявшей огромную практическую важность при быстром развитии английского мореплавания. Король согласился, и Флэмстид в том же году был назначен на новую должность королевского астронома, с ежегодным окладом в 100 фунтов (600 рублей по тогдашнему курсу), а 12 июня 1675 г. был подписан указ о постройке обсерватории в Гринвиче. Постройка заняла около года времени; Флэмстид поселился в Гринвиче и приступил к работе в июле 1676 г., пять лет спустя после того, как Кассини вступил в отправление своих обязанностей на Парижской обсерватории (гл. VIII, § 160). Гринвичская обсерватория во многом, однако, отличалась от своей пышной сестры. Король, правда, снабдил Флэмстида зданием и очень небольшим окладом, но не дал ему ни инструментов, ни помощника. Некоторые инструменты у Флэмстида уже имелись; ещё несколько ему подарили богатые друзья, и он постепенно приобретал на свой счёт все нужные приспособления. Через несколько лет после его назначения правительство прислало ему рабочего, обязанного помогать ему в исполнении чёрной работы, но ему пришлось обзавестись более опытным помощником на собственный счёт, а это последнее обстоятельство заставило его уделять некоторую долю своего драгоценного времени частным урокам.

198. Главной заслугой Флэмстида было составление более точного и более обширного звёздного каталога, чем все, до него существовавшие; кроме того, он произвёл массу наблюдений Луны, Солнца, а отчасти и других тел. Подобно Тихо, создателю большого звёздного каталога (гл. V, § 107), он находил всё новые задачи, постоянно возникавшие в процессе его работы и требовавшие разрешения прежде окончания им главного труда, а потому мы обязаны ему изобретением многих улучшений в практической астрономии; наибольшей известностью пользуется его метод определения места точки весеннего равноденствия (гл. II, § 42), одной из основных точек, к которой относят все положения тел на небесной сфере. Он был первый астроном, систематически пользовавшийся часами для нахождения одной из двух основных величин

прямого восхождения), необходимых при определении положения звезды; этот метод впервые придумал и отчасти применял Ликар (гл. VIII, § 157). По получении необходимых инструментов Флэмстид сейчас же ввёл в постоянное употребление телескопические перекрёстные нити Гаскойня и Озу (гл. VIII, § 155) вместо наблюдений невооружённым глазом. Итак, в то время как Гевелий (гл. VIII, § 153) был последним и самым точным наблюдателем старой школы, пользовавшимся методами, существенно не отличавшимися от тех, какие были в употреблении в течение ряда столетий, Флэмстид принадлежит к новой школе, и методы его скорее в деталях, чем в принципе, отличаются от тех, которыми пользуются теперь для аналогичных работ в Гринвиче, Париже, Пулкове или Вашингтоне. Эти новые методы в связи с редкой добросовестностью в выполнении мелочей сделали наблюдения Флэмстида значительно более точными, чем современные ему или прежние наблюдения, и решительный шаг вперёд по сравнению с ними был сделан только Брадлеем (§ 218).

Флэмстид стоит выше многих наблюдателей, ибо он не только производил и записывал наблюдения, но и выполнял скучную процедуру, известную под названием редукции (§ 218), благодаря которой результаты наблюдений облекаются в форму, облегчающую пользование ими для других астрономов: на современных обсерваториях эта процедура выполняется обыкновенно ассистентами, но Флэмстиду приходилось самому возиться с ней. По этой и по другим причинам он крайне неохотно публиковал свои наблюдения; мы уже упоминали (гл. XI, § 192) о том, с какими затруднениями Ньютон получал от него наблюдения Луны. С течением времени среди астрономов распространилась уверенность, что цель, ради которой была основана обсерватория, не достигается: Флэмстид вечно страдал от нездоровья, равно как и от денежных и других затруднений, о которых мы говорили выше; сверх того он в гораздо большей мере предпочитал задерживать у себя наблюдения до тех пор, пока они не приобретут возможной степени точности, чем публиковать их в менее совершенной форме, чтобы ими пользовались для исследований, которые он однажды назвал «причудами мистера Ньютона»; разумеется, его чрезвычайно раздражали упреки в промедлении с обнародованием наблюдений. Между Флэмстидом, с одной стороны, и Ньютоном и Галлеем, — с другой, происходили неприятные ссоры. Последней каплей, переполнившей чашу, было самовольное издание Галлеем в 1712 г. тома наблюдений Флэмстида, в ответ на что Флэмстид не без оснований обозвал Галлея «злонамеренным похитителем». Три года спустя ему удалось завладеть всеми непроданными экземплярами и уничтожить их, но, к счастью, он приготовил к печати подлинное издание. *Historia Coelestis Britannica* (Британская история неба), как он назвал свою книгу, содержала в себе огромный ряд наблюдений, сделанных до и во время его жизни в

Гринвиче, но самой вечной и драгоценной частью её остаётся каталог положений почти 3 000 звёзд¹⁾.

Сам Флэмстид дожил только до окончания второго из трёх томов; третий был издан его ассистентами *Авраамом Шарпом* (1651—1742) и *Джозефом Кростуэтом*; всё сочинение издано было в 1725 г. Четыре года спустя появился его прекрасный звёздный атлас, долго остававшийся во всеобщем употреблении.

Каталог не только в три раза превосходил размерами каталог Тихо, но и был гораздо точнее его. По оценке (Бесселя) оказалось, что в то время как тиховы положения звёзд отличались от истинных в среднем на 1', соответственные погрешности Флэмстида едва достигали 10". Эта величина соответствует видимому диаметру шиллинга с расстояния в 500 ярдов (приблизительно двугривенный с расстояния 440 метров); так что если на концах диаметра этой монеты сделать две метки и отнести её на расстояние 500 ярдов, то одна из этих меток изобразит собой истинное направление звезды, а другая—направление, показанное в каталоге Флэмстида. В некоторых случаях, разумеется, ошибка могла быть гораздо больше, а в других значительно меньше.

Флэмстид не внёс в астрономию ни одной идеи первостепенной важности; он не обладал искусством Пикара или Ремера в изобретении технических улучшений и мало интересовался теоретической работой Ньютона²⁾; зато благодаря неослабной энергии и редкой добросовестности ему удалось завещать своим преемникам настоящую сокровищницу наблюдений, выполненных со всей точностью, какую допускали его инструменты.

199. В звании королевского астронома Флэмстиду наследовал *Эдмунд Галлей*, о котором мы уже упоминали (глава IX, § 176) как о друге и помощнике Ньютона.

Родившись в 1656 г., десятью годами позже Флэмстида, Галлей изучал астрономию в школьные годы и уже в 1676 г. напечатал работу об орбитах планет. В том же году он отправился на остров Святой Елены (16° южной широты) с целью записать наблюдениями звёзд, близких к южному полюсу и потому невидимых в Европе. Климат заставил его вскоре вернуться оттуда, и ему удалось лишь издать (1678) каталог положений 341 южной звезды, явившийся, однако, немаловажным дополнением к точным знаниям о звёздах. Каталог этот был замечателен ещё тем, что положения, данные в нём, впервые основывались на телескопических наблюдениях, производившихся, впрочем, не со всей точностью, какую допускали инструменты Галлея. Во время своего пребывания на острове Святой Елены он произвёл несколько на-

¹⁾ Их указано 2 935, но из них 12 дубликатов.

²⁾ Взаимное отношение между трудами Флэмстида и Ньютона выражено с большей точностью, нежели вежливостью, самими астрономами во время ссоры из-за лунной теории: «сэр Исаак разработал руду, которую я откопал». — «Если он откопал руду, то я смастерил золотое кольцо».

блюдений над маятником, подтвердивших результаты, полученные несколькими годами раньше Рише в Кайенне (гл. VIII, § 161), и наблюдал, кроме того, прохождение Венеры по диску Солнца, случившееся в ноябре 1677 г.

По возвращении в Англию он принимал деятельное участие в разработке текущих научных вопросов, особенно соприкасавшихся с астрономией, и отчасти способствовал их разрешению. В 1684 г., как мы видели, он впервые близко столкнулся в своей работе с Ньютоном и в следующие несколько лет уделял значительную часть своего времени для содействия Ньютону в подготовке его *Principia* к печати.

200. Из многочисленных услуг, оказанных Галлеем астрономии и затрагивавших почти все её отрасли, наиболее известной и, быть может, важной является его труд о кометах. Галлей наблюдал кометы 1680 и 1682 годов; следуя принципам Ньютона, он определил орбиты и этих, и нескольких других комет, значившихся в летописях, и доставил много материала для тех отделов *Principia*, в которых говорится о кометах, особенно в позднейших изданиях. В 1705 г. он издал *Очерк кометной астрономии*, в котором было вычислено не менее 24 кометных орбит. Поражённый сходством между орбитами комет 1531, 1607 и 1682 годов и приблизительным равенством промежутков между последовательными появлениями этих комет и появлением ещё одной кометы, наблюдавшейся в 1456 г., он со свойственной ему проникательностью догадался, что три последние кометы, если не все четыре, в сущности были различными появлениями одной и той же кометы, обращающейся около Солнца по сильно удлинённому эллипсу с периодом около 75—76 лет. Различие между 76-летним промежутком, отделяющим появление кометы в 1607 г. от предыдущего появления в 1531 г., и более коротким промежутком между 1607 и 1682 гг. он объяснял предположительными возмущениями, причиняемыми планетами, мимо которых проходила комета, и, наконец, отважился предсказать появление этой кометы (по справедливости носящей его имя) через 76 лет после последнего её появления, т. е. около 1758 г., хотя он допускал, что планетные возмущения могут изменить время её появления; действительное появление кометы в назначенное время (гл. XI, § 231) отметило собой важный момент в развитии наших знаний об этих загадочных блуждающих светилах.

201. В 1693 г. Галлей прочёл в Королевском Обществе доклад, в котором обратил внимание на трудность согласования некоторых древних затмений с известными тогда особенностями движения Луны и указал на возможность незначительного возрастания средней скорости движения Луны вокруг Земли.

Эта неправильность, ныне известная под названием *векового ускорения среднего движения Луны*, впоследствии была более прочно установлена прямым наблюдением, а затруднения,

которые встретились при попытке объяснить её тяготением, сделали её одним из самых интересных среди многочисленных лунных неравенств (гл. XI, § 240 и гл. XIII, § 287).

202. Галлей оказал астрономии ценную услугу, указав на важность ожидаемых в 1761 и 1769 гг. прохождений Венеры по диску Солнца, как средства определения расстояния Солнца. Этот метод в очень смутной форме предложен был Кеплером и более определённо Джемсом Грегори в его *Оптике*, напечатанной в 1663 г. Галлею эта мысль пришла впервые при наблюдении прохождения Меркурия в 1677 г. В трёх докладах, напечатанных Королевским Обществом, он горячо защищает преимущества этого метода и подробно рассматривает вопрос о наиболее удобном месте и средствах для наблюдения прохождения 1761 г. Галлей указывает, что желаемый результат можно вывести из сравнения продолжительности прохождения Венеры, наблюдаемого с различных пунктов земного шара, т. е. промежутков между первым появлением Венеры на солнечном диске и её исчезновением с него, наблюдаемых с двух или более различных станций. Сверх того, он рассчитал, что этот промежуток времени продолжительностью в несколько часов можно будет измерить с погрешностью не более двух секунд и что поэтому рекомендуемый метод может дать расстояние Солнца с ошибкой до $\frac{1}{500}$ истинной его величины. Так как существующие в то время оценки расстояния Солнца отличались между собой на 20 или 30 процентов, то весьма естественно, что новый метод, предложенный Галлеем с обычной его ясностью и энтузиазмом, побудил астрономов заняться самыми ревностными приготовлениями по указаниям Галлея. Результаты, однако, как мы увидим (§ 227), никоим образом не соответствовали ожиданиям Галлея.

203. В 1718 г. Галлей обратил внимание на тот факт, что три общеизвестных звезды, Сириус, Прокцион и Арктур, со времени греков изменили свои угловые расстояния от эклиптики, а Сириус заметно изменил своё положение даже со времени Тихо Браге. Кроме того, сравнение положений других звёзд показало, что эти перемены нельзя удовлетворительно объяснить каким бы то ни было движением эклиптики, и хотя Галлей хорошо знал, что погрешности наблюдения сообщают значительную неопределённость этим величинам, он был всё-таки уверен, что эти погрешности не могут вполне объяснить замечаемых разногласий, а что упомянутые звёзды действительно изменили свои положения относительно остальных; и он, естественно, пришёл к выводу, что подобные *собственные движения* (как их теперь называют) могут быть замечены и у других так называемых «неподвижных» звёзд.

204. Немало времени он посвятил назревшему астрономическому вопросу об улучшении лунных и планетных таблиц, особенно первых. В 1683 г. он делал наблюдения над Луной, произвёл некоторые улучшения в таблицах. Ещё в 1676 г. он заметил

ошибки в существовавших таблицах Юпитера и Сатурна и, наконец, удостоверился в существовании некоторых неправильностей в движении этих двух планет, — неправильностей, давно уже заподозренных Горроксом (гл. VIII, § 156); эти неправильности он справедливо приписал взаимным возмущениям означенных планет, хотя и не обладал достаточными математическими познаниями для того, чтобы разработать свою теорию; из наблюдений, однако, он смог довольно точно измерить упомянутые неправильности и, введя на них поправку, исправить планетные таблицы.

Но ни лунные, ни планетные таблицы не были закончены в той форме, какая ему представлялась удовлетворительной. Около 1719 г. они были отпечатаны, но не выпущены в продажу, в чаянии дальнейших улучшений. Наследовав Флэмстиду в звании королевского астронома (1720), Галлей обратил особенное внимание на производство новых наблюдений, но застал обсерваторию почти без инструментов, так как те, которыми пользовался Флэмстид, составляли его частную собственность и в качестве таковой были увезены его наследниками или кредиторами. Хотя Галлей обзавелся некоторыми инструментами, при помощи которых произвёл много наблюдений, главным образом, над Луной, однако возраст (63 года), в котором он вступил в свою новую должность, не позволял ему проявлять слишком большую инициативу и слишком ревностно выполнять свои обязанности, и потому сделанные им наблюдения оказались второстепенной важности, так что таблицы, для улучшения которых они специально предназначались, были окончательно изданы лишь в 1752 г., через десять лет после смерти своего составителя. Хотя эти таблицы, таким образом, появились гораздо позже той эпохи, для которой их собственно изготовляли, и мало чем обязаны были успехам науки, совершившимся за истекший промежуток времени, однако они сразу приобрели значение и некоторое время не переставали считаться образцом для Таблиц лунных и планетных движений (§ 226 и 247).

205. Многосторонность Галлея как учёного иллюстрируется, между прочим, усердием, которое он обнаружил при издании сочинений великого греческого геометра Аполлония (гл. II, § 38) и звёздного каталога Птолемея (гл. II, § 50). Он же первый из астрономов современной эпохи обратил серьёзное внимание на явления, наблюдаемые при полном затмении Солнца; в живописном описании наблюдавшегося им затмения 1715 г. он не только упоминает о загадочной короне, которую ещё раньше замечали Кеплер и другие (гл. VII, § 145), но и обращает внимание на очень узкую полоску тёмного, но густого красного цвета, очевидно, представлявшую собой часть замечательной оболочки Солнца, столь ревностно изучаемой в наше время (гл. XIII, § 301) под названием хромосферы.

Для иллюстрации бескорыстного энтузиазма Галлея в вопросах науки и его прозорливости небезынтересно заметить, что два

главных труда, которыми он больше всего известен в настоящее время, при жизни его не получили должной оценки, и только после его смерти (1742) принесли плоды, ибо его комета возвратилась в 1759 г., когда он уже 17-й год лежал в могиле, а первое из двух прохождений Венеры, от которых он ожидал получить расстояние Солнца, случилось ещё двумя годами позже (§ 227).

206. Третий королевский астроном, *Джеймс Брайлей*, больше всего известен двумя замечательными открытиями—абберации света и нутации земной оси. Открытия эти столько же замечательны сами по себе, сколько и по тому остроумному и деликатному методу рассуждения и кропотливо-точным наблюдениям, с помощью которых они были сделаны: однако они были чисто случайными обстоятельствами в долгой и интенсивной деятельности, потребовавшей массы драгоценного труда.

Внешние события жизни Брайлея можно обрисовать в двух словах. Родившись в 1693 г., он окончил в надлежащее время Оксфордский университет (бакалавр в 1714 г., магистр словесности в 1717 г.), но первые сведения из астрономии и положительную склонность к этому предмету он получил от своего дяди *Джеймса Паунда*, в течение многих лет состоявшего ректором Уанстеда в Эссексе и считавшегося лучшим наблюдателем своего времени. По окончании Оксфордского университета Брайлей жил несколько лет вместе со своим дядей, с которым и произвёл много наблюдений. Первое из зарегистрированных наблюдений Брайлея относится к 1715 г., а к 1718 г. он уже успел заслужить такую известность в учёном мире, что удостоился избрания в члены Королевского Общества. Но, как замечает его биограф, «от астрономических трудов его ничего не предвиделось для обеспечения жизни, и потому он был поставлен перед необходимостью искать себе профессию». Он принялся за дело, и в скором времени ему посчастливилось найти две должности, с которыми соединялись обязанности, повидимому, очень мало препятствовавшие продолжению его астрономических занятий в Уанстеде.

В 1721 г. он был назначен профессором астрономии на Севилианскую кафедру Оксфордского университета. Профессура, повидимому, оказалась очень лёгкой, и он больше десяти лет подряд проживал главным образом в Уанстеде, даже после смерти своего дяди, последовавшей в 1724 г. В 1732 г. он нанял дом в Оксфорде, куда перевёз большую часть своих инструментов, оставив, однако, самый важный в Уанстеде, именно, «зенитный сектор», при помощи которого он сделал свои два знаменитых открытия. Десять лет спустя, после смерти Галлея, освободился пост королевского астронома, который и был предложен Брайлею.

За последние несколько лет жизни Галлея работы на обсерватории были сильно запущены, и первой заботой Брайлея было произвести необходимый ремонт инструментов. Хотя снабжение обсерватории инструментами, достойными её положения и состоя-



БРАДЛЕЙ

ния науки того времени, было делом нескольких лет, однако, уже через несколько месяцев по назначении Бадделя некоторые из наиболее важных инструментов были приведены в полный порядок, и начались систематические наблюдения. Проведя остальные 20 лет своей жизни (1742—1762) главным образом в Гринвиче в исполнении своих служебных обязанностей и в производстве связанных с ними изысканий, Баддлей сохранил за собой профессию в Оксфорде и продолжал производить наблюдения в Уанстеде по меньшей мере до 1747 г.

207. Открытие аберрации явилось следствием попытки обнаружить параллактическое перемещение звёзд, которое должно было бы происходить от годового движения Земли. Со времени Коперника эта важная проблема (гл. IV, § 92 и гл. VI, § 129), естественно, в высшей степени интересовала астрономов-наблюдателей, из которых многие пытались обнаружить параллактическое перемещение, а некоторые (не исключая «всемирного претендента» Гука) претендовали даже на успех в этой попытке. В действительности же все эти попытки оказывались бесплодными, а Баддлею не больше повезло в упомянутом предприятии, чем его предшественникам; зато ему удалось получить из своих наблюдений два результата огромного интереса и важности и совершенно неожиданного свойства.

Задача, которую Баддлей себе поставил, заключалась в том, чтобы определить, обнаруживает ли какая-нибудь звезда в течение года небольшое перемещение относительно других звёзд или неподвижных точек небесной сферы вроде полюса. Заранее было известно, что такое движение, если оно существует, должно быть крайне ничтожным, и для решения задачи требовались поэтому чрезвычайно тонкие технические приспособления и величайшая тщательность наблюдений. Сперва Баддлей работал в сотрудничестве со своим приятелем *Самуэлем Молине* (1689—1728), построившим в Кью телескоп. Следуя методу, применявшемуся при аналогичном исследовании Гуком, результаты которого желательно было проверить, они укрепили телескоп почти в вертикальном положении, так что одна из звёзд Дракона (*γ Draconis*) вступала в поле его всякий раз при прохождении через меридиан; приняты были самые тщательные меры к тому, чтобы телескоп не изменял своего положения в течение года. Если бы исследуемая звезда обладала каким-нибудь движением, изменяющим её расстояние от полюса, то оно сопровождалось бы соответственным изменением положения её в поле телескопа. Первые наблюдения сделаны были 14 декабря 1725 г. (нов. ст.), а 28 декабря Баддлею уже показалось, что он заметил лёгкое перемещение звезды к югу. 1 января существование этого движения подтвердилось, и с тех пор его продолжали наблюдать; в марте звезда достигла крайнего своего положения, после чего начала отступать к северу. В сентябре она снова изменила направление своего движения и

к концу года завершила цикл своих перемен и вернулась в первоначальное своё положение; в максимуме изменения его доходили до 40".

Таким образом, звезда оказалась подверженной некоторому годичному перемещению. Однако Баддлю сейчас же стало ясно, что это не то параллактическое движение, которого он искал, ибо положение звезды было таково, что параллакс относил бы её к югу в декабре и к северу в июне; словом, звезда испытывала бы каждую перемену своего положения тремя месяцами раньше того времени, какое давалось наблюдением. Баддлю представилось другое объяснение, именно, что земная ось обладает колебательным движением или нутацией, изменяющей положение небесного полюса и вследствие этого производящей соответственное изменение в положении звезды. Такое движение небесного полюса должно, очевидно, давать противоположные результаты для звёзд, расположенных по обе стороны от него, так как, придвигаясь к одной из звёзд такой пары, он удаляется от другой. Через две недели после имевшего решающее значение наблюдения 1 января была избрана звезда¹⁾ для проверки вышеуказанного предположения; результат этой проверки лучше всего передаётся словами самого Баддлея:

«Первое, что пришло мне в голову, была нутация земной оси, но это предположение вскоре оказалось недостаточным; хотя им можно было объяснить перемены в склонении γ Дракона, однако, оно не соответствовало явлениям, происходившим с другими звёздами. Особенно это заметно было на одной звёздочке, почти противоположной γ Дракона в прямом восхождении и находящейся приблизительно на таком же расстоянии от северного полюса экватора; ибо хотя эта звезда кажущимся образом перемещалась так, как того требовала бы нутация земной оси, однако то обстоятельство, что она переместилась в склонении лишь на половину того, что γ Дракона за то же время (как оказалось из сравнения наблюдений, сделанных над обеими звёздами в одни и те же дни, в различные времена года), ясно показывает, что кажущееся перемещение звёзд в действительности не происходит от нутации, так как в этом случае смещения обеих звёзд должны были бы оказаться приблизительно одинаковыми (по абсолютной величине)».

Испытаны были ещё одно или два объяснения, но они также оказались несостоятельными, и в результате целого ряда наблюдений, обнимавших слишком два года, исследуемое явление, будучи вполне установлено, оставалось почти без всякого объяснения.

Тем временем Баддлей установил в Уанстеде собственный инструмент, расположив его так, что в него можно было наблюдать движения не только γ Дракона, но и других звёзд.

Несколько звёзд тщательно наблюдалось в течение года, и полученные таким образом наблюдения дали Баддлею полное представление о геометрических законах, по которым звёздные

¹⁾ Телескопическая звёздочка, так называемая 37 Жирафа каталога Флэмстида.

движения изменялись в зависимости от положения звезды и времени года.

208. Верное объяснение *абберации*, как впоследствии назвали рассматриваемое нами явление, пришло ему в голову, кажется, в сентябре 1728 г. и после должной проверки сообщено было Королевскому Обществу в начале следующего года. По распространённому рассказу¹⁾ Брадлей однажды заметил, плывя по Темзе, что вымпел на верхушке мачты изменял своё направление относительно берегов всякий раз, когда судно меняло курс; от матросов он узнал, что это происходит не от перемены направления ветра, но от перемены курса судна.

В самом деле, направление, показываемое вымпелом, не было истинным направлением ветра, но являлось результатом комбинации движений ветра и судна; точнее сказать, вымпел показывал направление движения ветра относительно судна. Заменяя в воображении ветер светом от звезды, а меняющее свой курс судно Землёй, обращающейся вокруг Солнца и непрерывно изменяющей направление своего движения, Брадлей нашёл объяснение, которое, будучи разработано в деталях, весьма удовлетворительно прилагалось к кажущимся переменам в положении изучавшейся им звезды. Приведём его собственные слова:

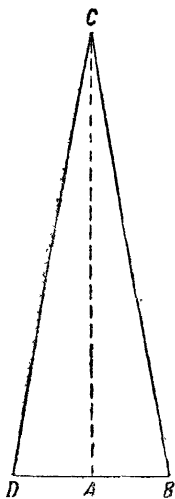


Рис. 72. Абберация света. Из статьи Брадлея.

«Наконец, я догадался, что все упомянутые явления происходят от постепенного распространения света и годовичного движения Земли по своей орбите. Ибо я видел, что если свет распространяется во времени, то кажущееся положение неподвижного предмета, когда глаз находится в покое, будет иное, чем когда он движется в направлении, отличном от линии, соединяющей предмет с глазом, и что когда глаз движется в различных направлениях, то и кажущиеся положения объекта будут различны.

Я рассмотрел это обстоятельство следующим образом. Я принял CA за луч света, перпендикулярно падающий на линию BD ; тогда, если глаз покоится в A , он должен видеть предмет в направлении AC , будет ли свет распространяться во времени или передаваться мгновенно. Но если глаз движется от B к A , а свет распространяется во времени со скоростью, относящейся к скорости движения глаза, как CA к BA , то, когда свет движется от C к A , в то время как глаз перемещается из B в A , та частица его, по которой будет распознан предмет, когда глаз придёт в A , находится ещё в C , когда глаз помещается в B . Соединив точки B и C , я вообразил на месте линии CB трубку (наклонённую к линии BD под углом DBC) такого диаметра, который пропускал бы только одну световую частицу; тогда легко понять, что световая частица C (по которой предмет воспринимается глазом по прибытии его

¹⁾ Этот рассказ приводится в *Истории Королевского Общества* Т. Томсона, изданной 80 с лишним годами позже (1812), но мы не могли найти более раннего свидетельства о нём. Собственный отчёт Брадлея о своём открытии заключает в себе массу подробностей, но ни малейшего намёка на это событие.

в A) пройдёт через трубку BC , если она наклонена к BD под углом DBC , и будет сопровождать глаз в его движении из B в A ; ясно также, что она, не достигнет глаза, помещённого позади такой трубки, если трубка будет наклонена к DB под иным углом...

Хотя, таким образом, истинное или действительное направление объекта перпендикулярно к линии, по которой движется глаз, однако видимое направление окажется иным, так как оно без сомнения будет совпадать с направлением трубки; но различие между истинным и кажущимся положениями, при равенстве прочих условий, будет больше или меньше в зависимости от различного отношения между скоростью света и глаза. Так что если бы свет распространялся мгновенно, то между истинным и кажущимся положением объекта не было бы разницы, хотя бы глаз даже и находился в движении, так как в этом случае AC бесконечно велико по сравнению с AB , и угол ACB (различие между истинным и кажущимся положениями) обращается в нуль. Но если свет распространяется во времени (что, надеюсь, охотно допускают многие философы нашего века), тогда из предыдущих рассуждений очевидно, что всегда будет существовать разница между истинным и кажущимся положением объекта, если только глаз не будет двигаться прямо к нему или от него».

Объяснение Брадlea показывает, что кажущееся положение звезды определяется движением её света относительно Земли, так что звезда кажется ближе к той точке небесной сферы, к которой в данное время движется Земля. Для иллюстрации приведём общеизвестный пример. Всякий гуляющий под дождём в безветренный день с наибольшим успехом защищается от дождя, держа зонтик не прямо над головой, но наклонив его немного вперёд, точь в точь, как он сделал бы, если бы он находился в покое, а лёгкий ветер дул бы ему в лицо. И действительно, если бы он забыл о собственном движении и держал бы зонтик прямо над головой, то ему показалось бы, что лёгкий ветер задувает ему дождь в лицо.

209. В вышеприведённом нами отрывке из статьи Брадlea рассмотрен лишь простейший случай, когда направление звезды составляет прямой угол с направлением движения Земли. В другом месте он показывает, что, в каком бы направлении звезда ни лежала, эффект в общем получится одинаковый, только меньшей величины. На рисунке Брадlea (рис. 72) величина уклонения звезды от истинного своего положения выражается углом BCA , зависящим от величины соотношения между линиями AC и AB ; но если (рис. 73) Земля движется (с той же скоростью) в направлении $B'A$ вместо BA , наклонно к направлению звезды, то уже из рисунка видно, что уклонение звезды, выражающееся углом ACB' , окажется меньше, чем в первом случае; величина его изменяется по простому математическому закону¹⁾ в связи с изме-

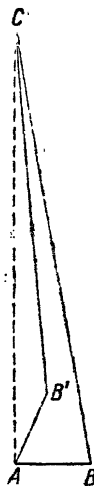
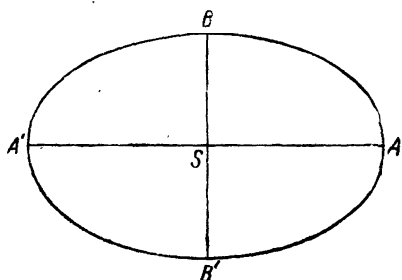


Рис. 73.
Аберрация света.

¹⁾ Оно равно $k \sin CAB$, где k есть постоянная аберрации.

нением упомянутого угла. Из этого следует, что рассматриваемое перемещение неодинаково для различных звёзд, как и показали уже наблюдения Брайля, а вдобавок оно неодинаково и для одной и той же звезды в различные времена года, так что звезда



кажущимся образом описывает кривую, весьма сходную с эллипсом (рис. 74), центр которого S соответствует положению, которое звезда занимала бы, если бы аберрации вовсе не существовало. Нетрудно видеть, что, как бы звезда ни была расположена, движение Земли всё-таки два раза в год, через шестимесячные промежутки, бывает перпендикулярно к направлению на звезду и что в эти моменты звезда обнаруживает наибольшее отклонение от среднего своего положения и, следовательно, находится в концах большой оси описываемого ею эллипса в точках A и A' , тогда как в промежуточные эпохи она претерпевает наименьшее отклонение, как, например, в B и B' .

Наибольшее перемещение, SA , т. е. половина AA' , одинаковое для всех звёзд, известно под названием *постоянной аберрации* и установлено было Брайлем в $20-20\frac{1}{2}''$; в настоящее же время принята величина $20'',47$. С другой стороны, наименьшее перемещение, SB , т. е. половина BB' , зависит, как показано было, просто от расстояния звезды от эклиптики и будет тем больше, чем дальше звезда от эклиптики.

210. Постоянная аберрации, выражающаяся углом ACB на рис. 73, зависит только от отношения между прямыми AC и AB , в свою очередь пропорциональными скоростям света и Земли. Наблюдения аберрации дают отношение этих двух скоростей. Исходя из оценки постоянной аберрации, данной Брайлем, можно путём простых вычислений убедиться, что скорость света приблизительно в 10 000 раз превосходит скорость движения Земли: Брайль выразил этот результат в той форме, что свет пробегает расстояние между Солнцем и Землёй в течение 8 минут 13 секунд. Из наблюдений над затмениями спутников Юпитера Ремер и другие нашли, что этот промежуток времени равен 8—11 минутам (гл. VIII, § 162), и, таким образом, Брайль получил удовлетворительное доказательство истинности своего открытия. Раз навсегда установив аберрацию, этим вычислением можно было пользоваться для точного измерения скорости света в радиусах земной орбиты, так как определение аберрации возможно выполнить с гораздо большей точностью, чем соответственные измерения, требуемые методом Ремера.

211. Необходимо упомянуть об одной из трудностей, связанных с теорией аберрации. В вышеприведённом объяснении Брайля, как мы видели, принимает свет за материальную субстанцию, истекающую из звезды или другого светящегося тела. Это находилось в согласии с теорией истечения света, поддерживавшейся веским авторитетом Ньютона и пользовавшейся всеобщим признанием в XVIII в. Современные физики, однако, совершенно оставили ньютоновскую теорию истечения, в связи с чем объяснение Брайля теряет значительную долю своей убедительности; вопрос оказывается гораздо более трудным, и даже самые тщательные и добросовестные современные исследования не дают вполне удовлетворительного решения его.

212. Брайль, разумеется, не упускал из виду первоначальной цели своих исследований. Он удовольствовался впрочем тем, что согласие между наблюденными положениями γ Дракона и её положениями, вычисленными из аберрации, было настолько хорошим, что всякое перемещение звезды в силу параллакса, если бы таковой существовал, могло бы быть никак не больше $2''$, а по всей вероятности — не больше $1\frac{1}{2}''$, так что огромный параллакс почти в $30''$, на открытие которого претендовал Гук, следовало отвергнуть как безусловно ошибочный.

С точки зрения коперникова учения открытие Брайля было, однако, столь же важно и ничем не хуже открытия параллакса; ведь если бы Земля находилась в покое, то никакого объяснения аберрации нельзя было бы дать.

213. Столь тесное согласие теории с наблюдением удовлетворило бы менее аккуратного и требовательного астронома. В докладе Брайля об аберрации (1729) мы, однако, читаем:

«Равным образом мне пришлось столкнуться с некоторыми малыми изменениями в склонении других звёзд в различные годы, повидимому, не коренящимися в той же причине... Но происходят ли эти малые отклонения от какой-либо постоянной причины, или же зависят от несовершенства или изменений в веществе и т. п. моего инструмента, я ещё не в состоянии решить с уверенностью».

Получив эту тонкую путеводную нить, он осторожно шёл за ней и пришёл ко второму поразительному открытию, являющемуся одной из прекраснейших иллюстраций того, как при изучении «побочных явлений» получают важные результаты. В силу аберрации звезда претерпевает цикл перемен в течение года; поэтому, если звезда по истечении года не возвращается в первоначальное положение, то надо искать иное объяснение её движения. Одна из причин такого отклонения была известна, именно, прецессия; но в конце первого года своих наблюдений в Уанстед Брайль нашёл, что положения различных звёзд отличаются на незначительный угол (не превышающий $2''$) от тех, которые они занимали бы под влиянием прецессии, как она в то время была известна, и что хотя постоянная поправка в величине прецессии

и могла бы объяснить движения некоторых из этих звёзд, но зато усилились бы неправильности, замечаемые в движениях других звёзд. Как мы видели (§ 207), ему уже приходила в голову мысль о нутации или колебании земной оси, и хотя она не могла объяснить главного явления, вытекавшего из аберрации, она давала удовлетворительное объяснение гораздо более мелким побочным движениям. Брайлей в скором времени напал на мысль, что такая нутация могла бы существовать в силу влияния Луны, на что указывали и наблюдения, и ньютоново объяснение [прецессии.

«Я заподозрил, что эти явления могли быть вызваны влиянием Луны на экваториальные части земного шара: ибо если предварение равноденствий вызывается, по принципам сэра Исаака Ньютона, влиянием Солнца и Луны на эти части, причём плоскость лунной орбиты в одно время бывает на десять с лишком градусов более наклонена к плоскости экватора, чем в другое, то отсюда есть основание заключить, что та часть годичной прецессии, которая обязана своим существованием действию Луны, в различные годы бывает неодинаковой величины, между тем как плоскость эклиптики, в которой пребывает Солнце, всегда сохраняет почти одно и то же наклонение к экватору, и, следовательно, часть прецессии, возникающая от действия Солнца, из года в год одинакова. Отсюда следует, что хотя средняя годичная прецессия, происходящая от соединённого действия Луны и Солнца, равна $50''$, однако, наблюдаемая годичная прецессия может быть иногда больше, иногда меньше этой средней величины, соответственно различным положениям узлов лунной орбиты».

Ньютон при рассмотрении прецессии (гл. IX, § 188; *Начала*, книга III, предложение 21) указал на существование небольшого неравенства с шестимесечным периодом. Но если мы присмотримся к его исследованию влияний солнечного и лунного притяжения на выпуклые части Земли, то нам станет ясно, что различные перемены в положении Солнца и Луны относительно Земли могут вызывать неправильности и что равномерное движение прецессии, обнаруженное наблюдением и выведенное из закона тяготения Ньютоном, является, так сказать, только первым приближением движения гораздо более сложного свойства. Кроме вышеприведённого замечания, Ньютон не пытался обсуждать эти неправильности, и ни одна из них ещё не была открыта при помощи наблюдения.

Из многочисленных неправильностей этого рода, известных в настоящее время и носящих общее название *нутаций*, неправильность, отмеченная Брайлеем в вышеприведённом отрывке, является едва ли не важнейшей. Как только у него мелькнула мысль о неправильностях, зависящих от положения лунных узлов, он сейчас же увидел, что необходимо было бы проследить движения нескольких звёзд в течение всего 19-летнего периода, обнимающего перемещения лунных узлов вдоль эклиптики до возвращения к первоначальному месту. Он успешно произвёл это исследование между 1726 и 1747 гг. при помощи телескопа в Уанстеде. Когда лунные узлы совершили половину обращения, спустя девять лет после начала работ, то соответствие между перемещением звёзд и переменами в лунной орбите оказалось столь разительным, что

Брадлей удовлетворился общей правильностью своей теории и в 1737 г. сообщил частным образом свои результаты Мопертюи (§ 221), с которым поддерживал учёную переписку. Мопертюи, вероятно, сообщил их другим, но сам Брадлей терпеливо дождался окончания периода, который он полагал необходимым для удовлетворительной проверки своей теории, и окончательно обнародовал свои результаты лишь в начале 1748 г.

214. Наблюдениями Брадлея установлено было существование известных изменений в положении различных звёзд, которые можно было объяснить предположением, что, с одной стороны, изменяется расстояние полюса от эклиптики, а с другой, — прецессионное перемещение полюса совершается неравномерно с большими колебаниями скорости.

Джон Мэчин (?—1751), один из лучших английских математиков того времени, указал, что все эти явления поддаются объяснению, если предположить, что полюс описывает на небесной сфере небольшой кружок с периодом немного меньше 19 лет, соответствующим времени обращения узлов лунной орбиты вокруг точки, в которой бы он находился, если бы существовала только (равномерная) прецессия и не было бы нутации. Брадлей нашёл, что эта теория отвечает его наблюдениям, но что было бы лучше заменить круг слегка приплюснутым эллипсом, большую и малую оси которого он определял приблизительно в $18''$ и $16''$ ¹⁾. Этот эллипс для глаза имеет такую же величину, как шиллинг, помещённый в слегка наклонном положении на расстоянии 300 ярдов (или двугривенный на расстоянии приблизительно 250 метров). Оказалось, таким образом, что полюс обладает двояким движением; в результате комбинированного влияния нутации и прецессии он описывает около полюса эклиптики «слегка волнообразное кольцо» (рис. 75, на котором, однако, размеры колебаний, порождаемых нутацией, сильно преувеличены).

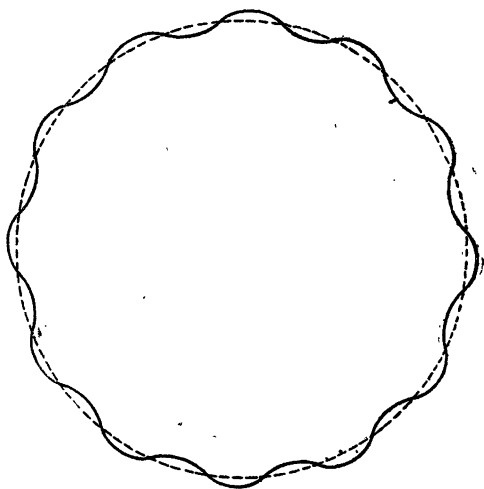


Рис. 75. Прецессия и нутация.

¹⁾ Наблюдения его дают несколько большую величину, чем $18''$, но он предпочитал круглые цифры. В настоящее время приняты цифры $18'',42$ и $13'',75$, так что эллипс Брадлея был значительно меньше сплюснен, чем следовало бы.

215. Хотя Бадлей и знал, что нутация вызвана влиянием Луны, но предоставил теоретическое исследование причин её более искусным математикам.

В следующем году (1749) французский математик Даламбер (гл. XI, § 232) напечатал трактат¹⁾, в котором доказал путём строгого математического анализа, что не только прецессия, но и некоторая нутация, весьма близко сходная с той, которую наблюдал Бадлей, обязана своим существованием притяжению, оказываемому Луной на выпуклые части Земли у экватора (гл. IX, § 187); в этой же работе было дано подтверждение ньютонову объяснению прецессии. Вскоре после того Эйлер (гл. XI, § 236) обнародовал своё исследование об этом же предмете; с тех пор этот вопрос заново изучался многими астрономами-математиками и с тем результатом, что только бадлеева нутация представляет наиболее важную часть длинного ряда мельчайших неправильностей движения земной оси.

216. Мы прежде всего занялись аберрацией и нутацией, как наиболее важными из открытий Бадлея, но и до них, и после он производил ценные исследования иного рода.

Первая важная его работа касалась спутников Юпитера. Дядя его уделял много внимания этому предмету и составил таблицы движений первого спутника, основанные на таблицах Доминика Кассини, но содержавшие в себе много улучшений. Бадлей за несколько лет составил себе, повидимому; привычку часто наблюдать затмения юпитеровых спутников и отмечать разногласия между наблюдениями и таблицами; благодаря этому он в состоянии был открыть несколько до него незамеченных особенностей движения и, пользуясь ими, составить улучшенные таблицы. Наиболее интересным оказалось открытие 437-дневного периода, по истечении которого движения трёх внутренних спутников возобновлялись с прежними неправильностями. Бадлей, как и Паунд, пользовался теорией Ремера (гл. VIII, § 162), что свет затрачивает определённый промежуток времени на прохождение от Юпитера к Земле, каковую теорию Кассини и его школа долго отвергали. Бадлеевы таблицы спутников Юпитера вошли в галлеевы планетные и лунные таблицы, напечатанные в 1749 г., но обнародованные лишь 30 с лишком лет спустя (§ 204). Раньше этого шведский астроном *Пер Вильгельм Варгентин* (1717—1783) самостоятельно открыл период в 437 дней, которым воспользовался для составления изданных в 1746 г. чрезвычайно точных таблиц для спутников.

В этом случае, как и в примере с нутацией, Бадлей сознавал, что его математических сил недостаточно для объяснения открытых им неравенств из принципов тяготения, хотя он прекрасно

¹⁾ *Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la terre.*

понимал всю важность подобного предприятия и определённо высказывал надежду, что «какой-нибудь геометр¹⁾, в подражание великому Ньютону, отдастся исследованию этих неправильностей, исходя из верных и очевидных принципов тяготения».

С другой стороны, Бадлей нашёл в 1726 г. интересное практическое приложение своим превосходным исследованиям над спутниками Юпитера, именно, определил по методу Галилея (гл. VI, § 127) долготы Лиссабона и Нью-Йорка с замечательной точностью.

217. Из работ меньшей важности следует упомянуть ещё о наблюдениях Бадлеем некоторых комет и произведённом им вычислении их орбит по методу Ньютона; об улучшенных таблицах атмосферного преломления, которыми пользовались почти целое столетие; об участии его в производстве опытов с маятником, предпринятых в Англии и Ямайке с целью проверки изменчивости тяжести под различными широтами земного шара; о тщательной проверке лунных таблиц Майера (§ 226) и произведённых в них улучшениях и, наконец, о некоторых работах, имевших отношение к календарной реформе 1752 г. (гл. II, § 22).

218. Нам остаётся рассказать о великолепном ряде наблюдений, сделанных за время управления Бадлеем Гринвичской обсерваторией.

Эти наблюдения подразделяются на две группы неравного достоинства, так как те, которые производились после 1749 г., сделаны были при помощи более точных инструментов, приобретённых Бадлеем благодаря щедрому дару правительства.

При Бадлее главную задачу обсерватории составляли наблюдения над неподвижными звёздами и в меньшей степени над другими телами, в моменты их прохождения через меридиан, так как употреблявшиеся инструменты («стенной квадрант» и «пассажный инструмент») могли двигаться только в плоскости меридиана, были поэтому устойчивее и обладали большей точностью, чем инструменты с более свободным движением. Самые важные наблюдения, числом до 60 000, сделанные между 1750—1762 гг., были опубликованы долгое время спустя после смерти Бадлея в двух больших томах, вышедших в 1798 и 1805 гг. Более раннее извлечение из них послужило основанием небольшого звёздного каталога, напечатанного в *Nautical Almanac* (Морском Альманахе) за 1773 г., но вполне пригодную для астрономических работ форму эти наблюдения приняли не раньше 1818 г., когда изданы были *Fundamenta Astronomiae* (Основания астрономии) Бесселя (гл. XIII, § 277), т. е. каталог свыше 3 000 звёзд, основанный на наблюдениях Бадлея. Одна из причин этого, повидимому, чрезмерного замедления заключается в особенностях рабочих приёмов Бадлея.

¹⁾ Слово «геометр» первоначально употреблялось в Англии, как и поныне ещё во Франции, в более широком смысле «математика».

Мы уже упоминали о различных обстоятельствах, благодаря которым положение звезды, наблюденное в телескоп и своевременно отмеченное, не представляет ещё точного положения звезды на небе. Существуют разнообразные погрешности инструментов и погрешности, проистекающие от атмосферной рефракции; далее, при сравнении положений звезды в две различные эпохи надо принимать в соображение прецессию; и сам Бродлей в абберации и нутации открыл два новых источника погрешностей. Значит, для того, чтобы ряду звёздных наблюдений придать форму, пригодную для справок во всякое время, необходимо внести поправки, имеющие целью уничтожить влияние всех этих источников погрешности. Эта процедура—*редукция*, как её называют на техническом языке, требует известного количества чрезвычайно скучных вычислений, и хотя на современных обсерваториях она до того упрощена, что её могут производить чуть ли не по неизменным правилам даже малоопытные ассистенты, в эпоху Бродлея она требовала некоторого соображения, и сомнительно, чтобы его ассистенты могли удовлетворительно справиться с задачей, хотя бы даже время их и не поглощалось целиком другими обязанностями.

Вероятно Бродлей и сам тяготился докучными вычислениями и предпочитал жертвовать свою энергию работе более высокого порядка. Правда, Деламбр, знаменитый французский историк астрономии, уверяет своих читателей, что процесс редукции никогда не казался ему скучным, если он производил его в тот же день, как и само наблюдение; но достаточно заглянуть в одну из его книг, чтобы убедиться в необычайном пристрастии его к длинным вычислениям довольно элементарного свойства, и, разумеется, Бродлей—не единственный астроном, вкусы которого в данном отношении коренным образом отличались от деламбровых.

Кроме того, редукция наблюдений—это такая обязанность, которая, как необходимость отвечать на письма, становится всё труднее выполнимой, чем больше её запускаешь, и для всякого астронома не только менее интересно, но и гораздо труднее разделиться более или менее удовлетворительным образом с чужими наблюдениями, чем со своими собственными. Неудивительно поэтому, что после смерти Бродлея протёк значительный промежуток времени, прежде чем нашёлся астроном, обладавший в равной мере искусством и терпением, необходимыми для редукции 60 000 наблюдений Бродлея. Благодаря счастливому сочетанию различных обстоятельств наблюдения Бродлея оказались значительно выше наблюдений его предшественников. Судьба наградила его лучшими природными дарами, образующими первоклассного наблюдателя,—хорошим глазом и соображением; инструменты его были смонтированы наивыгоднейшим способом, обеспечивающим значительную точность, и вышли из рук искуснейших мастеров; он самым тщательным образом изучал недостатки своих инструмен-

тов и вносил необходимые поправки на их погрешности; открытие аберрации и нутации дало ему возможность устранять соответственные ошибки, достигавшие значительного числа секунд, которых его предшественники могли избежать лишь в слабой мере тем, что брали третью часть из многих наблюдений, а усовершенствованные таблицы рефракции сообщали ещё большую точность его результатам.

Бессель считает, что в брадлеевых наблюдениях данные склонения уклонялись обыкновенно от истинных менее чем на $4''$, а соответствующие погрешности в прямом восхождении—величина, в конце концов зависящая от правильного измерения времени,—были меньше $15''$ или одной секунды времени. Таким образом, его наблюдения в смысле точности значительно опередили, например, наблюдения Флэмстида (§ 198), считавшиеся лучшими из всех, ранее существовавших.

219. После Бадлея пост королевского астронома занял *Натаниэль Блисс* (1700—1764), скончавшийся два года спустя. Его сменил *Невилл Маскелайн* (1732—1811), в течение почти полувека поддерживавший славные традиции точного наблюдения, завещанные Бадлеем Гринвичской обсерватории, и внесший некоторые методические улучшения.

Маскелайну наука обязана первой серьёзной попыткой измерить плотность, а затем массу Земли. Сравнивая притяжение, оказываемое Землёй, с притяжениями Солнца и других тел, Ньютон, как мы видели (гл. IX, § 185), нашёл возможным связать массы некоторых небесных тел с массой Земли. Но совсем иное дело—связать массу всего земного шара с массой данного земного предмета и выразить её в килограммах или тоннах. Возможно, разумеется, исследовать части земной поверхности и сравнивать их плотность с плотностью, скажем, воды; затем, на основании грубых наблюдений в шахтах и т. п., строить догадки относительно скорости возрастания плотности по мере углубления к центру Земли, а отсюда вывести среднюю плотность Земли. Таким путём массу всей Земли можно сравнить с массой водяного шара таких же размеров и, зная объём, выразить её в килограммах. С помощью такой процедуры Ньютон, действительно, с необычайной проныцательностью определил, что плотность Земли в пять-шесть раз превосходит плотность воды ¹⁾.

Было, однако, безусловно желательно решить эту задачу менее гадательными способами, путём прямого сравнения притяжения, оказываемого Землёй, и притяжения, оказываемого какой-либо известной массой,—метод, в то же время могущий дать ценное подтверждение теории Ньютона о притягательных свойствах частей Земли, рассматриваемых отдельно от всей массы земного шара. В Перуанскую экспедицию (§ 221) Бугер и Лакондамин заметили

¹⁾ Начала, книга III, предложение 10.

небольшое отклонение отвеса от истинного направления, что указывало на притяжение горы Чимборазо, близ которой они работали; но наблюдения их были столь ненадёжны, что на них нельзя было положиться. Для подобной же цели Маскелайн избрал Шегаллиен в Пертшайре, узкий горный хребет, тянущийся с востока на запад. Направление отвеса наблюдалось (1774) по каждую сторону хребта, и оказалось, что притяжение горы отклоняет отвесную линию почти на $12''$. Так как направление отвеса в этом месте определялось притяжением всего земного шара, с одной стороны, и горы,—с другой, то сразу же оказалось возможным сравнить между собой эти два притяжения. Весьма запутанное вычисление, исполненное *Чарльзом Геттоном* (1737—1823), повело к сравнению средних плотностей Земли и горы, а отсюда—к конечному выводу (опубликован в 1778 г.), что плотность Земли приблизительно в $4\frac{1}{2}$ раза превосходит плотность воды. Так как геттонова оценка плотности горы была всё-таки гадательна, то, разумеется, и результат получился соответственным неточный.

Несколькими годами позже *Джон Мичелл* (1724—1793) придумал, а знаменитый химик и знаток электричества *Генри Кэвендиш* (1731—1810) выполнил (1798) эксперимент, в котором гора заменена была парой тяжёлых шаров и притяжение, оказываемое этими шарами на постороннее тело, было подвергнуто сравнению с притяжением Земли; в результате получилось, что плотность Земли в $5\frac{1}{2}$ раз превосходит плотность воды.

Так называемый *опыт Кэвендиша* с тех пор неоднократно повторялся в видоизменённой различными способами форме, а, кроме того, применялись и других два метода, ознакомление с которыми требует специальных технических знаний. Лучшие современные экспериментальные исследования дают для плотности Земли цифры, весьма близкие к $5\frac{1}{2}$, подтверждая самым блестящим образом догадку Ньютона и первоначальный опыт Кэвендиша.

При такой оценке плотности масса Земли измеряется немногим меньше, чем 6 квадриллионами килограммов, или, точнее, 5 980 000 000 000 000 000 000 кг.

220. В то время как Гринвичская обсерватория снабжала астрономический мир целым рядом ценных наблюдений, Парижская обсерватория не оправдывала возложенных на неё надежд. Подобно английским математикам она испытывала на себе дурные последствия неумеренного преклонения перед методами и мнениями знаменитостей. Доминик Кассини придерживался некоторых заблуждений по важным астрономическим вопросам; он был слишком ревностным католиком, чтобы быть настоящим коперниканцем, не признавал тяготения, питал твёрдую уверенность, что Земля приплюснута у экватора, а не у полюсов, и отвергал открытие скорости света Ремера. После смерти его, последовавшей

в 1712 г., управление обсерваторией поочерёдно переходило к трём его потомкам, из которых последний отказался от должности в 1793 г.; некоторые члены семейства Маральди, в которое вошла после замужества его сестра, работали в сотрудничестве со своими кузенами. К сожалению, они потратили массу энергии, сперва на защиту, а затем на постепенное освобождение от заблуждений своего знаменитого предка. *Жак Кассини*, например, второй в роде (1677—1756), был ещё очень робким коперниканцем и отвергал Кеплеров закон площадей; сын его, обыкновенно известный под именем *Кассини де Тюри* (1714—1784), защищал ещё заблуждения своего предка относительно фигуры Земли, тогда как четвёртый член фамилии, *граф Кассини* (1748—1845), был первым в роде, усвоившим идеи Ньютона о тяготении.

Школой Кассини-Маральди произведены некоторые ценные наблюдения над планетами и другими телами, но не оставлено трудов первостепенной важности.

221. В XVIII в. произведён был ряд важных измерений Земли. Эти измерения, в которых Кассини принимал немалое участие, были произведены почти исключительно французами, в результате получившими довольно точные данные относительно объёма и формы Земли.

Изменчивость длины секундного маятника, наблюдавшаяся Рише во время экспедиции в Кайенну (гл. VIII, § 116), послужила первым указанием на уклонение Земли от шарообразной формы. Из наблюдений над маятником и собственных теоретических изысканий (гл. IX, § 187) Ньютон заключил, что Земля сфероидальна и приплюснута у полюсов; взгляды его подтвердились удачным объяснением прецессии, к которому они привели (гл. IX, § 188).

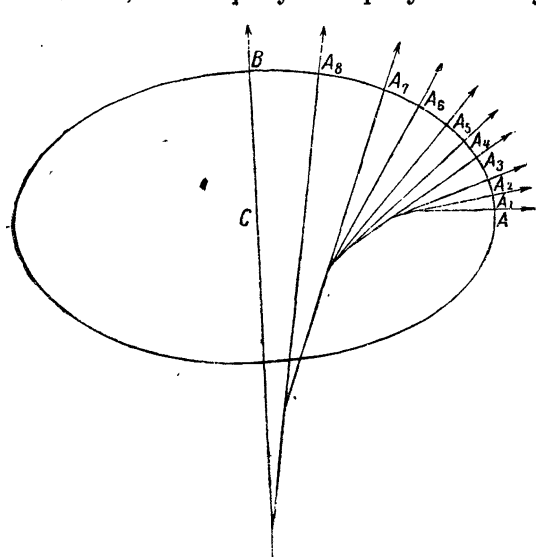
С другой стороны, сравнение измерений дуги меридиана, сделанных под различными широтами, указывало, повидимому, что Земля удлинена по направлению к полюсам и приплюснута у экватора,—взгляд, с большой настойчивостью защищавшийся школой Кассини. Ясно было, что для решения вопроса требуются более обширные и тщательные измерения Земли.

Существенную часть обыкновенной процедуры измерения Земли составляет нахождение расстояния между двумя местами, лежащими на одном меридиане, но различающимися по широте на известную величину. Из этих двух данных легко получить длину дуги меридиана, соответствующей разнице в широте на 1° . *Широта* места есть угол, образуемый вертикалью этого места с плоскостью экватора, или, иначе, угловое расстояние зенита от небесного экватора. *Вертикаль* данного места можно определить как направление, перпендикулярное к поверхности воды или ртути в спокойном её состоянии, т. е. перпендикулярное к истинной

поверхности Земли, причём случайные неправильности её формы вроде гор и долин не берутся в расчёт¹⁾).

Следовательно, разница в широте двух мест, из которых одно южнее или севернее другого, измеряется углом между их вертикалями. На рис. 76 показаны вертикали, отмеченные стрелками, в различных местах одного и того же меридиана, взятых на расстоянии 10° одно от другого, так что две рядом стоящие вертикали наклонены одна к другой под углом в 10° .

Если, как на рис. 76, нарисовать Землю согласно воззрениям Ньютона, то из рисунка сразу можно убедиться, что дуги AA_1 ,



A_1A_2 и т. д., из которых каждая соответствует 10° широты, непрерывно увеличиваются по мере удаления от точки A экватора и приближения к полюсу B . Согласно противоположной гипотезе, которая иллюстрируется тем же рисунком, если A мы примем за полюс, а B —за точку на экваторе, дуги уменьшаются от экватора к полюсу. Сравнение измерений Эратосфена в Египте (гл. II, § 36) с некоторыми европейскими измерениями (гл. VIII, § 159) указывало на то, что градус меридиана у

Рис. 76. Изменение кривизны Земли.

экватора длиннее, чем в высоких широтах; к такому же выводу приводило сравнение различных участков огромной дуги около 9° длиной, простиравшейся от Дюнкирхена к Пиренеям и измеренной французами под руководством Кассини в качестве продолжения дуги Пикара; результат этих исследований был обнаружен Ж. Кассини в 1720 г. Однако ни в одном случае полученные данные не были настолько точны, чтобы оправдать сделанный из них вывод; и первые решительные данные получены были лишь при измерении дуг в таких местах, которые разнились по широте на гораздо большую величину, чем все, ранее измеренные. Французская академия снарядила экспедицию в Перу под руководством трёх академиков, *Пьера Бугера* (1698—1758), *Шарля*

¹⁾ Здесь важно заметить, что вертикаль не есть линия, проведённая из центра Земли к месту наблюдения.

Мари-де-ла-Кондамина (1701—1774) и *Луи Годена* (1704—1760), и при участии двух испанских морских офицеров.

Экспедиция отправилась в 1735 г., но благодаря различным помехам дело затянулось чуть не на десять лет. Наиболее важным результатом экспедиции было весьма точное измерение дуги почти в 3° длиной, вблизи экватора; кроме того, произведено было много ценных наблюдений над маятником и сделана масса других завоеваний в различных областях знания.

Но в то время как Перуанская экспедиция ещё производила свои работы, подобная же экспедиция, отправленная в Лапландию под начальством академика *Пьера Луи Моро-де-Мопертюи* (1698—1759), гораздо быстрее (1736—1737), если и не столь удачно, справилась с измерением дуги близ полярного круга, протяжением в 1° .

Из этих измерений оказалось, что длины градуса меридиана у 2° южной широты (Перу), у 47° и 66° северной широты (Франция и Лапландия) соответственно равны 362 000, 364 900 и 367 100 футов¹⁾. Из сравнения любой пары этих дуг ясно было, что длина градуса меридиана увеличивается с возрастанием широты; таким образом, доказана была правильность воззрений Ньютона и заблуждение Кассини.

Величина отклонения Земли от шарообразной формы обыкновенно выражается дробью, известной под названием *сжатия* и представляющей собой разность между расстояниями *СА* и *СВ* (рис. 76), разделённую на большее из них (т. е. *СА*). Из сравнения трёх вышеупомянутых дуг было получено несколько различных оценок сжатия, каковая разница объясняется различием методов интерпретации результатов, а отчасти ошибками измерения.

И в самом деле, произведённое в 1801—1803 гг. *Иэнсом Сванбергом* (1771—1851) градусное измерение поблизости дуги Мопертюи показало, что найденная этим последним длина градуса почти на 1 000 футов больше истинной.

В течение XVIII и XIX вв. в различных пунктах земного шара было произведено множество других градусных измерений. Всех подробностей нет надобности передавать, но, чтобы не возвращаться к этому предмету, мы приведём результаты, полученные сравнением различных измерений, именно, что сжатие Земли равно $\frac{1}{297}$, а наибольший радиус (*СА* на рис. 76) немного больше 6 378 км.

222. Мы уже упоминали о первенстве Гринвичской обсерватории в области точного наблюдения в течение XVIII в. Однако и Франция дала в этот период великого астронома-наблюдателя, который многое совершил, а при более благоприятных внешних условиях мог бы, пожалуй, соперничать с Брадлеем.

¹⁾ 69 миль составляют 364 320 футов, так что оба северных градуса оказались несколько больше, а Перуанский несколько меньше 69 миль (111 км).

Николай Луи де Лакайль родился в 1713 г. Потратив значительное время на занятия богословием в целях подготовки к духовной карьере, он заинтересовался математикой и астрономией. Его представили Жаку Кассини, и вскоре он назначен был в ассистенты Парижской обсерватории.

В течение 1738 г. и двух следующих лет он принимал деятельное участие во французском градусном измерении, в то время находившемся в стадии проверки. Во время этих занятий его назначили (1739) профессором в коллегию Мазарини, при которой сооружена была небольшая обсерватория, и определили ему ничтожный оклад. Здесь он обязан был всякую ясную ночь целиком проводить в наблюдениях, и, чтобы «с пользой наполнить часы досуга, слишком часто доставляемые наблюдателю дурной погодой», он предпринял массу обширных вычислений разнообразного свойства и писал бесчисленные учёные мемуары. Неудивительно поэтому, что он умер сравнительно рано (1762) и что смерть его молва приписывала переутомлению.

223. Однообразие внешней жизни Лакайля нарушено было учёной экспедицией на мыс Доброй Надежды (1750—1754), организованной Академией Наук и порученной его руководству.

Самым важным делом этой экспедиции было систематическое обозрение южного неба, во время которого подвергнуто было наблюдению свыше 10 000 звёзд.

Эти наблюдения вместе с тщательно исполненным каталогом около 2 000 звёзд¹⁾ и звёздной картой были обнародованы после смерти Лакайля в 1763 г. под заглавием *Coelum Australe Stelliferum* (Южное звёздное небо) и совершенно затмили собой гораздо меньший по объёму и менее точный каталог Галлея (§ 199). Лакайль нашёл необходимым выделить 14 новых созвездий (названия некоторых были впоследствии оставлены) и возвратить на старое место звёзды, которые Галлей поместил в созвездие Дуба короля Карла, вероятно, из верноподданнического чувства. Мимоходом Лакайль наблюдал и описал 42 туманности, туманные звёзды и звёздные кучи, систематическое изучение которых составляет одну из важнейших заслуг Гершеля (гл. XII, § 259—261).

Лакайль произвёл много наблюдений над маятником на острове св. Маврикия и на мысе Доброй Надежды, с обычной целью — определить в новом уголке земного шара ускорение силы тяжести, и измерил дугу меридиана протяжением значительно более градуса. Кроме того, он тщательным образом наблюдал положения Марса и Венеры, желая получить параллакс Солнца из сравнения этих наблюдений с одновременными наблюдениями, произведёнными в северных широтах (гл. VIII, § 161). Эти наблюдения Марса,

¹⁾ Для остальных 8 000 звёзд Лакайль не сделал редукции. Полный каталог всех 10 000 звёзд в редуцированной форме был впервые обнародован Британским Обществом в 1845 г.

будучи сравнены с наблюдениями Бадделя и других, сделанными в Европе, равно как и наблюдения Венеры, дали солнечный параллакс немного больше $10''$ —результат, менее точный, нежели результат Кассини (гл. VIII, § 161), хотя и добытый более надёжными способами.

Огромное число лунных наблюдений, из которых значительная часть была сделана на мысе Доброй Надежды, послужила к более точной оценке расстояния Луны, разумеется, после тщательной обработки вопроса, причём взята была в соображение и сфероидальная форма Земли; эта оценка впервые была обнародована в 1761 г.

Своими наблюдениями над неподвижными звёздами Лакайль воспользовался ещё для расширения наших сведений об атмосферной рефракции; он получил значительное число наблюдений Солнца в той части его орбиты, которую оно проходит в наши зимние месяцы (лето южного полушария), когда оно стоит слишком низко над горизонтом, чтобы его можно было удовлетворительно наблюдать в Европе.

Результаты этой экспедиции—одной из самых плодотворных учёных экспедиций, когда-либо предпринимавшихся,—обнародованы были в отдельных мемуарах и вошли в различные книги, изданные по возвращении Лакайля в Париж.

224. В 1757 г. под названием *Astronomiae Fundamenta* появился каталог 400 наиболее ярких звёзд, наблюдавшихся и редуцированных самым тщательным образом, так что, даже несмотря на крайнюю скудость инструментов Лакайля, каталог этот намного превзошёл каталоги его предшественников, и только наблюдения Бадделя по мере их постепенного обнародования оказывались лучше его. Бескорыстную натуру Лакайля отлично характеризует то обстоятельство, что он не продавал, как обыкновенно водилось, но бесплатно раздавал экземпляры каталога всем, кто интересовался предметом, а для покрытия издержек по его напечатанию он занимался составлением астрономических календарей.

После его смерти издан был ещё один каталог, заключавший в себе свыше 500 звёзд зодиакальной области.

В 1758 г. Лакайль издал великолепный ряд солнечных таблиц, основанных на массе наблюдений и вычислений. Они замечательны тем, что в них впервые были учтены планетные возмущения.

Из мелких услуг, оказанных Лакайлем астрономии, нужно упомянуть: об улучшенных методах определения кометных орбит, о фактическом вычислении орбит огромного числа комет, занесённых в летописи астрономии, о вычислении всех затмений, доступных наблюдению в Европе с начала эры; Лакайль указал, что прохождение Венеры может дать гораздо менее точные результаты, чем ожидал Галлей (§ 202); он наблюдал прохождение 1761 г. (§ 227) и внёс некоторые улучшения в методы вычисления и использования наблюдений.

При оценке огромной массы работ, совершённых Лакайлем в течение почти 22-летней астрономической деятельности, необходимо помнить, что на его обсерватории имелись лишь инструменты среднего качества и ни одного ассистента и что значительную часть своего времени ему приходилось тратить на добывание средств к жизни.

225. В рассматриваемый нами период и Германия дала астронома, главным образом наблюдателя, с большими заслугами, *Товию Майера* (1723—1762). В 1751 г. он был назначен профессором математики и политической экономии в Геттинген, вероятно, с оговоркой, что ему не вменяют в обязанность читать последний предмет, которого, повидимому, он не знал; три года спустя ему поручена была обсерватория, сооружённая 20 годами раньше. Он располагал, по крайней мере, одним превосходным инструментом¹⁾ и, следуя примеру Тихо, Флэмстида и Бадлея, старательно изучил его погрешности; он полнее всех своих предшественников разработал теорию поправок, вводимых в результаты наблюдений для освобождения их от погрешностей инструментов²⁾.

Майер улучшил солнечные таблицы Лакайля и составил каталог 998 зодиакальных звёзд, изданный после его смерти, в 1775 г.; сравнивая положения звёзд, записанные Ремером (1706), с наблюдениями Лакайля и своими собственными, он убедился в существовании значительного числа собственных движений (§ 203); кроме того, он внёс массу других, для нас менее интересных, дополнений к астрономическим знаниям своего времени.

226. Но самые важные работы Майера касались Луны. В начале своей деятельности он занялся тщательным изучением положения кратеров и других деталей лунного диска, благодаря чему ему удалось найти полное геометрическое объяснение различным либрациям Луны (гл. VI, § 133) и в точности установить положение оси, около которой Луна вращается. В 1775 г., наряду с другими посмертными трудами, была издана составленная им на основании собственных наблюдений карта Луны (рис. 77).

Гораздо больше важности представляет, однако, его лунная теория и основанные на ней таблицы. Глубокий математический интерес, представляемый проблемой движения Луны, и её практическое значение для определения долготы заставляли астрономов XVIII в. с особым вниманием относиться к этому вопросу. Далее, стимулом к исследованиям в этом направлении послужили, между прочим, премии, предложенные в 1713 г. британским правительством за методы нахождения долготы на море, именно 20 000 фунтов (120 000 рублей по тогдашнему курсу) за метод,

¹⁾ Стенной квадрант.

²⁾ Ему в существенной мере принадлежит теория погрешностей коллимации, наклона и азимута пассажного инструмента, упоминаемая в руководствах сферической и практической астрономии.

точный до полуградуса, и меньшие суммы за методы меньшей точности.

Все великие математики этого периода пытались вывести лунные движения из принципов тяготения. Майер разработал теорию по методу Эйлера (гл. XI, § 233), вполне самостоятельно и очень искусно пользуясь наблюдениями для определения различных числовых данных, которых чистая теория или не давала совсем

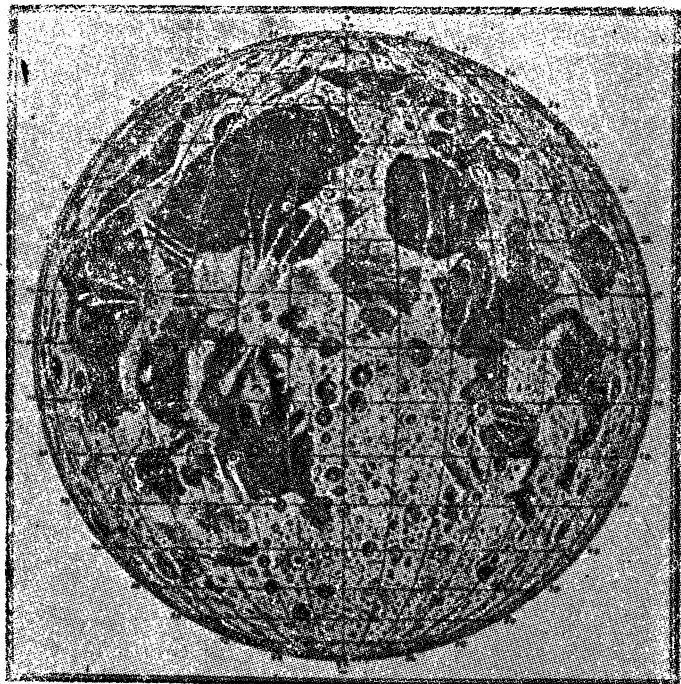


Рис. 77. Карта Луны Товии Майера.

или же давала, но сомнительного свойства. Ему удалось вычислить лунные таблицы (изданы вместе с солнечными в 1753 г.), являвшиеся значительным шагом вперед по сравнению с прежними. По дальнейшему усовершенствованию он отослал их в Англию в 1755 г. Брайлей, которому адмиралтейство поручило просмотреть их, с похвалой отозвался о их точности, а несколько лет спустя, внося в таблицы некоторые изменения на основании собственных наблюдений, он рекомендовал адмиралтейству метод определения долготы, основанный на пользовании этими таблицами; он считал, что этот метод даёт возможность определять долготу с погрешностью, в общем не превышающей полуградуса.

Но прежде, чем были достигнуты какие-нибудь решительные результаты, Майер безвременно скончался, в возрасте 39 лет, оставив после себя ряд новых таблиц, в свою очередь посланных в Англию. Наконец, в 1765 г. его вдове была уплачена сумма в 3 000 фунтов (18 000 руб.); и его *Теория Луны*¹⁾ и усовершенствованные солнечные и лунные таблицы были изданы в 1770 г. на счёт Бюро долгот. Последующее издание, исправленное бывшим ассистентом Брадлея *Чарльзом Масоном* (1730—1787), появилось в 1787 г.

Премия была выдана и Эйлеру за теоретическую работу; 3 000 и затем ещё 10 000 фунтов было выдано *Джону Гаррисону* за усовершенствованный хронометр, давший возможность пользоваться особым способом определения долготы.

227. Астрономы XVIII в. имели два случая воспользоваться прохождением Венеры для определения расстояния Солнца по совету Галлея (§ 202).

Прохождение Венеры по диску Солнца представляет собой явление такого же характера, как и затмение Солнца Луной, с той существенной разницей, что кажущаяся величина планеты слишком ничтожна, чтобы произвести заметное потемнение солнечного диска; она представляется лишь крошечным чёрным пятнышком на яркой поверхности Солнца.

Если бы путь Венеры лежал в плоскости эклиптики, тогда при всяком нижнем соединении, что случается раз в 584 дня, она непременно становилась бы между Землёй и Солнцем и кажу-щимся образом проходила бы по его диску. Но так как орбиты Венеры и Земли наклонены одна к другой, то в нижних соединениях Венера обыкновенно приходится настолько «выше» или «ниже» эклиптики, что прохождение не может иметь места. При настоящем наклоне орбит, изменяющемся от пертурбаций лишь очень медленно и постепенно, прохождения Венеры случаются парами с восьмилетними промежутками, причём между последним прохождением одной пары и первым прохождением следующей протекает попеременно $105\frac{1}{2}$ и $121\frac{1}{2}$ лет. Таким образом, прохождения наблюдались в декабре 1631 г. и 1639, в июне 1761 и 1769, в декабре 1874 и 1882 и снова произойдут в 2004, 2012, 2417 и 2425 годах и т. д.

Метод нахождения расстояния Солнца из наблюдений прохо-ждений Венеры в существенных чертах не отличается от метода, основанного на наблюдениях Марса (гл. VIII, § 161).

В обоих случаях наблюдатель преследует одну и ту же цель: получить разницу в направлениях планеты, наблюдаемой с двух различных пунктов земного шара. Венера, однако, будучи ближайшей соседкой Земли, находясь от неё на наименьшем расстоя-

¹⁾ Заглавная страница помечена 1767 г.; но достоверно известно, что книга была в действительности выпущена в свет лишь три года спустя.

нии; занимает в небе положение, слишком близкое к Солнцу, чтобы её можно было подвергнуть тщательному и точному наблюдению; во время же прохождения солнечный диск играет как бы роль циферблата, на котором можно отмечать положение планеты. Кроме того, измерение мельчайших углов — искусство, в XVIII в. мало развитое, — можно в данном случае заменить измерением времени, именно разницы между моментами вступления Венеры на край солнечного диска и моментом схождения её с диска, отмеченных на различных станциях; по разнице в продолжительности прохождения на двух станциях без труда можно определить и разность направлений и, таким образом, вычислить расстояние Венеры и Солнца.

К прохождением 1761 и 1769 годов различные правительства, академии и частные лица готовились, не жалея самых грандиозных затрат. Для наблюдения первого прохождения были организованы экспедиции в Тобольск, на остров Святой Елены, на мыс Доброй Надежды и в Индию; в то же время астрономы производили свои наблюдения в Гринвиче, Париже, Вене, Упсале, словом, по всей Европе¹⁾. Следующее прохождение наблюдалось ещё в более широких размерах; станции тянулись от Сибири до Калифорнии, от Варангер-Фюрда до Отаити (где находился знаменитый капитан Кук) и от Гудзонова залива до Мадраса²⁾.

Экспедиции, снаряжённые для этой цели американским Философским Обществом, можно считать первым вкладом Америки в науку, которая столь многим ей обязана в настоящее время; Екатерина II доказала цивилизованность своего государства организацией множества наблюдательных станций в России.

Результаты оказались в гораздо большем согласии с предчувствиями Лакайля, нежели с надеждами Галлея. Масса разнообразных причин лишала возможности с желаемой степенью точности отметить момент соприкосновения дисков Венеры и Солнца.

¹⁾ Наблюдая прохождение Венеры в 1761 г., М. В. Ломоносов обратил внимание на «неясность солнечного края» при внутреннем соприкосновении с ним диска планеты. Из этого явления Ломоносов сделал совершенно правильный вывод о существовании на Венере атмосферы не менее значительной, чем земная.

²⁾ В *Exposition du Système du Monde* (Изложение системы мира) Лаплас сообщает следующий случай. В 1760 г. из Франции отправился в Индию астроном Лежантиль с целью наблюдать прохождение Венеры 1761 года. В дороге корабль его (по политическим затруднениям) замешкался, и он прибыл в Индию после прохождения. Лежантиль остался ждать следующего прохождения 1769 года, к наблюдению которого самым деятельным образом готовился всё 8 лет. Желанный день настал. Тучи, не сходявшие с горизонта все предыдущие дни, начинают рассеиваться, и за несколько минут до начала явления небо почти всё прояснилось. Но в самый момент прохождения набежало шальное облачко и скрыло Солнце от глаз злополучного астронома. Эта неудача столь сильно на него подействовала, что он, как передают, скончался вскоре по прибытии во Францию, где его как безвестно отсутствовавшего ожидала гражданская смерть.

Отбирая различные наблюдения и внося поправки на вероятные источники погрешности, вычислители получали несогласные между собой результаты. Оценки солнечного параллакса (гл. VIII, § 161), полученные из первого прохождения, колебались между $8''$ и $10''$; оценки из наблюдения 1769 г.; хотя и более вероятные, всё же колебались между $8''$ и $9''$, что соответствует разнице в расстоянии Солнца почти на 16 млн. км.

Все эти наблюдения были тщательно обработаны в 1822—1824 гг. и вторично в 1835 г. *Иоганном Францом Энке* (1791—1865), который вывел из них параллакс в $8'',571$, соответствующий расстоянию приблизительно в $153\frac{1}{2}$ млн. км., — число, долго считавшееся классическим. Сомнительность этих данных явствовала, однако, уже из того обстоятельства, что другие не менее компетентные астрономы получили из тех же наблюдений 1769 г. параллаксы в $8'',8$ и $8'',9$.

Мы ещё ничего не говорили о Вильяме Гершеле, быть может, славнейшем из всех наблюдателей, деятельность которого падает, главным образом, на последнюю четверть XVIII в. и начало XIX в. Но так как труды его существенным образом отличаются от работ всех почти астрономов XVIII в. и дали могущественный толчок развитию отрасли астрономии, до того почти неизвестной, то мы и сочли удобным отложить рассмотрение их до одной из следующих глав (XII).

ГЛАВА XI

АСТРОНОМИЯ ТЯГОТЕНИЯ В XVIII СТОЛЕТИИ

«Астрономия, рассматриваемая с наиболее общей точки зрения, есть великая проблема механики, произвольные постоянные которой составляют элементы небесных движений; решение её зависит как от точности наблюдений, так и от совершенства анализа».

Лаплас. Предисловие
к *Небесной механике*

228. В начале XVIII в. в солнечной системе насчитывали 18 признанных членом: Солнце, шесть планет, десять спутников (один около Земли, четыре около Юпитера и пять около Сатурна) и кольцо Сатурна.

Относительно комет известно было, что они весьма нередко попадают в область, занимаемую солнечной системой, и были основания предполагать, что, по крайней мере, одна из них (гл. X, § 200) правильно посещает нас; но едва ли их признавали членами солнечной семьи; возможность же влияния комет на какое-нибудь тело солнечной системы совершенно игнорировалась, и последующие изыскания вполне оправдали это пренебрежение. Наблюдались тысячи звёзд и определялись их положения на небесной сфере; знали, что они отстоят на громадных, хотя и неизвестных расстояниях от солнечной системы, а влияние их на неё считалось неощутимым.

Движения 18 членом солнечной системы изучены были довольно сносно; действительные расстояния их друг от друга известны были приблизительно, отношения же между многими расстояниями определены с значительной точностью. Кроме совершенно аномального кольца Сатурна, которым мы теперь не будем заниматься, большинство тел системы обнаруживало при наблюдении почти шарообразную форму, а за остальными таковая предполагалась.

Ньютон с огромной степенью вероятности показал, что все эти тела притягивают друг друга по закону тяготения, и не было

основания думать, что они оказывают какое-нибудь иное важное влияние на взаимные движения ¹⁾).

Назревшая, таким образом, проблема, которую можно назвать проблемой Ньютона, гласила следующее:

Даны 18 тел, их положения и движения в данное время; вывести из их взаимных притяжений с помощью математического вычисления их положения и движения для любого заданного момента и показать, что они согласуются с действительными наблюдениями.

В такое вычисление необходимо должны войти между прочими величинами и массы различных тел; очевидно, было бы вполне законным брать эти последние по произволу таким образом, чтобы привести результаты вычисления в согласие с наблюдениями. Если бы это удалось, то этим определились бы массы. Точно так же можно изменять по произволу общепринятые оценки величин и формы тел солнечной системы, если только это не противоречит действительным наблюдениям.

К счастью, формулированную выше общую проблему можно свести к нескольким более простым.

Ньютон показал (гл. IX, § 183), что обыкновенный шар притягивает другие тела и сам ими притягивается так, как если бы вся масса его была сосредоточена в центре, и что влияние уклонения тела от правильной шарообразной формы становится крайне ничтожным на значительном от него расстоянии. Следовательно, за исключением особых случаев, тела солнечной системы можно принимать за правильные шары, масса которых в свою очередь может считаться сосредоточенной в их центрах. Для краткости примем раз навсегда, что все тела, о которых мы будем говорить, принадлежат к этому разряду тел, если, разумеется, не будет оговорено либо не будет очевидно обратное. Влияние уклонения от шарообразности можно будет в случае надобности рассмотреть отдельно, как, например, в случае прецессии или других движений планеты или спутника около своего центра и соответственного влияния несферической планеты на своих спутников; к этой группе задач относится также вопрос о приливах и других случаях движения частей тела какой бы то ни было формы относительно других частей.

С другой стороны, солнечная система так устроена, что движение каждого тела можно определять первоначально относительно только одного из остальных тел. Планета, например, движется почти так, как если бы иных тел, кроме Солнца, не существовало, а движение Луны относительно Земли приблизительно

¹⁾ Некоторые другие влияния известны: например, солнечная теплота производит различные движения в нашем воздухе и воде и оказывает определенное, хотя и микроскопическое влияние на скорость вращения Земли и, может быть, оказывает подобное же влияние и на другие тела.

таково же, как если бы не существовало остальных тел солнечной системы.

Задача движений двух взаимно притягивающихся шаров была вполне разрешена Ньютоном, получившим из неё, как было показано, два первых закона Кеплера. Отныне всякое тело солнечной системы можно было считать движущимся вокруг какого-нибудь другого тела по эллипсу, при этом, однако, слегка возмущаемым влияниями других тел. Кроме того, по общему математическому принципу, приложимому ко всем задачам движения, действие массы мелких возмущающих причин, влияющих сообща, почти равно сумме их отдельных влияний. Поэтому можно без большой ошибки считать всякое тело находящимся под возмущающим влиянием одного только тела в известный момент; различные возмущающие влияния можно впоследствии сложить и произвести новое вычисление в целях дальнейшего уменьшения ошибки. Ядро ньютоновой проблемы оказывается, таким образом, частным случаем так называемой задачи о трёх телах:

Для известного момента даны положения и движения трёх взаимно притягивающихся тел; определить их положения и движения для любого заданного момента.

Долгое время казалось, что эта задача в общем виде не сможет быть решена. Только в сравнительно недавнее время (в 1912 г.) её решение было дано финским математиком Зундманом, которому удалось выразить координаты всех трёх тел для любого момента, так называемыми бесконечными сходящимися рядами (т. е. суммами бесконечно большого числа членов, из которых каждая при увеличении числа членов стремится к некоторому определённом значению). Однако сложность формул, полученных Зундманом, сделала их очень неудобными для практического применения.

Для солнечной системы задача упрощается не только вышеприведённым допущением, что одно из трёх тел всегда можно считать оказывающим лишь ничтожное влияние на относительные движения двух остальных, но и тем обстоятельством, что орбиты планет и спутников немногим отличаются от кругов и что плоскости их орбит ни в одном случае не наклонены друг к другу, или к эклиптике, под большими углами, другими словами, что их эксцентриситеты и наклонения суть величины малые.

В этом упрощённом виде задача оказалась доступной весьма точным решениям по методам последовательных приближений¹⁾.

В системе, образуемой Солнцем, Землёй и Луной, характерной особенностью является огромное расстояние Солнца, т. е. возмущающего тела, от остальных двух; в системе Солнца и двух

¹⁾ Арифметические процессы получения цифры за цифрой бесконечной десятичной дроби или извлекающегося точно квадратного корня представляют собой простейшие случаи метода последовательного приближения.

планет важным фактором является масса Солнца, огромная по сравнению с возмущающей силой планет. Отсюда проистекает различие методов, применяемых к каждому случаю, и развиваются две существенно отличные отрасли предмета—лунная теория и планетная теория. Задачи, которые ставятся движениями спутников Юпитера, хотя и соприкасаются с лунной теорией, однако, отличаются от неё во многих важных отношениях и обыкновенно рассматриваются отдельно.

229. Как мы видели, Ньютон уже был на пути к разрешению своей проблемы, но в Англии ему не нашлось достойных последователей. Да и на континенте прогресс вначале двигался очень медленно. *Начала* прочитывались и вызывали восхищение у большинства первоклассных математиков того времени, но заключённые в них принципы не получили признания, и картезианская философия попрежнему занимала господствующее положение. Первым шагом вперёд был изданный в 1720 г. Парижской Академией Наук мемуар *Шевалье де Лувиля* (1671—1732), в основу которого положены были принципы Ньютона; десять лет спустя Академия наградила премией работу о планетных движениях, написанную *Иоганном Бернулли* (1667—1748) по картезианским принципам; ньютонианская работа осталась на втором плане. В 1732 г. Мопертью (гл. X, § 224) обнародовал трактат о фигуре Земли в духе Ньютона, а появившиеся шесть лет спустя *Элементы философии Ньютона* в блестящем общепонятном изложении Вольтера сыграли громадную роль в популяризации новых идей. Последний акт официального признания картезианства во Франции относится, повидимому, к 1740 г., когда предложенная Академией премия за исследование о приливах была поделена между картезианцем и тремя знаменитыми ньютонианцами (§ 230).

Быстрое развитие астрономии тяготения в период между этой эпохой и началом XIX в. является почти всецело плодом усилий пяти великих математиков континента—Эйлера, Клеро, Даламбера, Лагранжа и Лапласа, из коих старейший родился в 1707 г., а самый младший умер в 1827 г., через месяц после столетней годовщины смерти Ньютона. Эйлер был родом из Швейцарии, а Лагранж—итальянец по месту рождения, но француз по происхождению и в значительной мере по усыновлению, остальные трое были чистокровные французы. Почти всё XVIII столетие французы безраздельно царствовали в области астрономии тяготения и не утратили этого господства и в истекшем столетии, хотя астрономы и математики других стран с своей стороны сделали немало существенных вкладов в эту науку.

Для большего удобства мы сначала рассмотрим труды трёх первых из вышепоименованных учёных, после чего перейдём к Лагранжу и Лапласу, поднявшим астрономию тяготения на значительно более высокую ступень развития, нежели их предшественники.

230. Леонард Эйлер родился в Базеле в 1707 г., 14 годами позже Брэдлея и шестью годами раньше Лакайля. Он был сын протестантского пастора, изучавшего математику под руководством Якова Бернулли (1654—1705), первого из знаменитой фамилии математиков. Сам Леонард Эйлер был любимым учеником Иоганна Бернулли (младший брат Якова) и состоял в тесных дружеских отношениях с двумя его сыновьями, один из которых, Даниил (1700—1782), был не только выдающимся математиком, подобно дяде и отцу, но и первым видным приверженцем учения Ньютона за пределами Англии.

Эйлер начал с изучения теологии, но под давлением личных склонностей, а главное под влиянием Бернулли обратился к математике. По протекции Даниила Бернулли, незадолго до того получившего назначение профессором в Петербург, Эйлер получил и принял приглашение во вновь учреждённую Петербургскую Академию Наук (1727). Эта первая должность соединялась с приличным окладом; обязанности же, ей присущие, состояли в общем развитии и поощрении наук; впоследствии Эйлер занялся более определённым профессорским трудом, но главные силы в течение всей своей жизни посвящал писанию математических работ, большая часть которых была издана Петербургской Академией. Хотя он не вмешивался в политику, однако тогдашнее правительство недоброжелательно относилось к нему как к протестанту.

В 1741 г. он получил приглашение от Фридриха II участвовать в преобразовании берлинской Академии Наук. В течение 25 лет, проведённых в Берлине, Эйлер продолжал получать свой оклад в качестве члена Петербургской Академии и сотрудничал в её Записках. В 1766 г. он уступил усиленным просьбам Екатерины II и возвратился в Россию.

В 1735 г. он ослеп на один глаз, и это несчастье лишь вызвало у него замечание, что теперь он меньше будет отвлекаться от математики; вскоре по возвращении в Россию он ослеп и на другой глаз и за вычетом короткого промежутка, в течение которого мог немного пользоваться одним глазом после сделанной ему операции, до конца жизни оставался слепым. Но это обстоятельство мало влияло на изумительно богатую научную деятельность Эйлера; и только после 17 лет слепоты, вследствие апоплексического удара, «он перестал жить и вычислять» (1783).

Эйлер был, быть может, искуснейший и плодовитейший математик всех времён. Едва ли найдётся какой-нибудь отдел современного анализа, в который он не сделал бы крупных вкладов, а необычайной способности его к изобретению и применению методов вычисления нашлось успешное приложение в каждой из существовавших тогда отраслей прикладной математики; проблемы абстрактной динамики, оптики, движения жидкостей и астрономии он одну за другой подвергал своему анализу и разрешал

с успехом. Об обширности его писаний можно судить по тому, что помимо нескольких книг он написал около 800 статей по вопросам математики и физики; вычислено, что полное издание его сочинений заняло бы 25 томов *in quarto* по 600 страниц в каждом.

Первой астрономической работой Эйлера был опыт о приливах; удостоенный чести академической премии 1740 года, о которой мы уже упоминали; другие два ньютонианца были Даниил Бернулли и Маклорен (гл. X, § 196). Ни один, однако, из этих трёх математиков не решил задачи о приливах.

Эйлер дал два различных решения задачи о трёх телах в форме, пригодной для лунной теории, и сделал много чрезвычайно важных, хотя и не вполне совершенных добавлений к планетной теории. И в этой, и в другой области работы его настолько тесно соприкасаются с трудами Клеро и Даламбера, что мы считаем более удобным рассмотреть их вместе.

231. *Алексис Клод Клеро*, родившийся в Париже в 1713 г., принадлежит к разряду скороспелых гениев. Десятилетним мальчиком он уже прошёл исчисление бесконечно малых и конические сечения, далее, ещё не достигши 13-летнего возраста, представил учёный мемуар в Академию Наук, а 18 лет издал книгу, заключающую в себе некоторые важные дополнения к геометрии, чем и открыл себе доступ в Академию.

Вскоре после того он принимал участие в Лапландской экспедиции Мопертюи (гл. X, § 221), а в 1743 г., опубликовав предварительно несколько статей незначительной важности, выпустил свой классический труд о фигуре Земли. В нём он гораздо полнее, нежели Ньютон или Маклорен, рассмотрел вопрос о том, какую форму приняло бы вращающееся тело, вроде Земли, под влиянием взаимного притяжения своих частей; относительно же изменений в плотности внутреннего ядра он построил несколько гипотез совершенно нового характера; для изменений ускорения силы тяжести в зависимости от широты он получил формулы, близко согласующиеся с результатами опытов с маятником.

Хотя этот предмет и подвергался более тщательной разработке и более общему рассмотрению со стороны позднейших писателей, сделавших с своей стороны немало дополнений, однако к тому, что заключала в себе книга Клеро, не было добавлено ничего существенно важного.

Вслед за тем Клеро устремил своё внимание на задачу о трёх телах, нашёл решение, пригодное для Луны, и несколько подвинул вперёд планетную теорию.

Галлеева комета (гл. X, § 200) ожидалась около 1758 г.; незадолго до этого времени Клеро взялся вычислить вероятные возмущения, которые она могла претерпеть со времени своего последнего возвращения благодаря влиянию двух больших планет, Юпитера и Сатурна, поблизости от которых она должна была пройти. Чрезвычайно сложное вычисление показало, что комета

опоздает на 100 дней под влиянием Сатурна и на 518 под влиянием Юпитера, и в конце 1758 г. Клеро уведомил Академию, что прохождение кометы через перигелий (точка орбиты, ближайшая к Солнцу, — P на рис. 78) можно ожидать около 13 апреля следующего года, хотя вследствие различных дефектов вычисления возможна ошибка на месяц в ту или другую сторону. Весь астрономический мир с нетерпением ожидал кометы, которая, действительно, была замечена в Саксонии любителем астрономии *Георгом Паличем* (1723—1788) в день рождения 1758 г.; она прошла через перигелий ровно за месяц и день до срока, назначенного Клеро.

Таким образом, подтвердилась блестящая догадка Галлея; солнечная семья увеличилась новым членом, и явилась надежда, впоследствии вполне оправдавшаяся, что движения комет и в других случаях можно будет подвести под это правило и вычислять по тем же принципам тяготения, которым подчиняются остальные члены солнечной системы. В то же время сильно поколебались и предрассудки, связанные с появлением кометы.

Клеро, как личность, обладал, повидимому, большой привлекательностью и в парижском обществе являлся крупной величиной. К сожалению, здоровье его не соответствовало размерам общественных и научных обязанностей, и он скончался в 1765 г. в возрасте, от которого многого ещё можно было ожидать при его необычайных способностях¹⁾.

232. Жан-ле-Рон Д'Аламбер найден был подкинутым на ступенях церкви святого Жан-ле-Рона в 1717 г., в Париже, но впоследствии был признан и отчасти воспитан своим отцом, хотя родным домом считал дом своих приёмных родителей. Получив прекрасное образование в средней школе, он занялся изучением права и медицины, но затем отдался математике. Он обратил на себя внимание в математических сферах статьёй, написанной в 1738 г., а два года спустя допущен был в Академию Наук. Первой важной его работой был *Traité de Dynamique* (Трактат по динамике, 1743), в котором он, между прочим, впервые формулировал динамический принцип, носящий его имя; являясь в некотором

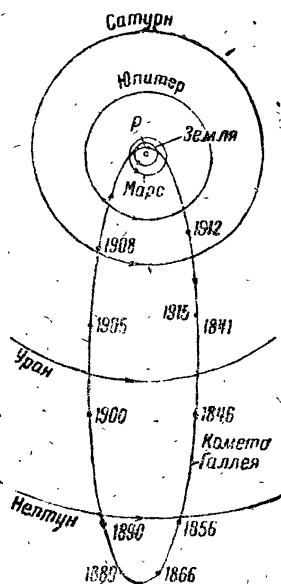


Рис. 78. Путь кометы Галлея.

¹⁾ Долголетие являлось характерной чертой многих великих математиков и астрономов: Ньютон умер на 85-м году, Эйлер, Лагранж и Лаплас прожили более 75 лет, а Даламбер скончался почти на 66-м году жизни.

смысле лишь следствием ньютонова третьего закона движения, этот принцип сыграл огромную роль во всех почти общих проблемах динамики как астрономических, так и иных.

В течение последующих нескольких лет Даламбер сделал много дополнений к математической физике, равно как и к задаче о трёх телах, а в 1749 г. напечатал свой труд о прецессии и нутации, о котором мы уже упоминали (гл. X, § 215). Начиная с этого времени, он всё больше и больше отдавался посторонним занятиям. В продолжение нескольких лет он участвовал вместе с Дидро в составлении знаменитой французской энциклопедии, издававшейся с 1751 г. и оказавшей столь громадное влияние на современную философскую и политическую мысль. Даламбер написал её введение (которое прочёл в 1754 г. во Французской Академии¹⁾ по случаю принятия его в это замечательное общество), равно как и множество научных и других статей. Во вторую половину жизни, прекратившейся в 1783 г., он мало писал по математике, но зато издал много книг по философским, литературным и политическим вопросам; в качестве секретаря Академии он написал так называемые похвальные слова семидесяти её членам. Таким образом, по словам Карлейля, «он обладал громадными способностями, особенно же ясностью метода; был знаменит в математике; не менее того, к удивлению некоторых, в изящных сферах литературы».

Даламбер и Клеро были соперники, и почти всякая работа одного строго критиковалась другим, хотя впрочем Клеро делал это с меньшим усердием и страстностью. Громадная популярность, которую Клеро снискал своей работой о галлеевой комете, особенно, кажется, возбуждала зависть Даламбера. Это соперничество, не представляя собой приятного зрелища, было, однако, полезно в том отношении, что благодаря ему подмечались и впоследствии исправлялись слабые места работ каждого из соперников. Во всех других отношениях Даламбер являлся чрезвычайно привлекательной личностью. При всей своей бедности он, однако, не принял соблазнительных приглашений Екатерины II и Фридриха II и предпочёл сохранить свою независимость. Жил он чрезвычайно скромно и несмотря на скудость средств значительную часть их отдавал своей приёмной матери, молодым студентам и многим другим нуждавшимся лицам, с которыми он приходил в соприкосновение.

233. Эйлеру, Клеро и Даламберу удалось независимо друг от друга и почти одновременно получить решение задачи о трёх телах в форме, пригодной для лунной теории. Эйлер издал в 1746 г. лунные таблицы, из которых видно было, что он уже полу-

¹⁾ Это общество, первоначально основанное в литературных целях, следует отличать от менее знаменитой Парижской Академии Наук, о которой мы часто упоминаем (иногда просто словом «Академия») в этой и предыдущей главе.

чил своё решение. Клеро и Даламбер представили в академию в 1747 г. мемуары, заключающие их решения, применимые к Луне в такой же мере, как и к некоторым задачам планетного движения. В каждом из этих мемуаров фигурировали затруднения, с которыми уже приходилось встречаться Ньютону: вычисленное движение лунного апогея составляло лишь половину наблюдаемой величины. Для устранения этого разногласия Клеро сперва допустил существование некоторых изменений в законе тяготения и получил результат, который показался ему вполне соответствующим тяготению, изменяющемуся отчасти обратно пропорционально квадрату, отчасти же — кубу расстояния¹⁾. Эйлер также питал сомнения насчёт закона обратных квадратов. Однако два года спустя (1749), просматривая свои первоначальные вычисления, Клеро открыл, что некоторые члены, которые он счёл малозначащими в начале вычисления и потому пренебрёг ими, приобрели с течением времени заметную величину. Приняв их в расчёт, он получил теоретическое перемещение апогея, весьма близкое к наблюдаемой величине. Это был первый из нескольких случаев, когда серьёзное разногласие между теорией и наблюдением сперва дискредитировало закон тяготения, но затем получало удовлетворительное объяснение и, следовательно, давало новое подтверждение его правильности. Когда Клеро объявил о своём открытии, Эйлер имел уже в своём распоряжении существенно тот же результат, добытый при помощи новых вычислений; между тем Даламбер, увеличив степень приближения, получил несколько более точный вывод. Произведённое Клеро новое вычисление движений Луны удостоено было премии, предложенной Петербургской Академией, и было издано в 1752 г. под заглавием *Théorie de la Lune* (Теория Луны). Двумя годами позже он обнародовал ряд лунных таблиц, а перед самой кончиной (1765) выпустил исправленное издание *Теории Луны*, включив в неё новые таблицы.

Вслед за мемуаром 1747 г. Даламбер дал полную теорию Луны (и ряд довольно хороших таблиц). Эта работа, будучи закончена в существенных частях уже к 1751 г., была обнародована только в 1754 г. в виде первого тома его *Исследований относительно некоторых важных пунктов системы мира* — *Recherches sur différents points importants du système du Monde*. В 1756 г. он обнародовал улучшенные таблицы, а несколькими месяцами позже третий том *Исследований* с новыми дополнениями к теории. Второй том его *Opuscules Mathématiques* (1762) (Математических статей) содержал в себе ещё один мемуар по тому же вопросу с третьим рядом таблиц, несколько исправленных по сравнению с прежними.

¹⁾ Т. е. он принял для тяготения формулу $\frac{\mu}{r^2} + \frac{\gamma}{r^3}$.

Первая лунная теория Эйлера (*Theoria Motuum Lunae*, *Теория движений Луны*) была обнародована в 1753 г., хотя он отослал её в Петербургскую Академию годом или двумя раньше. В приложении¹⁾ он с характерной для него искренностью указывает на недостатки, которыми, по его мнению, страдает его исследование, и предлагает новый метод рассмотрения вопроса. На этой теории Товия Майер основал свои таблицы, о которых мы упоминали в предыдущей главе (§ 226). Через много лет Эйлер изобрёл совершенно новый метод исследования предмета, и после нескольких предварительных статей, касавшихся общих свойств нового метода и специальных частей проблемы, он с помощью одного из своих сыновей и двух ассистентов весьма детально разработал лунную теорию, которую и издал, вместе с таблицами, в 1772 г. Он пытался, впрочем безуспешно, разобрать в своей теории вопрос о вековом ускорении среднего движения Луны, подмеченном Галлеем (гл. X, § 201).

В любом математическом исследовании астрономического вопроса некоторые данные должны быть почерпнуты из наблюдения, и из наших трёх астрономов Клеро, повидимому, искуснее всех умел пользоваться наблюдениями, значительную часть которых получал от Лакайля. Вот почему его таблицы изображали истинные движения Луны с гораздо большей точностью, нежели даламберовы, а в некоторых отношениях превосходили даже те, которые основаны были на второй гораздо тщательнее разработанной теории Эйлера. Последние таблицы Клеро редко ошибались в положении Луны более чем на $1\frac{1}{2}'$ и потому определяли долготу места наблюдения с точностью до $\frac{3}{4}^\circ$. Они, однако, никогда не пользовались большим распространением, так как таблицы Товия Майера, исправленные Брадлеем, на практике оказались гораздо более точными; но Майер так много брал из наблюдений, что его формулы нельзя считать истинным выводом из тяготения в том смысле, в каком мы понимаем труды Клеро. В математическом смысле вторая теория Эйлера представляет больше интереса и имела огромное значение как база для дальнейших усовершенствований. Новейшая лунная теория²⁾ есть в некотором смысле возврат к методам Эйлера.

234. Лунная теория Ньютона дала, так сказать, качественное выражение лунных неравенств, известных из наблюдений в эпоху обнародования *Начал*, и указала другие неравенства, наблюдениям ещё не обнаруженные. Но попытки его объяснить эти неправильности количественно удалось лишь в незначительной степени.

Эйлер, Клеро и Даламбер, воспользовавшись аналитическим методом вместо геометрического, облекли лунную теорию в совер-

¹⁾ Приложение это замечательно тем, что в нём впервые дается метод *вариации параметров* (вариация произвольных постоянных), который Лагранж впоследствии обработал и которым пользовался с большим успехом.

²⁾ Теория американского астронома Г. В. Хилла (гл. XIII, § 286).

шенно новую форму; это было выгодно в том отношении, что по затрате необходимых усилий можно было вычисления продолжить дальше и довести до более высокой степени точности. В результате их тщательных исследований оказалось возможным—за одним исключением—с значительной точностью объяснять наблюдаемые неравенства как качественно, так и количественно; и, таким образом, таблицы, как, например, таблицы Клеро, основанные на такой теории, довольно точно представляли лунные движения. Только что упомянутое нами исключение касается векового ускорения: мы видели, что Эйлеру не удалось объяснить его; Даламбер был не более счастлив в этом отношении, а Клеро, повидимому, и не затрагивал этого предмета.

235. Главными неравенствами планетных движений, обнаруженными из наблюдений эпохи до Ньютона, считалось поступательное движение линии апсид и крайне медленное уменьшение наклона эклиптики. К ним можно добавить изменения скоростей движения Юпитера и Сатурна, подмеченные Галлеем (гл. X, § 204).

Ньютон в общем показал, что возмущающее влияние соседней планеты производит перемещения линии апсид данной планетной орбиты, а также изменение в относительных положениях плоскостей, в которых движутся возмущающая и возмущаемая планеты; но он не произвёл детальных вычислений. Однако в различных планетных таблицах, изданных в промежуток между обнародованием *Начал* и серединой XVIII в., с большей или меньшей ясностью указывалось на наличие таких влияний, как на результат наблюдений.

Неправильности движения Земли, обнаруживающиеся в неправильностях кажущегося движения Солнца, а также Юпитера и Сатурна, представляют самые интересные и важные из планетных неравенств; вот почему Парижская Академия неоднократно назначала премии за работы по тому или другому из этих вопросов.

Возмущения Луны неизбежно вызывают в силу принципа равенства действия и противодействия соответственные, хотя и незначительные возмущения Земли; в различных случаях они рассмотрены были Клеро и Эйлером, а ещё полнее Даламбером.

В мемуаре от 1747 г. (§ 233) Клеро пытался приложить своё решение задачи о трёх телах к системе Солнца, Земли и Сатурна; вследствие громадного расстояния Сатурна от Солнца (он почти вдесятеро дальше Земли) эта система является наиболее сходной с системой Луны, Земли и Солнца (см. § 228).

Десять лет спустя Клеро довольно подробно рассмотрел возмущения Земли, производимые Венерой и Луной. Эта работа замечательна тем, что заключает в себе первую попытку определения масс небесных тел из величины возмущений, ими производимых. Клеро приложил этот метод к Луне и Венере, вычислив возмущения движения Земли, вызванные их соединённым влиянием (зависящим, разумеется, от величины их масс), и затем

сопоставил полученные результаты с солнечными наблюдениями Лакайля. Таким путём он нашёл, что масса Луны составляет около $\frac{1}{67}$, а масса Венеры около $\frac{2}{3}$ массы Земли; первый результат являлся значительным шагом вперёд по сравнению с ньютоновой оценкой, полученной из теории приливов (гл. IX, § 189), а второй, совершенно новый результат (ибо предыдущие оценки носили вполне гадательный характер) довольно близко согласуется с точными измерениями¹⁾. Для иллюстрации взаимного влияния наблюдения и математической теории заметим, что в то время как Клеро пользовался наблюдениями Лакайля для своей теории, Лакайль в свою очередь пользовался вычислениями возмущений Земли, сделанными Клеро, для исправления своих солнечных таблиц, изданных в 1758 г.

Метод решения задачи о трёх телах, принадлежащий Клеро, применялся и *Жозефом Жеромом Ле-Франсуа Лаландом* (1732—1807), который известен главным образом как превосходный популяризатор астрономии, но был также неутомимым вычислителем и наблюдателем; он приложил этот метод к возмущениям Марса Юпитером, Венеры—Землёй и Земли—Марсом, впрочем с посредственным успехом.

Во втором томе своих *Исследований* Даламбер сделал некоторые добавления к общей теории планетных возмущений и применил свои методы к Юпитеру и Сатурну.

236. Эйлер значительно подвинул вперёд общую теорию планетных движений рядом работ, начиная с 1747 г. Он неоднократно пытался дать объяснение неправильностям Юпитера и Сатурна, но ему ни разу не удалось согласовать своё объяснение с наблюдениями более или менее удовлетворительным образом. Однако он показал, что возмущающее влияние остальных планет должно подвигать линию апсид земной орбиты на $13''$ вперёд ежегодно, а наклонение эклиптики уменьшать приблизительно на $48''$ в столетие; оба эти результата оказались в полном согласии с наблюдениями и произведёнными впоследствии более тщательными вычислениями. Эйлер указал также на существование некоторых других планетных неправильностей, по большей части до него не наблюдавшихся.

В работе, удостоенной академической премии 1756 г., но впервые обнародованной лишь в 1771 г., Эйлер с достаточной полнотой развил метод исследования возмущений, на который он указал в своей лунной теории 1753 г. Так как этот метод, известный под названием *сериации элементов* или *параметров*, сыграл очень видную роль в последующих изысканиях, то мы попытаемся дать о нём некоторое понятие.

Если пренебречь возмущениями, то планету можно считать движущейся по эллипсу, в одном из фокусов которого находит-

¹⁾ Массу Венеры считают равной 0,82 массы Земли.

ся Солнце. Величина и форма эллипса определяется *длиной его большой оси и эксцентриситетом*; плоскость, в которой эллипс расположен, определяется положением так называемой *линии узлов*, т. е. линии пересечения этой плоскости с постоянной плоскостью (за которую обыкновенно принимается плоскость эклиптики), и *взаимным наклоном* этих двух плоскостей. Даже при постоянстве этих четырёх величин эллипс ещё может вращаться около своего фокуса в собственной плоскости, но если установить *направление линии аспид*, то положение эллипса уже вполне определится. Если, далее, известно положение планеты на эллипсе в какой-нибудь определённый момент, то этим вполне определяется характер её движения, и становится возможным наперёд вычислить её положение для любого данного момента. Эти шесть величин известны под названием *элементов*, вполне определяющих движение планеты, не подверженной возмущениям.

При возмущениях путь, описываемый планетой в течение одного обращения, уже не представляет собой эллипса, хотя и не слишком отличается от него; если взять Луну, то отклонения окажутся довольно большими. Если сопоставить движения какой-либо планеты в две отдалённые между собой

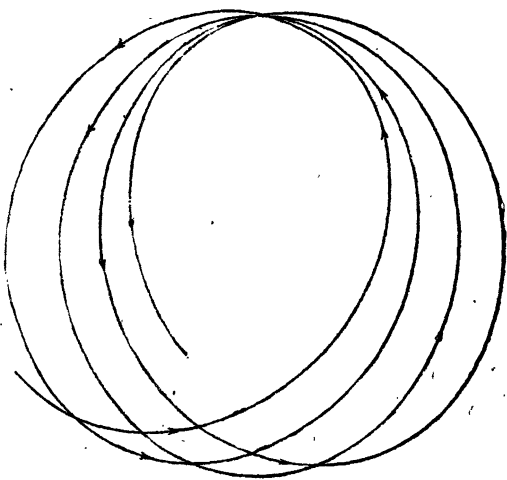


Рис. 79. Варьирующий эллипс.

эпохи, то, хотя в каждом случае путь, описанный ею, весьма приближается к эллипсу, самые эллипсы в некоторых отношениях будут отличаться друг от друга. Например, между эпохами Птолемея (150 г. после н. э.) и Эйлера направление линии аспид земной орбиты изменилось почти на 5° , изменились отчасти и некоторые другие элементы. Поэтому при рассмотрении движения планеты в течение долгого периода времени полезно бывает ввести понятие о такой эллиптической орбите, которая постепенно меняет своё положение, а, может быть, и величину и вид. Одним из следствий такого порядка вещей является то, что истинный путь, описываемый планетой в продолжение значительного числа обращений, представляет собой кривую, весьма мало похожую на эллипс. Если, например, линия аспид равномерно обращается около фокуса, в то время как остальные элементы остаются без изменения, то описываемый планетой путь напоминает рис. 79.

Эйлер столь далеко развил эту идею, что в состоянии был представить возмущения планеты—безразлично, в течение ли одного обращения или большего промежутка времени,—в виде изменений эллиптической орбиты. Ибо где бы планета ни находилась и какова бы (в известных пределах, разумеется¹) ни была скорость или направление её движения, всегда возможно найти такой эллипс, с Солнцем в одном из фокусов, по которому планету можно считать движущейся в течение короткого промежутка времени. Следовательно, возмущаемая планета как бы описывает во всякий момент эллипс, который, однако, непрерывно изменяет свои элементы. Таким образом, задача исследования движения сводится к определению элементов эллипса, изображающего движение планеты в данное время. Далее, Эйлер показал, что если известно положение возмущаемой планеты, то можно вычислить соответственные скорости изменения элементов варьирующего эллипса и достичь некоторого успеха в попытках вывести из этих данных истинные элементы. Однако, за вычетом нескольких простейших случаев он встретил непреодолимые математические трудности и предоставил следующему поколению математиков, главным образом Лагранжу, развернуть всё могущество этого метода.

237. *Жозеф Луи Лагранж* родился в Турине, в 1736 г., когда Клеро выезжал в Лапландию, а Даламбер был ещё ребёнком; он происходил из французской семьи, три поколения которой прожили в Италии. Он очень рано проявил необычайные математические способности и чуть не мальчиком был назначен профессором артиллерийской школы родного города, ученики которой были старше своего учителя. Несколько лет спустя он был главным инициатором основания учёного общества,—впоследствии Туринской Академии Наук; общество это выпустило в 1759 г. первый том своих записок, в который вошло несколько математических статей Лагранжа, написанных в течение нескольких последних лет. Одна из этих статей²) произвела на Эйлера, специально изучившего этот предмет, столь глубокое впечатление, что он немедленно добился для Лагранжа лестного приёма в члены Берлинской Академии.

В 1764 г. Лагранж получил премию, назначенную Парижской Академией за работу о либрации Луны. В этой работе он не только дал первое удовлетворительное, хотя и неполное исследование либраций (гл. VI, § 133) нашего спутника, протекающих от несовершенной шарообразности Земли и Луны, но и ввёл общий метод исследования динамических задач³), послуживший

¹) При больших скоростях орбита может быть параболической или гиперболической; ни тот, ни другой случай не встречается среди известных нам планетных орбит.

²) О вариационном исчислении.

³) Составление общих уравнений движения с помощью комбинации принципа возможных перемещений и принципа Даламбера.



ЛАГРАНЖ.

базисом почти всех отделов динамики, которые развились до настоящего дня.

Два года спустя (1766) Фридрих II, по совету Даламбера, пригласил Лагранжа заменить Эйлера (вернувшегося в то время в Петербург) в должности главы математической секции Берлинской Академии, сославшись в виде довода на желание «величайшего в Европе короля» иметь величайшего европейского математика при своём дворе. Лагранж принял столь пышно выраженное приглашение и 21 год прожил в Берлине.

В этот период он написал массу статей по астрономии, по общей динамике и по различным отделам чистой математики. Некоторые из важнейших астрономических работ были посланы в Париж и удостоились академических премий; большая часть других работ—всего около 60—была издана Берлинской Академией. В это же время он написал свой крупный труд, *Аналитическую механику* (*Mécanique Analytique*), одну из прекраснейших математических книг, в которой полностью развил общие динамические идеи, заключающиеся в первой работе о либрации. Любопытно, что ему трудно было найти издателя для своего произведения, которое появилось только в 1788 г. в Париже. Годом раньше, после смерти Фридриха, он оставил Берлин и принял приглашение Людовика XVI присоединиться к Парижской Академии. Около этого времени он заболел одним из припадков меланхолии, которые периодически посещали его и, по общему мнению, были следствием переутомления от слишком усиленных занятий в Турине. Рассказывают, что он в течение двух лет после издания *Аналитической механики* не заглядывал в неё и большую часть времени проводил в занятиях химией и другими отраслями естествознания, равно как и в занятиях ненаучного свойства.

В 1790 г. Лагранж был назначен президентом комиссии по составлению новой системы мер и весов, трудами которой увенчались созданием метрической системы; научная работа, которой требовало это предприятие, постепенно пробудила в нём прежний интерес к математике и астрономии. Он пользовался большим уважением у различных правительств, сменявшихся во Франции, вплоть до самой своей смерти; так, в 1793 г. он был изъят из декрета, которым изгонялись иностранцы; впоследствии он был назначен профессором математики, сперва в Нормальной (1795), а затем в Политехнической школе (1797), причём вторую должность он сохранял за собой до самой смерти, последовавшей в 1813 г. В этот период он напечатал в добавление к огромному числу работ по астрономии и математике три ценных книги из области чистой математики ¹⁾, а за смертью не совсем окончил

¹⁾ *Théorie des Fonctions Analytiques* (Теория аналитических функций, 1797), *Résolution des Equations Numériques* (Решение численных уравнений, 1798), *Leçons sur le Calcul des Fonctions* (Лекции о вычислении функций, 1805).

второе издание *Аналитической Механики*, второй том которой появился уже после его кончины.

238. *Пьер Симон Лаплас*, сын мелкого фермера, родился в Бомоне, в Нормандии, в 1749 г., будучи, таким образом, на 13 лет моложе своего великого соперника, Лагранжа. При помощи зажиточных соседей ему удалось окончить военную школу, а впоследствии стать учителем в родном городке. На 18-м году он отправился в Париж с рекомендательным письмом к Даламберу, и когда оно не возымело действия, он написал ему письмо о принципах механики; это последнее произвело на Даламбера столь глубокое впечатление, что он сразу заинтересовался молодым математиком и доставил ему место в Парижской военной школе. С этого времени Лаплас жил постоянно в Париже, занимая различные официальные должности. Первая его работа (по чистой математике) была напечатана в Записках Туринской Академии за 1766—1769 гг., и с этого времени до конца жизни он писал статьи и книги по астрономии и родственным отделам математики.

Труды Лапласа по астрономии в значительной мере воплотились в его *Небесной механике*, пять томов которой появлялись с небольшими промежутками между 1799 и 1825 гг. В этом огромном трактате он замыслил собрать воедино всё, что сделано было для развития астрономии тяготения со времени Ньютона. Из астрономических книг он издал ещё только одну, именно *Exposition du Système du Monde* (*Изложение системы мира*, 1796), один из превосходнейших и увлекательно написанных трактатов по астрономии, когда-либо напечатанных; в нём великий математик ни разу не пользовался алгебраической формулой либо геометрическим чертежом. В 1812 г. он издал тщательно разработанный трактат по теории вероятностей¹⁾, послуживший основой всех почти дальнейших исследований этого вопроса, а в 1819 г. выпустил более популярный *Философский опыт* (*Essai Philosophique*) на эту же тему.

В частной жизни Лаплас, кажется, был не столь привлекательной личностью, как Лагранж. Он тщеславился своей учёной репутацией и не всегда корректно относился к своим соперникам. С Лагранжем, однако, он непрерывно поддерживал дружеские отношения и нередко помогал молодым математикам, обещавшим что-нибудь в будущем. Он назначен был членом в комиссию мер и весов, а впоследствии в бюро долгот; по основанию Нормальной школы он был назначен в неё профессором. Когда Наполеон сделался первым консулом, Лаплас просил и добился должности домашнего его секретаря, но, к счастью для науки, был признан неспособным занимать её и через шесть недель ушёл (1799)²⁾;

¹⁾ *Théorie Analytique des Probabilités.*

²⁾ То обстоятельство, что эту должность Наполеон отдал своему брату Люсьену, внушало некоторые сомнения насчёт беспристрастия приговора, которым Наполеон признал «неспособность» Лапласа.

в утешение его назначили членом вновь учреждённого сената. Третий том *Небесной механики*, вышедший в 1802 г., начинался посвящением «героическому умиротворителю Европы», от которого он впоследствии удостоился многих отличий и, между прочим, графского титула, дарованного ему при возникновении империи. После реставрации Бурбонов в 1814 г. он предложил им свои услуги, за что и был произведён в маркизы. В 1816 г. он удостоился необычайной для математика чести (в чём посчастливилось, между прочим, и Даламберу), именно, был избран одним из сорока «бессмертных» Французской Академии (*Académie Française*); этим обстоятельством он в значительной мере обязан был, повидимому, литературным достоинствам *Системы мира*.

Несмотря на эти диверсии в области, чуждые науке, он тем не менее усердно занимался математикой и астрономией и даже после окончания *Небесной механики* написал к ней дополнение, изданное после его смерти (1827).

Его предсмертные слова: «*Ce que nous connaissons est peu de chose, ce que nous ignorons est immense*» («то, что мы знаем, ничтожно по сравнению с безграничной областью непознанного»), вышедшие из уст человека, так много внесшего в науку, показывают его личность в более выгодном свете, чем события его карьеры.

239. За исключением статьи Лагранжа о либрации почти все важнейшие его и лапласовы труды по астрономии сделаны были тогда, когда труды Клеро и Даламбера были почти уже закончены, хотя деятельность Эйлера текла ещё в течение почти 20 лет. Лагранж, однако, пережил его больше чем 30 годами, а Лаплас более чем 40; вместе они подвинули астрономическую науку на несравненно высшую ступень развития, нежели три их предшественника.

240. К лунной теории Лагранж сделал сравнительно мало добавлений, если не считать общих методов, в равной мере приложимых как к этой, так и к другой астрономической проблеме; но Лаплас обратил на неё особенное внимание. Из собственных его открытий в этой области замечательнее всего объяснение векового ускорения среднего движения Луны (гл. X, § 201), столь озадачивавшего многих астрономов. Лагранж пытался объяснить его (1774), но потерпел столь полную неудачу, что даже усомнился в подлинности ранних наблюдений, на основании которых рассматриваемое явление считали существующим. Лаплас, безуспешно пытаясь применить обычные методы, старался объяснить его предположением, что тяготение не передаётся мгновенно, но подобно свету затрачивает известный промежуток времени на прохождение от притягивающего тела к притягиваемому; но и это объяснение не удалось. Наконец, он приписал его (1783) косвенному планетному влиянию. Некоторые возмущения, претерпеваемые Луной под влиянием Солнца, зависят, между прочим, от эксцентриситета земной орбиты; это один из элементов (§ 236), ко-



ЛАПЛАС.

торый изменяется под влиянием притяжения планет, уменьшаясь за несколько столетий на очень незначительную величину; поэтому означенное возмущение подвержено лёгкому изменению, в силу которого средняя скорость движения Луны медленно возрастает, иначе сказать, уменьшается продолжительность месяца. Действие этого возмущения весьма невелико и становится заметным лишь по прошествии большого промежутка времени. Вычисления Лапласа показали, что по вышеизложенной причине Луна ускоряет своё движение на $10''$ (точнее $10'',2$) в столетие или почти через 1300 полных обращений, так что положение её на небе отличается на указанную величину от того, какое она занимала бы, если бы возмущающей причины не существовало; за два столетия движение ускорилося бы на $40''$, в три столетия на $90''$ и т. д. Далее Лаплас показал (§ 245), что эксцентриситет земной орбиты не вечно будет уменьшаться, но по прошествии огромного периода времени, исчисляемого тысячами лет, начнёт увеличиваться, вследствие чего лунное движение станет замедляться.

Результаты Лапласа почти в точности согласовались с тем, что показывало наблюдение; таким образом, последнее из важных разногласий в солнечной системе между теорией и наблюдением получило, повидимому, объяснение; по любопытному стечению обстоятельств это случилось ровно через сто лет после издания *Начал*.

Однако много лет спустя объяснение Лапласа оказалось гораздо менее полным, чем могло показаться его современникам (гл. XIII, § 287).

То же самое исследование открыло Лапласу существование и в других элементах лунной орбиты изменений аналогичного характера и зависящих от той же причины; хотя их раньше не замечали, но следы их нашли в некоторых древних наблюдениях затмений.

241. Третий том *Небесной механики* заключает в себе общий трактат по лунной теории, основанный на методе, совершенно отличном от всех, ранее употреблявшихся, и разработанный весьма детально. «В этой книге,—писал Лаплас,—я имею целью показать в одном законе всемирного тяготения источник всех неравенств движения Луны, затем воспользоваться этим законом как средством открытия, усовершенствовать теорию этого движения и вывести из неё некоторые важные элементы лунной системы». Сам Лаплас не вычислял лунных таблиц, но венский астроном *Иоганн Говия Бюрг* (1766—1834) широко воспользовался его формулами, равно как и огромным количеством гринвичских наблюдений, для составления лунных таблиц, отосланных во Французский институт в 1801 г. (перед обнаружением полной лунной теории Лапласа) и опубликованных в слегка исправленном виде в 1806 г. Несколько лет спустя (1812) *Иоганн Карл Буркгардт* (1773—1825), немец, поселившийся в Париже и трудившийся

под руководством Лапласа и Лаланда, выпустил новые таблицы, основанные непосредственно на формулах *Небесной механики*. Они повсюду вытеснили таблицы Бюрга, в свою очередь заступившие место Масоновых или Майеровых, как более совершенные.

Последующие стадии развития лунной теории удобно отнести к астрономии XIX века (гл. XIII, § 286).

242. Наблюдения обнаружили, повидимому, существование неравенств двойного рода в планетных и лунных движениях. С одной стороны, есть такие неравенства, которые, подобно большей части лунных, проходят свой цикл перемен в течение немногих обращений возмущающего тела; с другой стороны, существуют и такие неравенства, вроде векового ускорения среднего движения Луны или движения аспид земной орбиты, в которых изменения наблюдаются всё в одном и том же направлении, не обнаруживая признаков периодического цикла.

Математическое исследование возмущений вскоре показало желательность применения различных методов к рассмотрению этих двух классов неравенств, которые приблизительно соответствуют вышеупомянутому разделению и с которыми мало-помалу привыкли соединять названия *периодических* и *вековых*. Это разделение играет видную роль в трудах Эйлера (§ 236), но только Лагранж впервые вполне оценил всю громадную важность его, особенно для планетной теории, и занялся специальным изучением вековых неравенств.

При изучении возмущений одной планеты, вызываемых другой, необходимо бывает получить математическое выражение возмущающей силы, которой обладает эта другая планета. Это выражение вообще зависит как от элементов обеих орбит, так и от положения планет на орбитах в данное время. Впрочем его можно разбить на две части, из которых одна будет зависеть от положений планет (равно как и от элементов), другая же только от элементов обеих орбит, оставаясь вполне независимой от тех положений, какие планеты могут занимать на своих орбитах в данное время. Так как положения планет на орбитах быстро меняются, то, с одной стороны, и возмущающая сила быстро изменяется, производя в общем через короткие промежутки времени действия противоположного свойства; сперва, например, она ускоряет, а затем замедляет движение возмущаемой планеты; соответственно этому получаются периодические неравенства, по большей части проходящие полный цикл перемен в течение немногих обращений планеты, а то и ещё быстрее. С другой стороны, средняя величина возмущающей силы остаётся почти неизменной в течение значительного промежутка времени и даёт начало таким изменениям в элементах, вообще чрезвычайно малым, которые накапливаются в течение огромного промежутка времени, приобретая с течением времени ощутительную величину: это—вековые неравенства.

Вообще можно сказать, что периодические неравенства обладают временным, а вековые — постоянным характером, что Джон Гершель выразил следующим образом:

«В сущности, вековые неравенства это то, что остаётся после взаимного уничтожения больших (как часто случается) периодических неравенств. Но эти последние по природе своей временны и преходящи; они исчезают в короткие периоды и не оставляют после себя никаких следов. Планета на время сдвигается со своей (медленно изменяющейся) орбиты, но затем снова на неё вступает, чтобы уклониться в противоположную сторону на ту же величину, тогда как изменяющаяся орбита приспособливается к середине между этими отклонениями»¹⁾.

«Временный» и «короткий», однако, понятия относительные. Некоторые периодические неравенства, особенно лунные, обладают периодами всего в несколько дней, а большая часть важнейших периодов обнимает лишь немногие годы; но нам известны и такие, которые длятся столетия и даже тысячи лет и часто могут быть рассматриваемы как вековые, если мы пожелаем принять в расчёт промежутки только в несколько лет. С другой стороны, многие из известных нам вековых неравенств на самом деле не постоянны, но колеблются подобно периодическим, хотя лишь в течение огромных периодов времени, исчисляемых нередко десятками тысячелетий.

Одно из различий между движениями Луны и планет заключается в том, что в первом случае периодические неравенства сравнительно велики и имеют важное значение, особенно для практических целей, вроде вычисления положений Луны на несколько месяцев вперёд; планетные же периодические неравенства обыкновенно бывают ничтожны, и только вековые неравенства представляют огромный интерес.

Метод исследования эллиптических орбит, рассматриваемых как переменные, особенно пригоден для вековых неравенств; для исследования же периодических неравенств удобнее рассматривать тело, как уклоняющееся от эллиптической орбиты, и изучать эти отклонения.

«Простейший способ рассмотрения этих различных возмущений заключается в том, чтобы вообразить себе планету движущейся в согласии с законами эллиптического движения по эллипсу, элементы которого изменяются в незначительной степени, и думать в то же время, что истинная планета совершает колебания около фиктивной по крайней мере малой орбите, характер которой зависит от периодических возмущений»²⁾.

Первый метод, которым, как говорилось выше, мы обязаны Эйлеру, был усовершенствован и очень часто употреблялся Лагранжем, имя которого он нередко и носит;

243. На первых порах естественно было предположить, что медленное изменение скоростей движения Юпитера и Сатурна (§ 235, 236, гл. X, § 204) является следствием векового неравен-

¹⁾ *Очерки астрономии*, § 656 (имеется в русском переводе Драшусова).

²⁾ Лаплас, *Система мира*.

ства; в 1766 г. Лагранж пытался объяснить его в этом смысле; хотя эта попытка ему и не удалась, однако она больше соответствовала наблюдениям, нежели работа Эйлера. В своей первой статье о вековых неравенствах (1773) Лаплас нашёл при помощи более полного анализа, что вековые изменения скоростей движения Юпитера и Сатурна видимым образом клонятся к совершенному исчезновению, и попытался объяснить эти явления гипотезой, к которой астрономы часто прибегают в затруднительных случаях, именно, что в дело замешалась комета.

В 1773 г. Иоганн Генрих Ламберт (1728—1777) из исследования наблюдений обнаружил, что в то время как Галлей нашёл Сатурна движущимся медленнее, нежели в древности, в его, Ламберта, эпоху он движется быстрее, нежели во времена Галлея; это указывало на наличие некоторой периодической причины.

Наконец, Лаплас в 1784 г. напал на верное объяснение. В 1776 г. Лагранж заметил, что если времена обращения двух планет в точности пропорциональны двум целым числам, то периодически изменяющаяся возмущающая сила производит вековое изменение в их движениях, непрерывно действующее в одном и том же направлении (впрочем, Лагранж показал, что в солнечной системе такого случая не наблюдается). Мало того, если времена обращения приближённо пропорциональны двум целым числам (не очень большим), то периодически возмущающая сила отчасти производит неправильности, которые нельзя строго называть вековыми, но обладающие периодами огромной продолжительности; и даже столь малая возмущающая сила, что влияние её обыкновенно ускользает от наблюдения, при подобных обстоятельствах способна произвести значительный эффект¹⁾.

Юпитер и Сатурн обращаются вокруг Солнца в периоды, соответственно равные 4 333 и 10 759 суткам; упятерённое первое число равно 21 665, а удвоенное второе—21 518, т. е. немногим меньше. Мы имеем, следовательно, тот редкий случай, о котором говорилось выше; разработав его, Лаплас открыл ощутительное неравенство с периодом около 900 лет, которое довольно удовлетворительно объясняло наблюдения.

Неравенства этого рода, коих открыто было немало, известны под названием *больших неравенств*, и в них можно видеть про-

¹⁾ Если n и n' —средние движения двух планет, то выражение возмущающей силы содержит в себе члены вида $\frac{\sin}{\cos} (np \pm n'p')t$, где p, p' —целые числа, а коэффициент порядка $p-p'$ относительно эксцентриситетов и наклонений. Если p и p' таковы, что $np-n'p'$ мало, то соответствующее неравенство имеет период $2\pi/(np-n'p')$, и хотя коэффициент его принадлежит к порядку $p-p'$, однако в знаменателе его есть ничтожный делитель $np-n'p'$ (или его квадрат), и потому оно может быть значительным. Например, в случае Юпитера и Сатурна $n=109\,257$ в секундах дуги и в год, $n'=43\,996$; $5n'-2n=1\,466$; получается поэтому неравенство третьего порядка с периодом (в годах), равным $2\pi/1466$ сек. дуги $=2\pi \cdot 206\,265/1466$ = кругл. числ. 900 годам.

межуточную ступень между вековыми и периодическими неравенствами.

244. Открытие, что наблюдаемое неравенство Юпитера и Сатурна не принадлежит к вековым, можно считать первой ступенью в замечательном ряде исследований вековых неравенств, произведённых Лагранжем и Лапласом преимущественно в промежутке между 1773 и 1784 гг. и приведших к некоторым из самых интересных и общих результатов во всей астрономии тяготения. Оба астронома, из которых один жил в Берлине, а другой—в Париже, поддерживали между собой непрерывные сношения, и едва ли кем-либо из них был достигнут хоть один важный успех без того, чтобы другой им сейчас же не воспользовался и не попытался дать ему дальнейшее развитие.

Центральной задачей был вопрос о вековых изменениях элементов планетной орбиты, рассматриваемой как варьирующий эллипс. Три из этих элементов, именно: ось эллипса, его эксцентриситет и наклон его плоскости к некоторой постоянной плоскости (обыкновенно плоскость эклиптики), представляют гораздо больше важности, чем остальные три. Первые два—это те элементы, от которых зависит величина и вид орбиты, а первый из них определяет ещё (по третьему закону Кеплера) период обращения и среднюю скорость движения планеты¹⁾, третий же оказывает важное влияние на взаимное расположение двух планет.

Сверх того надобно заметить, что эксцентриситеты и наклоны во всех случаях рассматривались как величины малые; поэтому результаты исследований оказались приближёнными, так как не только эти величины, но и самые возмущающие силы принимались за малые.

245. В основу всех этих исследований легла крупная работа, опубликованная Лагранжем в 1766 г., в которой он изложил метод вариации элементов и предложил формулы, связывающие скорости изменений элементов с возмущающими силами.

В статье 1773 г. Лаплас показал, что то, что справедливо для Юпитера и Сатурна, имеет более общее приложение, и доказал, что в случае планеты, возмущаемой какой-нибудь другой планетой, большая ось орбиты не только не претерпевает вековых изменений в настоящее время, но не претерпела заметных изменений даже с того времени, «когда стали заниматься астрономией».

В следующем году Лагранж получил выражение для векового изменения наклона, пригодное для всех времён. Когда его приложили к Юпитеру и Сатурну, которых по причине огромного превосходства размеров и больших расстояний от остальных планет не без оснований можно соединить в отдельную систему вместе с Солнцем, то оказалось, что перемены в наклонениях всегда

¹⁾ Это положение требует некоторых ограничений, когда берутся в расчёт возмущения. Но этот пункт не очень важен, и для рассмотрения его необходимо располагать некоторыми техническими познаниями.

должны носить периодический характер, так что наклонения не могут переступить известных определённых границ, не многим отличающихся от существующих оценок. Подобные же результаты получились и для системы, образуемой Солнцем, Венерой, Землёй и Марсом. Лагранж, кроме того, заметил, что есть случаи, как он выразился, к счастью, кажется, не встречающиеся в нашей системе, в которых, напротив, наклонение может возрастать неопределённо. Различие зависит от масс рассматриваемых тел, и хотя все планетные массы известны несколько неточно, а оценки, принятые Лагранжем для Венеры и Марса, носят характер чистых догадок, тем не менее казалось, что никакое возможное изменение в оценках масс не сможет повлиять на общий вывод, к которому он пришёл.

Два года спустя (1775) Лаплас, восхищённый методом, которым пользовался Лагранж, приложил его к исследованию вековых изменений эксцентриситетов и нашёл, что и они обладают свойствами периодичности, так что эксцентриситет не может возрастать или уменьшаться безгранично.

В следующем году в замечательной статье, состоявшей всего из 14 страниц, Лагранж доказал, что независимо от того, будут ли эксцентриситеты и наклонения приниматься за малые величины и каковы бы ни были массы планет, все изменения длины большой оси какой-нибудь планетной орбиты непременно должны носить характер периодических, так что всё время длина оси может колебаться лишь в тесных пределах. Этот результат, однако, всё ещё покоился на предположении, что возмущающие силы можно рассматривать, как малые величины.

За этой статьёй последовало пять работ, обнародованных между 1781 и 1784 гг., в которых Лагранж суммировал свои первые труды, пересмотрел и исправил свои методы и приложил их к периодическим неравенствам, равно как и к различным другим задачам.

Наконец, в 1784 г. Лаплас в той же статье, в которой объяснил большое неравенство Юпитера и Сатурна, установил с помощью чрезвычайно простого метода два замечательных соотношения между эксцентриситетами и наклонениями планет или других подобных тел.

Первое соотношение читается так:

Если массу каждой планеты помножить на квадратный корень из большой оси её орбиты и на квадрат эксцентриситета (за вычетом периодических неравенств), то сумма этих произведений постоянна для всех планет.

Второе читается точно так же, с той лишь разницей, что на место эксцентриситета ставится наклонение¹⁾.

¹⁾ $\sum e^2 m \sqrt{a} = c, \sum \lg^2 i \cdot m \sqrt{a} = c'$, где m — масса планеты; a, e, i — большая полуось, эксцентриситет и наклонение орбиты. Уравнение это точно до квадрата малых величин и потому безразлично, поставим ли мы $\lg i$ или само i , как мы это сделали в тексте.

Первым из этих предложений устанавливается то, что можно назвать запасом или фондом эксцентриситета, приходящимся на долю планет солнечной системы. Если эксцентриситет одной орбиты возрастает, то эксцентриситет другой претерпевает соответствующее уменьшение. Таким образом, фонд никогда не превышает нормы. Сверх того наблюдение показывает, что эксцентриситеты всех планетных орбит невелики; следовательно, весь фонд невелик, а величина, приходящаяся на долю какой-нибудь одной планеты в данное время, и совсем мала¹⁾. Отсюда вытекает, что эксцентриситет орбиты такой планеты, которой масса и расстояние от солнца значительны, никогда не может сильно увеличиться; подобное же заключение приходится сделать и относительно наклонений различных орбит.

Эти два предложения предполагают одну замечательную особенность устройства солнечной системы, состоящую в том, что все планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении, которое представилось бы наблюдателю, помещённому с северной стороны орбит, *обратным движению часовых стрелок*. Если бы какая-нибудь планета двигалась в противоположном направлении, то соответствующие части фондов эксцентриситета или наклонения вычитались бы, вместо того чтобы складываться, и, таким образом, величина фонда не ограничивала бы их возможных изменений.

Нечто подобное такому ограничению скрывается и в ранних выводах Лапласа относительно невозможности существования постоянных перемен в эксцентриситетах, хотя может существовать такая система, относительно которой его результаты будут верны даже и в том случае, если один или несколько членов её обращаются в направлении, отличном от остальных; но зато при этом необходимы некоторые ограничения относительно пропорций между орбитами, которых в других случаях не требуется.

Результаты, полученные обоими астрономами, можно вкратце выразить следующим образом: все изменения оси, эксцентриситета и наклонения любой планетной орбиты постоянно заключены в тесных пределах. Возмущения, производимые планетами, заставляют все эти величины претерпевать колебания определённых размеров, из которых некоторые, причиняемые периодически действующими возмущающими силами, проходят свой цикл в сравнительно короткие периоды, иные же, управляемые вековыми силами, требуют огромнейших промежутков времени.

Таким образом, можно сказать, что насколько это зависит от рассмотренных нами астрономических причин, устойчивость солнечной системы обеспечена.

¹⁾ Почти весь «фонд эксцентриситета» и «фонд наклонения» солнечной системы приходится на долю Юпитера и Сатурна. Если бы Юпитер поглотил целиком каждый из этих фондов, то эксцентриситет его орбиты возрос бы всего на 25 процентов, а наклонение к эклиптике даже не удвоилось бы.

Если мы, например, возьмём орбиту обитаемой планеты—Земли, то сильное изменение большой полуоси её орбиты, т. е. среднего расстояния от Солнца, произвело бы более чем пропорциональные перемены в количестве теплоты и света, получаемых ею от Солнца, значительное увеличение эксцентриситета усилило бы характер тех (в настоящее время крайне малых) колебаний тепла и холода соответственно временам года, которые зависят от колебаний в расстоянии Солнца; далее, всякая перемена в положении эклиптики, которая не сопровождалась бы соответствующим изменением в экваторе и стремилась бы увеличить угол между этими двумя плоскостями, в громадной степени усилила бы колебание температуры на протяжении года. Вышесказанная устойчивость системы служит нам поэтому гарантией против крупных климатических перемен, которые могли бы серьёзно повлиять на обитаемость Земли.

Не мешая упомянуть, что результаты, установленные Лагранжем и Лапласом, суть математические следствия некоторых определённых гипотез, с которыми действительные условия солнечной системы обнаруживали довольно близкое соответствие; самые же эти следствия получены при помощи процессов, которые требовали опущения некоторых малых величин, и потому не могут быть абсолютно точными. Поэтому, если не считать непредвиденных причин, мы имеем полное основание ожидать, что истинные движения тел солнечной системы будут довольно близко согласоваться с этими результатами на протяжении очень большого периода; но нет прочных речательств за то, что некоторые возмущающие причины, незамеченные или отвергнутые Лапласом и Лагранжем по причине своей незначительности, не начнут рано или поздно оказывать заметного действия (гл. XIII, § 293).

246. Некоторые из числовых результатов Лапласа относительно вековых изменений элементов могут дать представление о величинах, с которыми приходится иметь дело.

Линии апсид всех планет движутся в одном и том же направлении; самое быстрое её движение, которым обладает орбита Сатурна, доходит почти до $15''$ в год или немного менее полуградуса в столетие. Если бы это движение продолжалось равномерно, то линия апсид потребовала бы для полного своего обращения и возврата в первоначальное положение никак не менее 80 000 лет. Движение линии узлов (той линии, по которой плоскость планетной орбиты пересекается с эклиптикой) оказалось несколько более быстрым. Годичное изменение в наклонении какой-нибудь орбиты к эклиптике ни в одном случае не превышает дробных долей секунды, а изменение эксцентриситета орбиты Сатурна, будучи самым значительным, за четыре столетия едва достигает $\frac{1}{1000}$.

247. О теории вековых неравенств мы говорили в связи с вопросом об общем характере полученных результатов. Однако, по отношению к предсказаниям положений планет для эпохи

средней отдалённости гораздо большее значение имеют периодические неравенства. Эти последние были с значительной полнотой исследованы Лагранжем и Лапласом, причём детальной переработкой их в форму, удобную для цифровых вычислений, мы в большей степени обязаны последнему. Из формул, предложенных Лапласом и сгруппированных в *Небесной механике*, вычислено было много солнечных и планетных таблиц, в общем довольно близко соответствовавших наблюдаемым движениям и превосходивших прежние таблицы, основанные на менее совершенных теориях¹⁾.

248. Помимо лунной и планетной теорий Лаплас заново рассмотрел все малые задачи астрономии тяготения, во многих случаях при помощи методов Лагранжа, и значительно двинул вперёд способы их разрешения.

Он весьма полно развил теорию спутников Юпитера, образующих вместе со своей планетой нечто вроде миниатюры солнечной системы, правда, обладающей некоторыми характерными особенностями; других спутников он коснулся менее обстоятельно. Он подвинул вперёд теорию кольца Сатурна, показав, что оно не может представлять собой однородного твёрдого тела.

Прецессию и нутацию он рассмотрел гораздо полнее, нежели Даламбер, а также изучал сходные неправильности вращения Луны и кольца Сатурна.

Вопрос о фигуре Земли он решил в более общей форме, чем это удалось Клеро, не опровергнув, однако, существенно точных выводов этого последнего, а теорию приливов совершенно перестроил и во многом исправил, хотя между наблюдениями и теорией все ещё зияла значительная пропасть.

Теорию возмущений он также видоизменил настолько, что оказалось возможным приложить её к кометам; из наблюдения кометы (так называемой кометы Лекселя), появившейся в 1770 г. и прошедшей, как оказалось, по близости от Юпитера в 1767 г., он заключил, что её орбита совершенно изменена притяжением вышеуказанной планеты, но что, с другой стороны, сама она не в силах оказать сколько-нибудь заметное возмущающее влияние на Юпитера или его спутников.

Так как для полного вычисления возмущений различных тел солнечной системы необходимо знать их массы, то и, наоборот, величины этих возмущений, если они даются наблюдением, могут послужить к определению или исправлению оценок различных масс. Таким именно путём найдены были массы Марса и спутников Юпитера, равно как и Венеры (§ 235), и проверены оценки

¹⁾ Из таблиц, основанных на работах Лапласа и напечатанных до его смерти, лучшие солнечные таблицы принадлежали *фон-Цаху* (1804) и *Даламберу* (1806); лучшими планетными таблицами считались: *Паланда* (1771), *Линденау* для Венеры, Марса и Меркурия (1810—1813) и *Буvara* для Юпитера, Сатурна и Урана (1808 и 1821).

масс Луны и других планет. Что же касается Меркурия, то мы не имеем удовлетворительных наблюдений над возмущениями, которые он производит в других планетах, и оценка его массы, кроме разве того, что она мала, долгое время носила характер догадки. Только через несколько лет после смерти Лапласа по влиянию, оказанному Меркурием на проходившую мимо комету, впервые удалось определить его массу (1842), но до сих пор мы знаем её менее точно, чем у других планет ¹⁾.

249. Труды великих астрономов-математиков XVIII в., результаты которых собраны в *Небесной механике*, показали, что наблюдаемые движения тел солнечной системы можно с достаточной степенью точности объяснить при помощи закона тяготения.

Таким образом, получено было приблизительное решение проблемы Ньютона (§ 228), и для практических целей, как, например, для предсказания на не особенно отдалённое время положений различных небесных тел, согласие между теорией и наблюдением оказывалось довольно большим. Возникавшие же разногласия между ними были по большей части так малы сравнительно с теми, которые уже удалось устранить, что у всех почти астрономов рождалось убеждение в том, что эти разногласия можно объяснить ошибками наблюдений, недостаточной точностью вычислений и тому подобными причинами.

250. Вне сферы профессиональных астрономов и математиков Лаплас более известен не как автор *Небесной механики*, но как творец *небулярной гипотезы*.

Эта знаменитая гипотеза обнародована была (в 1796 г.) в его популярной книге *Система мира*, о которой мы выше упоминали; и можно с уверенностью сказать, что она была составлена независимо от несколько сходной, но менее подробной теории, предложенной философом *Иммануилом Кантом* в 1755 г.

Лапласа давно уже поражали некоторые замечательные особенности солнечной системы. Семь планет, известных ему в то время, о котором мы говорим, обращались вокруг Солнца в одном и том же направлении; четырнадцать спутников обращались вокруг своих планет всё в том же направлении ²⁾ и известные в то время вращательные движения Солнца, планет и спутников около своих осей подчинялись тому же закону. Таким образом, имелось налицо 30—40 движений, совершающихся всё в одном и том же направлении. Если бы эти движения различных тел были делом случая и не зависели одно от другого, то мы имели бы перед собой поразительнейший пример совпадения, столь же невероятный,

¹⁾ Кроме Плутона, масса которого известна с ещё меньшей точностью.

²⁾ Движения спутников Урана (гл. XII, § 253, 255) совершаются в противоположном направлении. Когда Лаплас впервые обнародовал свою теорию, их движение ещё не было изучено, а в последующих изданиях своей книги он, видимо, не считал нужным упоминать об этом исключении.

как и то, чтобы монета, подброшенная множество раз, неизменно падала на землю одной и той же стороной.

Все эти вращения и обращения сверх того совершались в плоскостях, мало наклонённых одна к другой; эксцентриситеты же всех орбит, почти круговых, были и совсем ничтожны.

С другой стороны, кометы не представляли этих особенностей; их орбиты имеют большие эксцентриситеты и наклонены к эклиптике под всевозможными углами.

Сверх того неизвестно было, существуют ли тела, образующие в этом отношении промежуточную ступень между кометами и планетами или спутниками¹⁾.

Из этих замечательных совпадений Лаплас заключил, что различные тела солнечной системы должны обладать общим происхождением. Он предложил гипотезу, что они сгустились из тела, представлявшего собой либо Солнце с огромной атмосферой, заполнявшей пространство, ныне занимаемое солнечной системой, либо жидкую массу с более или менее уплотнённой центральной частью или ядром; на ещё более ранней стадии развития центральной сгущения могло и совсем не существовать.

Наблюдения Гершеля (гл. XII, § 259—261) незадолго до того обнаружили существование многих сотен тел, известных под названием *туманностей* и по внешнему виду весьма близко напоминающих первичные образования в описаниях Лапласа. Они обнаруживали большие различия в строении; иные представлялись почти бесформенными массами крайне разреженной материи, другие обнаруживали явные признаки центрального сгущения, а третьи представлялись в виде обыкновенных звёзд, окружённых газообразной оболочкой; эти различия в структуре сильно напоминали последовательные стадии процесса уплотнения.

Итак, по мысли Лапласа, солнечная система образовалась путём уплотнения туманности; подобное же объяснение он прилагал и к неподвижным звёздам с окружающими их (по всей вероятности) планетами.

Затем, Лаплас нарисовал, несколько произвольно, картину процесса, при помощи которого туманность, однажды одарённая вращательным движением, могла, по мере уплотнения, отделять кольца, из которых каждое в свою очередь могло стянуться в планету со спутниками или без них; эту гипотезу он подкреплял правдоподобными ссылками на многие особенности тел солнечной системы.

¹⁾ Это положение видоизменяется после ряда открытий (начавшегося с 1 января 1801 г.) малых планет (гл. XIII, § 294), из которых многие обладают такими орбитами, которые своими эксцентриситетами значительно превосходят орбиты остальных планет и наклонены к эклиптике под значительными углами.

О том, что сам Лаплас, которого никак нельзя обвинить в излишней поспешности, далеко не так серьёзно принимал отдельные пункты своей гипотезы, как многие из его комментаторов, можно судить как по тому, что он обнародовал её в популярной книге, так и из его замечательного отзыва о ней: «это догадки об образовании звёзд и солнечной системы,—догадки, которые я излагаю со всем сомнением, какое должно нам внушать всё, что не является результатом наблюдения или вычисления»¹⁾.

¹⁾ Система мира, книга V, глава VI.

оп
ниэ
II
линия
догтнэи
рэднмП
я королэ
эниэуи яви
имой бэопи и
рэдя ондо отр
эини этэоникэт
ноляэ йеовэ бэв
эиэоп «эфвэртонб
дэ оятэондэж о нэ
лином явт нэээ му
эф хивонэропиэМ эи
ээ эжэу онавд йонизуи
эиннорэуи умомидиэоп
эиээиэиэ оуиэиэП атбэропи
опу и моатэйортэу рэатэя
те эиэоп ээоляэ ятропП
бэя атэдиэу онниэ бэвэжоп

ГЛАВА XII

ГЕРШЕЛЬ

«Coelorum perrupit claustra»¹⁾.

Гершелёва *эпитафия*

251. *Фридрих Вильям Гершель* родился в Ганновере 15 ноября 1738 г., двумя годами позже Лагранжа и девятью раньше Лапласа. Отец его служил музыкантом в ганноверской армии, а сын, обнаруживавший замечательный музыкальный талант наряду с очевидной склонностью ко всякого рода знаниям, уже мальчиком занялся профессией отца (1753). Когда возгорелась семилетняя война, он некоторое время принимал участие в походах, но по слабости его здоровья родители решили взять его с военной службы, — предприятие, сопряжённое с немалыми затруднениями, после чего отослали его в Англию (1757) пытаться счастья в профессии музыканта.

Проскитавшись несколько лет по различным английским провинциям, он поселился (1766) в Бате, одном из крупных модных центров Англии. Занимая сперва должность гобоиста в оркестре Линлея, затем органиста в Восьмиугольной Капелле, он в очень скором времени приобрёл большую известность и популярность как музыкант и как учитель музыки. Он играл, дирижировал и писал композиции, а число его частных уроков возросло до того, что одно время он давал их 35 в неделю. Но эта усиленная деятельность нимало не истощала его громадной энергии; он не потерял своей склонности к наукам, и, по словам современного ему биографа, «после 14 или 16 часов неустанного дневного труда он с жадностью бросался при наступлении ночи освежить свой ум, если так можно выразиться, несколькими предложениями из Маклореновых флюксий или тому подобной книги». Занятия музыкой давно уже заронили в него интерес к математике, и, повидимому, изучение *Гармонии* Роберта Смита побудило его прочесть *Полную систему оптики* того же автора и заинтересоваться устройством и употреблением телескопов.

Прочтя вскоре после этого руководство по астрономии, он пожелал лично увидеть всё, что написано в книгах; начал он

¹⁾ «Сломал засовы небес».



ВИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ.

с того, что взял напрокат небольшой отражательный телескоп, затем стал помышлять о покупке большого инструмента, но он оказался не по его карману. Таким образом, он мало-помалу пришёл к мысли о сооружении собственного телескопа (1773). Брат его Александр, которому он приискал в Бате занятие по музыке и который, очевидно, обладал крупным механическим талантом, но ни каплей настойчивости Вильяма, помогал ему в его предприятии, а самоотверженная его сестра Каролина (1750—1848), привезённая Вильямом в Англию в 1772 г., не только вела хозяйство, но и оказывала брату массу мелких услуг.

Операция obtachивания и полирования зеркала для телескопа требовала величайшей осторожности и в некоторых стадиях непрерывной работы в течение многих часов. Однажды Гершель не отнимал руки от полировального инструмента в течение 16 часов подряд, так что Каролина «для поддержания в нём сил должна была кормить его, кладя ему в рот кусочки пищи», а в менее экстренных случаях развлекать во время скучной работы чтением вслух; с чувством некоторого облегчения мы узнали, что в этом случае читались книги не по математике, оптике либо астрономии, но такие, как *Дон-Кихот*, *Арабские сказки* и романы *Стерна* и *Фильдинга*.

252. После множества неудачных попыток Гершелю удалось, наконец, соорудить сносный отражательный телескоп (за ним последовали вскоре более крупные и совершенные инструменты), при помощи которого он и сделал своё первое из зарегистрированных наблюдений над туманностью Ориона, в марте 1774 г.

Это наблюдение, сделанное им на 36-м году жизни, можно с удобством принять за начало его астрономической карьеры, хотя музыка оставалась его профессией ещё в течение многих лет и астрономией он мог заниматься лишь в немногие часы досуга; биографы рисуют живые картины его необычайной деятельности в этот период и усердия, доходившего до того, что он пользовался даже такими промежутками, как антракты между театральными действиями, чтобы бросить один-другой взгляд в свои драгоценные телескопы.

Письмо его от 1783 г. даёт полное представление о том одушевлении, с которым он в эту пору занимался астрономией:

«Я решил не принимать ничего на веру, но собственными глазами увидеть всё, что другие видели до меня... Я, наконец, успел соорудить так называемый ньютоновский инструмент, длиной в 7 футов¹⁾. Затем я перешёл к 10-футовому и, наконец, к 20-футовому, ибо твёрдо решил довести свои телескопы до возможной степени совершенства. Когда я тщательно и всесторонне обработал большой инструмент во всех его частях, то стал им систематически пользоваться при своих небесных наблюдениях, предварительно дав себе слово не оставлять ни одного, даже самого ничтожного, клочка неба без надлежащего исследования».

¹⁾ Английский фут равен 30,5 см. Здесь и в дальнейшем указывается главное фокусное расстояние зеркала.

Подчиняясь этому решению, он четыре раза, начиная с 1775 г. (каждый раз пользуясь инструментом всё большей силы), производил обозрение всего небесного свода, причём все мало-мальски интересные объекты отмечал, а в случае надобности подвергал и более тщательному исследованию. Таким образом, он применял в астрономии методы, подобные тем, которыми пользуется натуралист, желающий составить полный список флоры или фауны какой-нибудь малоизвестной страны.

253. При втором из этих обозрений, произведённом при помощи 7-футового телескопа ньютоновского типа, он сделал открытие (13 марта 1781 г.), доставившее ему всеевропейскую известность и возможность бросить музыку как профессию и всецело отдаться интересам науки.

«Занимаясь исследованием слабых звёздочек в соседстве Н Ближнецов, я заметил одну, которая показалась мне заметно больше других; поражённый её необычайным видом, я сравнил её с Н Ближнецов и маленькой звездой в участке между Возничим и Ближнецами, и так как она оказалась значительно больше каждой из них, то я заподозрил в ней комету».

Если бы предположения Гершеля оправдались, то открытие его оказалось бы гораздо менее интересным, чем это было на самом деле; после того, как произведены были дальнейшие наблюдения нового тела и сделаны попытки вычислить его орбиту, обнаружилось, что движение его никоим образом не соответствует кометной орбите, а через три или четыре месяца было установлено прежде всех *Андерсом Иоганном Лекселем* (1740—1784), что новое тело — не комета, но планета, обращающаяся вокруг Солнца почти по круговой орбите на расстоянии, почти в 19 раз превосходящем расстояние Земли и почти вдвое — Сатурна.

До этого момента в исторические времена не было открыто ни одной планеты, и потому открытие Гершеля являлось единственным в своём роде; даже период открытия спутников, начавшийся с Галилеем (гл. VI, § 121), завершился почти столетием раньше (в 1684), когда Кассини открыл свою вторую пару спутников Сатурна (гл. VIII, § 160). Гершель, которому принадлежало право окрестить планету, пожелал назвать её в честь своего покровителя — английского короля *Georgium Sidus* — Георгиевой звездой, но хотя это имя и находилось некоторое время в употреблении в Англии, астрономы континента не приняли его, и после неудачной попытки окрестить новое тело именем Гершеля все согласились на том, что планете следует дать имя, сходное с именами остальных планет, и со всеобщего одобрения она была названа Ураном.

Хотя к этому времени Гершель успел напечатать две или три научных работы и по всей вероятности, пользовался некоторой известностью в английских учёных кругах, но на континенте незнание имени виновника замечательного открытия доходило прямо до курьёзов; в одном из руководящих астрономических

журналов (*Астрономический Ежегодник Бода*) обсуждался вопрос о том, как писать его фамилию; попадался даже такой вариант, как Mersthel; Hertshel—это было ещё ничего¹⁾.

254. С открытием Урана Гершель, разумеется, стал известен. Именитые посетители Бата, между которыми находился королевский астроном Маскелайн (гл. X, § 249), искали его знакомства; ещё до окончания года он был избран в члены Королевского Общества, не считая полученной им медали, а следующей весной получил приглашение явиться ко двору и представить себя, свои телескопы и звёзды Георгу III и некоторым членам королевской семьи. В результате этого визита король назначил его придворным астрономом с ежегодным окладом в 200 фунтов.

С этим назначением окончилась его карьера музыканта, и в августе 1782 г. брат и сестра навсегда покинули Бат и поселились сперва в развалившемся доме в Датчете, а через несколько месяцев (1785—1786), проведённых в Клэй-Голле в Старом Виндзоре, переехали в Слоу, в дом, ныне известный под названием «Дома обсерватории» и прославленный словами Араго: «le lieu du monde où il a été fait le plus de découvertes»—«уголок мира, в котором сделано было наибольшее число открытий».

255. Хотя скромного жалованья, назначенного Гершелю, и хватало на нужды его и его сестры Каролины, однако его было, разумеется, более чем недостаточно для покрытия разнообразных расходов по сооружению и установке телескопов. К этому времени он до того изощрился в своём искусстве, что его телескопы далеко оставляли за собой телескопы других конструкторов, и так как методы изготовления их составляли его секрет, то он получал массу заказов. Даже во время пребывания в Бате он изготовил и продал несколько штук, а когда поселился по соседству с Виндзором, то в течение многих лет получал изрядный доход от этого занятия, так как в числе его заказчиков считалась королевская фамилия и некоторые из известных английских и иностранных астрономов.

К счастью, в 1788 г. необходимость тратить драгоценное время на посторонние занятия исчезла благодаря женитьбе Гершеля на особе с богатым приданым; с этих пор Каролина занимала квартиру отдельно от брата, но неподалёку от него и попрежнему помогала ему с неослабным усердием.

К концу 1783 г. Гершель закончил телескоп в 20 футов длиной, при зеркале в 18 дюймов диаметром и с помощью этого инструмента совершил лучшие свои работы; но он не считал ещё, что достиг границ возможного. Последнюю зиму в Бате он провёл в неудачных попытках соорудить при содействии брата 30-футовый телескоп; открытие Урана и последовавшие за ним события

¹⁾ Его называли и Гарчелем, и Герстелем, и ещё более удивительными комбинациями. Французы долго называли его Горошелем. Сам же он писал своё имя Herschel.

помешали ему возобновить свои попытки, но в 1785 г. он принялся за изготовление 40-футового телескопа с зеркалом в четыре фута диаметром; расходы по его устройству возместились богатым даром со стороны короля. Пока этот телескоп изготовлялся, Гершель испытал новую конструкцию отражательных телескопов, придуманную Лемером в 1732 г., но ни разу ещё не употребляв-

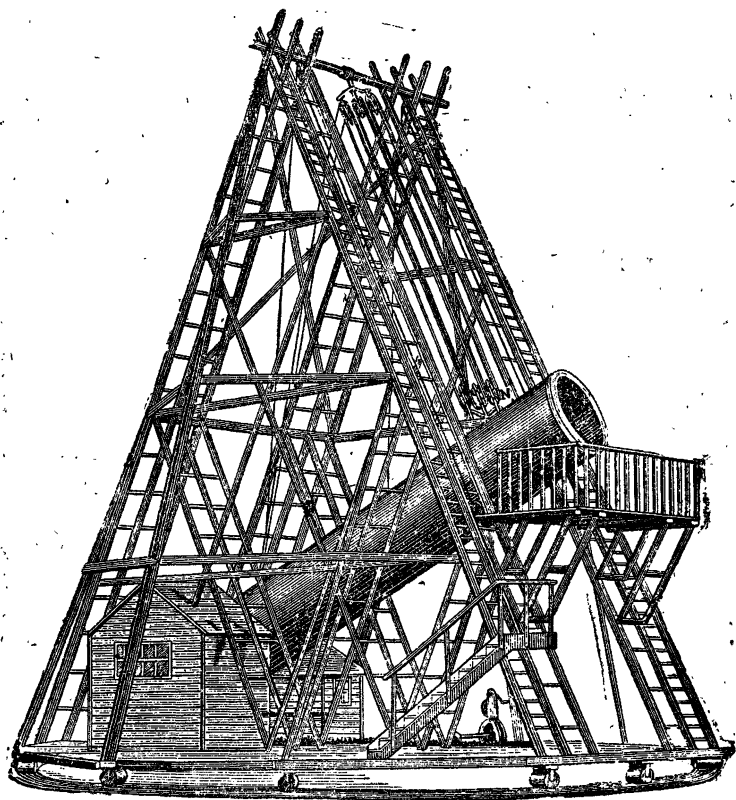


Рис. 80. Сорокафутовый телескоп Гершеля.

шуюся; она давала значительный выигрыш в яркости изображений, правда, несколько в ущерб их отчётливости. Эта *гершелевская* или *фронтальная* конструкция, как её называют, впервые была испытана на 20-футовом телескопе и повела к открытию (11 января 1787 г.) двух спутников Урана—Оберона и Титании; с тех пор Гершель её постоянно употреблял. После различных неудач 40-футовый телескоп (рис. 80) был, наконец, успешно закончен. В первый же вечер (28 августа 1789 г.) при помощи его был открыт шестой спутник Сатурна (Энцелад), а 17 сентября—более слабый седьмой (Мимас). Оба спутника оказались ближе к пла-

нете, чем пять ранее открытых, и из них ближайшим был Мимас (рис. 88, стр. 324).

Хотя для наблюдения крайне слабых объектов, вроде означенных спутников, большой телескоп был незаменим, однако для множества наблюдений иного характера и вообще во все вечера, кроме разве очень ясных, годился и малый телескоп, а так как он был менее громоздок, то им и пользовались гораздо чаще. Зеркало большого телескопа портилось с течением времени, и с 1811 г., когда руки Гершеля потеряли способность к тонкой работе, какой требовала бы переполіровка зеркала, он перестал пользоваться этим инструментом, который продолжал, однако, стоять до 1839 г., после чего его разобрали на части.

256. Со времени переселения в Слоу и до глубокой старости, когда силы стали изменять Гершелю, история его жизни почти всецело исчерпывалась его трудами. Он имел обыкновение пользоваться для наблюдений каждой мало-мальски ясной ночью; дневные часы он посвящал разработке своих наблюдений и писанию статей, в которых излагал свои результаты. Его сестра почти всегда присутствовала в качестве ассистента при его наблюдениях и с большим успехом каталогизировала и исполняла тому подобные работы, облегчая труд своему брату. По отъезде из Бата она самостоятельно производила наблюдения, хотя только в то время, когда брат был в отсутствии или не нуждался в её услугах. Она специализировалась в кометной астрономии и открыла не менее восьми комет. Чтобы составить себе верное представление о неудобствах и даже опасности, сопряжённых с ночными наблюдениями, мы должны припомнить, что огромные телескопы Гершеля воздвигались на открытом месте и что как ньютоновский, так и гершелевский типы рефлекторов требовали нахождения наблюдателя у верхнего конца телескопа, следовательно, на значительной высоте над землёй. При 40-футовом, например, телескопе надо было взбираться по 50-футовым лестницам, чтобы достигнуть платформы, на которой помещается наблюдатель. Далее, в присутствии лунного или искусственного освещения вообще нельзя было получить удовлетворительных наблюдений. Неудивительно поэтому, что в дневнике Каролины Гершель мы то и дело читаем об опасениях её за здоровье брата в подобных случаях, и скорее нужно удивляться тому, что с ним редко случались крупные неприятности.

Помимо серьёзной работы Гершелю приходилось тратить время на частые приёмы посетителей, являющихся в Слоу или из простого любопытства или из неподдельного научного интереса и желания видеть великого человека и его чудесные телескопы. В 1801 г. он отправился в Париж, где познакомился с Лапласом и видел Наполеона, астрономические познания которого оценил гораздо ниже познаний Георга III, но который «делал вид, что знает больше, чем оказывалось на самом деле».

Весной 1807 г. Гершель серьёзно болел; с этого времени здоровье его пошатнулось, вследствие чего он больше занимался, сидя в комнате. Последняя из огромного количества работ, представленных в Королевское Общество, появилась в 1818 г., когда ему было под 80 лет, хотя три года спустя он представил список новооткрытых двойных звёзд во вновь основанное Королевское Астрономическое Общество. Около этого же времени он сделал своё последнее наблюдение, а умер через год с небольшим (21 августа 1822 г.), почти 84 лет отроду.

Он оставил одного только сына, Джона, тоже астронома, но не столь знаменитого, как его отец (гл. XIII, § 306—308). После смерти любимого брата Каролина Гершель вернулась в Ганновер доживать век в кругу родных; здесь она совершила важный труд, именно привела в удобную систему и занесла в каталог список открытых братом туманностей, и остальные 26 лет своей долгой жизни интересовалась и жила, повидимому, главным образом, счастливой астрономической карьерой своего племянника Джона.

257. Предыдущие описания трудов Гершеля, сделанные при изложении событий его жизни, показали нам его преимущественно как строителя гигантских телескопов, своей силой значительно превосходивших все, ранее существовавшие, и как прилежного и добросовестного наблюдателя всего, что можно обозреть на небе при помощи телескопа. Солнце и Луна, планеты и неподвижные звёзды—все эти светила подверглись исследованию, их особенности были замечены и описаны. Но сам Гершель смотрел на этот созерцательно-описательный труд лишь как на средство, ибо, как он выразился в 1811 г., «ознакомление с устройством небес—вот что всегда составляло конечную цель моих наблюдений».

В течение многих столетий астрономия почти исключительно занималась видимыми положениями различных светил на небесной сфере. Коперник и его последователи нашли, что кажущиеся движения членов солнечной системы по небесной сфере можно объяснить, лишь приняв в расчёт их действительные движения в пространстве, так что солнечную систему этим самым признали состоящей из тел, помещённых на различных расстояниях от Земли и отделённых друг от друга известным числом миль или километров. Но с неподвижными звёздами дело обстояло иначе: за маловажным исключением собственных движений немногих звёзд (гл. X, § 203) все остальные их кажущиеся движения объяснялись как результат движения Земли, а вопрос об относительных или истинных расстояниях звёзд почти не подвергался рассмотрению. Хотя вера в материальное существование небесной сферы, к которой прикрепляли звёзды, едва ли выдержала нападки Тихо Браге и Галилея, и всякий видный астроном конца XVII или XVIII вв. без колебаний признал бы неодинаковость звёздных расстояний от Земли, однако это было скорее простым верованием, весьма мало влиявшим на ход астрономического прогресса.

В действительности геометрической концепции, по которой звёзды отмечались точками на небесной сфере, было вполне достаточно для обыкновенных астрономических целей, и внимание великих астрономов-наблюдателей вроде Флемстида, Брайля и Лакайля направлено было почти всецело на определение положений этих точек с максимальной точностью или же на наблюдение движений тел солнечной системы. Сверх того задачи, поставленные теорией Ньютона, естественно сосредоточивали внимание астрономов XVIII в. главным образом на солнечной системе, хотя даже и с этой точки зрения имело большой смысл составление звёздных каталогов, дающих постоянные точки, к которым можно относить положение тел солнечной системы.

Почти единственное исключение из этой общей тенденции составляли попытки—правда, неудачные—нахождения параллакса и, следовательно, расстояний некоторых неподвижных звёзд,—задача, выдвинутая учением Коперника, но и сама по себе представлявшая глубокий внутренний интерес.

Поэтому Гершель открыл совершенно новое поле, когда стал изучать звёздную систему и взаимные соотношения её членов *per se*, т. е. для неё самой. С этой новой точки зрения Солнце с сопровождающими его планетами стало одной из бесчисленного сонмища звёзд, которая прежде ставилась в такое исключительное положение благодаря тому случайному обстоятельству, что мы живём на одной из её планет.

258. Полное представление о расположении звёзд в пространстве мы могли бы, разумеется, получить, лишь измерив параллакс каждой из них (гл. VI, § 129 и гл. X, § 207). Неудачные попытки таких астрономов, как Брайль, в определении параллакса какой-нибудь звезды в достаточной степени показали безнадежность этого предприятия вообще, и, хотя Гершель с своей стороны пытался находить параллаксы (§ 263), он тем не менее ясно видел, что вопрос о распределении звёзд в пространстве, если только вообще доступен решению, требует приложения более простых, если и менее надёжных методов в широком масштабе.

И вот он избрал свой *метод черпания звёзд*. Самый поверхностный взгляд, брошенный на небо, в достаточной степени убеждает нас в том, что доступные невооружённому глазу звёзды неравномерно распределены по небесной сфере; это справедливо и относительно слабых звёзд, наблюдаемых в телескоп. Если сравнить два участка неба одинаковой кажущейся, т. е. угловой, величины, то может случиться, что в одном мы насчитаем во много раз больше звёзд, чем в другом. Если мы представим себе, что звёзды не находятся на сфере, но рассеяны в пространстве на различных расстояниях от нас, то неравномерное распределение их на небе может быть объяснено двояко: или действительно неравномерным их распределением в пространстве, или же неодинаковостью расстояний, на которые простирается звёздная система в направле-

ниях двух взятых нами звёздных групп. Первый небесный участок может соответствовать такой части пространства, где звёзды действительно скучены, или же указывать направление, в котором растянута звёздная система, так что звёзды, накладываясь слой за слоем, одни на другие, производят впечатление скученности. Всё равно, как если бы мы стояли в лесу и лес казался нам менее густым в одном направлении, чем в другом; это могло бы происходить как оттого, что деревья в этом направлении действительно рассажены редко, так и оттого, что мы находимся поблизости опушки.

Не имея никаких априорных сведений об истинном расположении звёзд в пространстве, Гершель принял вторую из этих двух гипотез; именно, он принимал видимую скученность звёзд в каком-нибудь участке неба за меру глубины, на которую звёздная система простирается в этом направлении, и с этой точки зрения истолковывал результаты огромной массы наблюдений. Он пользовался 20-футовым телескопом, который приспособлял так, что мог в него видеть круглый участок неба диаметром в 15' (четверть площади солнечного диска или полной Луны); телескоп он направлял в различные части неба и каждый раз считал звёзды, появившиеся в его поле. Чтобы избежать случайных неправильностей, он обыкновенно брал среднее арифметическое нескольких смежных полей зрения. В 1785 г. он обнаружил результаты таких черпаний, произведённых в 683 участках¹⁾; впоследствии он добавил отчёт ещё о 400 черпаниях, результаты которых вначале не считал необходимым обнаруживать. В то время как в одних участках неба он видел в среднем по одной звезде за раз, в других насчитывалось чуть не по 600, а однажды он оценил число звёзд, прошедших через поле его телескопа в течение одной только четверти часа, в 116 000. Общий результат был таков,



Рис. 81. Сечение звёздной системы. Из статьи Гершеля в *Philosophical Transactions*.

что звёзды, как это представляется и невооружённому глазу, более скучены поблизости и в самом Млечном Пути, а менее всего — в частях неба, наиболее от него удалённых. Млечный Путь образует на небе полосу с неясными очертаниями, не на много

¹⁾ В статье Гершеля от 1817 г. напечатано 863, но из справок в оригинальной работе 1785 г. явствует, что это опечатка.

уклоняющуюся от большого круга (называемого *галактическим кругом*); таким образом, по воззрениям Гершеля, пространство, занимаемое звёздами, имеет форму диска или жёрнова, диаметр которого, по его вычислениям, приблизительно в пять раз превышает толщину. Далее, Млечный Путь на некоторой части своего протяжения разделяется на две ветви или рукава, пространство между которыми сравнительно свободно от звёзд. На этом основании Гершель предположил существование трещины в «жёрнове».

Эта теория вселенной—«жернова»—предложена была в 1750 г. *Томасом Райтом* (1711—1786) в его *Теории вселенной*, а спустя пять лет—*Кантом*; но никто из них не пытался подобно Гершелю собрать числовые данные и обстоятельно разработать во всех деталях следствия основной гипотезы.

Гершель с самого начала видел, что гипотеза равномерного распределения звёзд в пространстве не может быть верной в деталях. Например, звёздная куча, в которой собраны на небольшом участке неба целые тысячи слабых звёздочек, может представлять собой нечто вроде длинного веретена из звёзд, простирающегося далеко за пределы смежных частей звёздной системы и направленного в сторону, противоположную солнечной системе. Таким же точно образом участки неба, бедные звёздами, можно принимать за туннели, пронизывающие звёздную систему. Мало вероятно, чтобы на деле существовало хотя одно-два таких веретена или туннеля, а так как звёздных куч и до Гершеля известно было множество, Гершель же открывал их целыми сотнями, то существование их невозможно было объяснить этой гипотезой; оказалось необходимым предположить, что звёздная куча занимает часть пространства, в котором звёзды действительно теснее сгущены, чем в другом месте.

Дальнейшее изучение распределения звёзд, особенно расположенных в Млечном Пути, постепенно убеждало Гершеля в том, что его первоначальное предположение в гораздо большей мере уклоняется от истины, чем ему казалось сначала, и в 1811 г., почти через 30 лет после начала звёздного «черпания», он совершенно переменял своё мнение:

«Я должен откровенно сознаться, что по мере того, как я продолжал выметать небо, моё мнение о распределении звёзд... претерпевало постепенное изменение... Например, некоторые вычисления указывают на равномерное распределение их; но если мы станем исследовать Млечный Путь или тесные звёздные кучи, во множестве занесённые в мои каталоги, то придётся оставить мысль о предполагаемой равномерности распределения».

От метода черпания звёзд первоначально ожидалось указания относительно пределов звёздной системы или видимых частей её. Наряду с этим методом Гершель постоянно принимал яркость звезды за вероятный критерий её расстояния. Если две звезды в действительности излучают одинаковое количество света, то

та из них покажется ярче, которая ближе к нам; и если предположить, что свет не задерживается и не поглощается во время прохождения через пространство, то видимая яркость двух звёзд будет обратно пропорциональна квадрату их относительных расстояний. Значит, если мы от одной звезды получаем в девять раз больше света, чем от другой, и если предположить, что различие в яркости обуславливается только их расстоянием, то первая звезда втрое ближе другой и так далее.

Предположение, что звёзды в общем излучают одинаковое количество света, так что различие в их кажущейся яркости обуславливается исключительно расстоянием, носит тот же общий характер, что и гипотеза о равномерном их распределении. Несомненно, существует много исключений, но за неимением более точных сведений приходилось пользоваться этим импровизированным способом определения относительных расстояний звёзд с некоторой долей вероятности.

Для того чтобы применить этот метод, необходимо было обладать какими-нибудь средствами для сравнения света, идущего от звёзд. Гершель пользовался для этой цели телескопами различных размеров. Если наблюдать одну и ту же звезду двумя отражательными телескопами одинаковой конструкции, но различной величины, то количество света, посылаемого телескопом в наш глаз, пропорционально площади зеркала, собирающего свет, — следовательно, квадрату диаметра зеркала. Значит, кажущаяся яркость звезды, наблюдаемой в телескоп, с одной стороны, обратно пропорциональна квадрату её расстояния, а с другой, — прямо пропорциональна квадрату диаметра зеркала. Например, если одна звезда наблюдается в телескоп с 8-дюймовым зеркалом, а другая — в огромный телескоп с 4-футовым зеркалом и обе кажутся одинаково яркими, то вторая звезда, исходя из основного положения, в шесть раз дальше другой¹⁾.

Точно так же за критерий расстояния звёзд Гершель принимал величину зеркала, достаточную для того, чтобы звезда была чуть видна, и в этом-то смысле он постоянно употреблял выражение «пространство-проницающая сила телескопа». Опираясь на это предположение, он считал, что самые слабые звёзды, доступные невооружённому глазу, почти в двенадцать раз дальше самых ярких, вроде Арктура; если бы Арктур можно было удалить на расстояние, в 900 раз большее, чем нынешнее, то он был бы едва видим в 20-футовый телескоп, которым Гершель обыкновенно пользовался, а 40-футовый проник бы в пространство на расстояние, вдвое большее.

259. С вопросом о строении звёздной системы теснейшим образом связан вопрос о распределении и природе туманностей (рис. 97, 99) и звёздных куч или скоплений (рис. 101). Когда Гершель при-

¹⁾ Так как четыре фута в шесть раз больше восьми дюймов.

ступил к работе, известно было немного более сотни таких тел, открытых по большей части французскими наблюдателями—Лакайлем (гл. X, § 223) и *Шарлем Мессье* (1730—1817). По профессии Мессье был, можно сказать, ловцом комет; по ошибке принимая туманности за кометы, он занёс в каталог (1781) положения 103 туманных пятен. Открытия Гершеля, производившиеся гораздо систематичнее и с могучими инструментальными средствами, были несравненно более широкого масштаба. В 1786 г. он представил в Королевское Общество каталог 1 000 новооткрытых туманностей и скоплений, три года спустя—второй каталог таких же размеров, а в 1802 г.—третий каталог, состоящий из 500 записей. Он тщательно наблюдал каждую туманность, отмечал и описывал её общий вид и положение, а чтобы получить общее представление о распределении туманностей на небе, он заносил их положения на звёздную карту. Различие в яркости и в видимом строении повело к разделению их на восемь классов; в самой ранней стадии своих работ Гершель выразительно описывает (1786) необычайное разнообразие их форм, которое он встретил:

«Я видел двойные и тройные туманности в разнообразнейших положениях; большие с малыми, напоминавшими спутников; узкие и очень длинные, светлые туманности, или блестящие брызги; иные имели форму веера или электрической кисти, исходящей из светлой точки; другие напоминали кометы, с ядрами в центре; попадались звёзды, окружённые туманной оболочкой; встречались и туманности млечного характера, вроде удивительного и непонятного образования около δ Ориона; наконец, я видел туманные пятна, неоднородно светящиеся, что указывало, по видимому, на их разрешимость в звёзды».

260. Но самую интересную задачу классификации составляло выяснение соотношения, существующего между туманностями и звёздными кучами. Плеяды, например, нормальному глазу представляются тесной группой шести звёздочек, но многие близорукые люди видят на их месте пятно, несколько более светлое, нежели прилежащая часть неба; далее, туманное пятно, каким представляются невооружённому глазу Граксер или Ясли (в Раке), разрешается даже самым слабым телескопом в скопление мелких звёздочек. Точно так же существует много объектов, в малые телескопы представляющихся облачками или туманностями, но в более сильные инструменты оказывающихся звёздными кучами. В частности Гершель нашёл, что многие объекты, казавшиеся Мессье туманностями, в его громадные телескопы разрешались в звёздные кучи, тогда как другие продолжали оставаться туманностями. Вот собственные его слова:

«Туманности можно классифицировать на едва чувствительные градации, начиная от явной звёздной кучи вроде Плеяд вплоть до молочной туманности, что в Орионе, и наблюдать все промежуточные ступени».

Эти факты как будто показывали, что различие между туманностями и звёздными кучами есть лишь вопрос разре-

шающей силы телескопа, что Гершель и выразил следующей фразой:

«Это, повидимому, подтверждает гипотезу, что все они состоят из звёзд, более или менее отдалённых.

Мысль не новая и во всяком случае уже высказанная, скорее из умозрительных, чем научных оснований, в 1755 г. Кантом, который затем предположил, что отдельная туманность или звёздная куча представляет собой скопление звёзд, по величине и строению вообще подобных тем, которые составляют Млечный Путь, и другим отдельным звёздам, которые мы видим. С этой точки зрения Солнце представляет собой одну из звёзд скопления, а каждая туманность есть звёздная система. Эта теория туманностей—теория «островных вселенных», как её называли,—сперва была принята и Гершелем, так что он однажды в разговоре мог сообщить мисс Берней, что ему удалось открыть 1 500 новых вселенных.

Гершель, однако, был из тех исследователей, которые не находят в рабстве у теорий, и уже в 1791 г. он убедился из дальнейших наблюдений, что вышеупомянутые взгляды не выдерживают критики и что по крайней мере некоторые туманности существенно отличаются от звёздных куч. В защиту этого воззрения он ссылается на некоторый замечательный объект—туманную звезду, т. е. тело, представляющее собой обыкновенную звезду, только окружённую шарообразной оболочкой, постепенно уменьшающейся в яркости.

«Бросьте взгляд,—говорил он,—на эту туманную звезду, и вы убедитесь самым решительным образом... Смеем сказать, вы вынесете впечатление, что туманность вокруг звезды не звёздной природы».

Если бы эта туманность была скоплением звёзд, настолько отдалённых, что их невозможно различать в отдельности, то центральное тело должно было бы быть звездой неизмеримо громадных размеров по сравнению с обыкновенными звёздами; если же центральное тело есть звезда обыкновенной величины, то туманность должна быть не звёздной кучей, но чем-нибудь иным. Во всяком случае объект являл черты, не свойственные звёздным кучам признанного типа; из двух возможных объяснений Гершель принял второе, считая туманность за «светящуюся жидкость, природа которой нам совершенно неизвестна». Допустив, таким образом, одно исключение из своего прежнего правила, он к остальным перешёл естественным путём, по аналогии, и с этих пор считал туманности из разряда «светящейся жидкости» образованиями, существенно отличными от звёздных куч, хотя, во многих случаях невозможно было определить, к какому именно классу относится данный объект.

Данные, собранные Гершелем относительно распределения туманностей, повидимому, показывали, что, какова бы ни была

их природа, они во всяком случае не могут считаться образованиями, чуждыми общей звёздной системе, как того требовала теория «островных вселенных». Прежде всего наблюдения показывали, что отдельная туманность или звёздная куча обыкновенно окружена пространством, сравнительно свободным от звёзд; это так часто случалось, что у Гершеля вошло в привычку, при вступлении такого пустого участка в поле его телескопа, предупредить свою сестру, чтобы она готовилась записать наблюдение туманности. Когда, кроме того, были определены и записаны на карту положения множества туманностей, то оказалось что, в то время как звёздные скопления чаще встречаются поблизости Млечного Пути, туманности, повидимому, совершенно не разрешимые на звёзды, в этом месте попадаются редко, а, напротив, обнаруживают явную тенденцию группироваться в небесных областях, наиболее удалённых от Млечного Пути, т. е. около полюса галактического круга (§ 258). Если бы туманности представляли собой внешние системы, то, разумеется, нельзя было бы понять, почему их распределение на небе находится в некоторой зависимости от малочисленности звёзд вообще или от положения Млечного Пути.

Замечательно, однако, что Гершель не переоценил в этом смысле следствия своих собственных наблюдений и до самой смерти, повидимому, считал, что некоторые туманности и скопления суть внешние «вселенные», хотя многие составляют часть нашей собственной звёздной системы¹⁾.

261. Ещё в 1789 г. Гершель высказал мысль, что различные виды туманностей и звёздных куч представляют собой одни и те же объекты в различных стадиях развития, что какая-то «сплачивающая сила» превращает разреженную туманность в более яркое и плотное тело, так что степень сгущения можно рассматривать как признак «возраста». Он продолжает:

«Эта точка зрения проливает новый свет на устройство неба. Оно мне теперь представляется великолепным садом, в котором находится масса разнообразнейших растений, посаженных в различные грядки и находящихся в различных степенях развития; из этого положения вещей мы можем извлечь, по крайней мере, одну выгоду: мы можем наш опыт как бы растянуть на огромнейшие промежутки времени. Именно (пользуясь и дальше сравнением, позаимствованным из растительного царства), я вас спрошу, не всё ли равно, будем ли мы последовательно присутствовать при зарождении, цветении, одевании лиственной, оплодотворении, увядании и, наконец, полной гибели растения, или же одновременно будем созерцать массу образчиков, взятых из различных степеней развития, через которые растение проходит в течение своей жизни?».

Перемена в его взглядах на природу туманностей (1791) вызвала соответствующую перемену и в воззрениях на этот про-

¹⁾ И Гершель, как показало будущее, был прав (см. гл. XIII, § 310 и 317).

цесс уплотнения. Относительно вышеупомянутой звезды (§ 260) он заметил, что её туманная оболочка «скорее сама была способна произвести звезду путём уплотнений, чем получить от неё своё существование. В 1811 и 1814 гг. он обнародовал полную теорию возможного процесса, путём которого «светящаяся жидкость, образующая разреженную туманность, могла постепенно уплотниться, причём центрами сгущения служили более плотные части её, уплотнение происходило сперва в более плотную туманность или тесную звёздную кучу, затем в одну или более туманных звёзд, наконец, в одну звезду или группу звёзд. Каждая гипотетическая стадия этого процесса обильно иллюстрировалась примерами действительно наблюдавшихся Гершелем туманностей или звёздных скоплений.

В последней работе он в первый раз согласился признать, что скопления, расположенные поблизости и в самом Млечном Пути, действительно принадлежат ему, а не представляют собой самостоятельных систем, лежащих в том направлении, в каком мы видим их.

262. К концу своей жизни Гершель изменил мнение ещё по одному смежному вопросу. Когда он впервые воспользовался большим 20-футовым телескопом для исследования Млечного Пути, то ему казалось, что он смог совершенно разрешить его слабый мерцающий свет на составляющие звёзды и проникнуть, таким образом, в самую глубь Млечного Пути. Впоследствии он убедился, что это не так, но что есть ещё такие туманные участки, которые по отдалённости ли или по другим причинам его телескопы не в состоянии разрешить в звёзды (рис. 101, стр. 352).

Итак, в обоих этих отношениях строение Млечного Пути представилось ему в конце концов менее простым, чем он полагал сначала.

263. Одно из замечательнейших открытий Гершеля явилось побочным результатом исследования совершенно особого характера. Подобно тому, как Брайль, пытаясь найти параллакс звезды, открыл аберрацию и нутацию (гл. X, § 207), так и Гершеля аналогичные попытки привели к открытию орбитального движения двойных звёзд. Он хотел воспользоваться галилеевым дифференциальным методом двойной звезды (гл. VI, § 129); при котором микроскопическое перемещение звезды, происходящее от движения Земли вокруг Солнца, замечается не по угловому расстоянию её от постоянной точки на небесной сфере, вроде полюса или зенита, но по изменениям расстояния её от близлежащей звезды, которую по слабости блеска или по другим соображениям можно предположить находящейся на большем расстоянии и потому менее подверженной влиянию движения Земли.

С этой целью Гершель принялся отыскивать звёздные пары, достаточно тесные для того, чтобы ими возможно было воспользоваться; при свойственной ему страстности в желании видеть

и записать всё, что можно видеть, он пожал обильную жатву таких объектов. Пределом расстояния между составляющими пары звёздами он считал 2' — промежуток, совершенно незаметный для невооружённого глаза, если не считать случаев ненормальной остроты зрения. Другими словами, две такие звезды — даже если каждая из них доступна глазу — для обыкновенной силы зрения всегда сливаются в одну. Первый каталог таких пар, из которых каждая представляет собой так называемую *двойную звезду*, был обнародован им в начале 1782 г. и заключал в себе 269 пар, в том числе 227 новооткрытых; второй каталог из 434 пар представлен был в Королевское Общество в конце 1784 г.; а последняя его работа, отосланная в Королевское Астрономическое общество в 1821 г. и напечатанная в первом томе его мемуаров, заключала список ещё 145 пар. Помимо положения каждой двойной звезды он отмечал ещё угловое расстояние между её составляющими и яркость каждой из них. В некоторых случаях наблюдались любопытные контрасты в окраске звёзд, составляющих пару. Немало было и таких случаев, когда в тесном соседстве оказывалось не только две, но даже три, четыре и более звёзд; таким образом наблюдались так называемые кратные звёзды.

Гершель начал с предположения, что двойная звезда есть результат случайного совпадения направлений двух звёзд, не имеющих между собой никакой связи и из которых одна может, отстоять во много раз дальше другой. Но уже Мичелл (гл. X, § 249) в 1767 г. показал, что даже те немногие двойные звёзды, которые были в то время известны, представляли собою примеры совпадений, которые вряд ли могли явиться результатом просто хаотического распределения звёзд.

Хотя Мичелл не облакал своих доказательств в числовую форму, мы тем не менее поясним его мысль примером. Яркая звезда Кастор (в Близнецах) с некоторого времени разрешалась в две звезды, α_1 и α_2 , разделённые промежутком немного менее 5". Вообще известно было около 50 звёзд такой же яркости, как α_1 ; и около 400 яркости α_2 . Ни один класс звёзд не обнаруживает тенденции к какому-либо особенному распределению по небесной сфере. Получаем, таким образом, задачу по теории вероятностей если существует 50 звёзд одного разряда и 400 другого, разбросанных по небесной сфере как попало, причём оба эти разряда ничем не связаны между собой, то какова будет вероятность того, чтобы одна из звёзд первого класса очутилась в расстоянии 5" от звезды второго класса? На это имеется приблизительно столько же шансов, сколько у зерна пшеницы очутиться в расстоянии сантиметра от ячменного зерна, если 50 зёрен пшеничных и 400 ячменных разбросать наудачу по площади в 20 гектар. Против такой возможности говорит очень много шансов; можно даже высчитать, сколько, — именно, свыше 300 000 против одного. Вот что говорит теория вероятностей против существования — случай-

ного, разумеется, без реальной внутренней связи между составляющими—одной только двойной звездой вроде Кастора; но когда Гершель стал открывать двойные звёзды сотнями, то степень вероятности возросла до громадных размеров. В первой работе Гершель выразился, что «было бы слишком преждевременно строить какие бы то ни было теории относительно малых звёзд, обращающихся около больших»,—замечание, показывающее, что эта мысль уже приходила ему в голову; в 1784 г. Мичелл вернулся к этой теме и высказал мнение, что шансы в пользу существования физической связи между членами новооткрытых Гершелем двойных звёзд находятся «за пределами арифметики».

264. Через двадцать лет после обнаружения своего первого каталога Гершель согласился со взглядами Мичелла, но теперь он мог подкрепить их совершенно новыми и гораздо более прямыми доказательствами. Ряд наблюдений над Кастором, изложенных в двух работах, напечатанных в *Philosophical Transactions* за 1803 и 1804 гг. и к счастью дополненных наблюдением Брайля от 1759 г., обнаружил постепенное изменение в направлении линии, соединяющей две составляющие звезды; изменение было такого характера, что оно не оставляло никаких сомнений насчёт того, что обе звезды обращаются друг около друга. Было и ещё пять случаев, в которых наблюдались аналогичные движения. Эти шесть примеров показали, таким образом, что двойная звезда действительно представляет собой сложную пару звёзд, достаточно близких для того, чтобы влиять на взаимные движения. Такого рода звезда называется *физической двойной звездой* в отличие от оптических пар, составляющие которых не имеют никакого отношения друг к другу. В трёх случаях, включая и Кастора, из наблюдений оказалось возможным определить период полного оборота одной звезды вокруг другой; при этом предполагалось, что скорость движения, приблизительно вычисленная Гершелем, равномерна; результаты получились следующие: 342 года для Кастора¹⁾, 375 и 1 200 лет для двух других. Было очевидно, что вращательное движение, наблюдаемое в физической паре, происходит от взаимного тяготения её составляющих, хотя у Гершеля не имелось достаточных данных для того, чтобы с большей или меньшей точностью установить закон движения; только через пять лет после его смерти была сделана первая попытка, имевшая целью показать, что орбита физической двойной звезды в точности вытекает или, во всяком случае, согласуется со взаимным тяготением её составляющих (гл. XIII, § 309; также рис. 98). Можно считать, что это было первое прямое доказательство господства закона тяготения за пределами солнечной системы.

¹⁾ Движение системы Кастора неоднократно изучалось со времени Гершеля, и современные данные обнаруживают период в 306 лет.

Хотя лишь относительно немногих двойных звёзд была окончательно установлена их физическая двойственность, однако, не было оснований, почему бы не оказаться физически двойными и многим другим парам, обладающим не столь быстрым движением, чтобы его можно было ясно заметить на протяжении четверти века, обнимаемой наблюдениями Гершеля. Вероятность этого подвергла решительному сомнению пригодность двойных звёзд для той особенной цели, с какой Гершель первоначально разыскивал их. Действительно, если двойная звезда представляет собой физическую пару, то оба её члена находятся приблизительно в одинаковом расстоянии от Земли, а, следовательно, положения их в одинаковой мере испытывают на себе влияние движения Земли; между тем как для нахождения параллакса существенно важно, чтобы одна из звёзд отстояла гораздо дальше другой. Но сделанное открытие показалось Гершелю гораздо более интересным, чем та цель, которую он безуспешно преследовал; по собственному образному сравнению он вышел, подобно Саулу, искать слов своего отца, а нашёл царство.

265. Уже со времени Галлея (гл. X, § 203) известно было, что некоторые звёзды обладают собственными движениями по небесной сфере относительно всех других. Между астрономами постепенно распространилось убеждение, что Солнце представляет собой одну из неподвижных звёзд, а отсюда один шаг до предположения, что, подобно другим звёздам, и оно может обладать собственным движением в пространстве. Над этим вопросом размышляли Райт, Ламберт и другие, а Товия Майер (гл. X, § 225—226) показал, как распознавать это движение.

Если какая-нибудь звезда перемещается для глаза, то по принципу относительного движения (гл. IV, § 77) это можно с одинаковым правом объяснять как движением звезды, так и движением наблюдателя или же комбинацией обоих движений; а так как в этой задаче внутренними перемещениями солнечной системы можно пренебречь, то движение наблюдателя свободно можно отнести на счёт движения Солнца. Когда рассматриваются собственные движения нескольких звёзд, то для их объяснения допустить движение одного только Солнца будет, вообще говоря, недостаточно; они могут происходить или только от фактических перемещений звёзд в пространстве, или от их сочетания с некоторым движением Солнца. Если же считать звёзды неподвижными, а Солнце движущимся к какой-нибудь определённой точке небесной сферы, то, по законам перспективы, все звёзды, находящиеся поблизости этой точки, должны казущимся образом удаляться от неё и друг от друга по небесной сфере, а находящиеся в противоположной стороне неба должны сходиться к одной точке; величина этих перемен зависит от скорости движения Солнца и близости рассматриваемых звёзд. Всё равно, как если бы мы глядели ночью вдаль улицы, уставленной фонарями с обеих сторон;

с известного расстояния они кажутся сливающимися в один ряд, но если мы начнём подвигаться вперёд, они будут всё больше и больше расходиться между собой. На нашем рисунке (рис. 82), например L и L' из B кажутся значительно более раздвинутыми, чем из A .

Если наблюдаемые собственные движения рассматриваемых звёзд не носят такого характера, то они не могут быть объяснены только движением

Солнца; если же они обнаруживают тенденцию к какому-либо перемещению, то проще всего будет объяснить их движением Солнца, предположив, что разногласия между результатами гипотетического движения Солнца и наблюдаемыми собственными

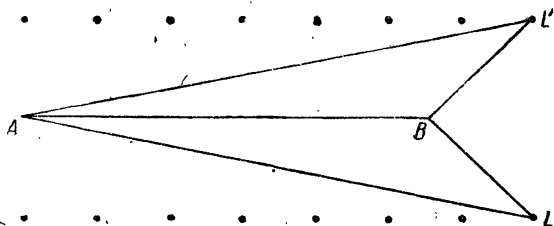


Рис. 82. Иллюстрации к движению Солнца в пространстве.

движениями звёзд происходят от действительного перемещения в пространстве некоторых звёзд.

Однако из наблюдений тех немногих собственных движений, которыми располагал Майер, он не мог вывести никаких заключений относительно движения Солнца.

Гершель воспользовался наблюдениями Маскелайна и Лаланда над собственными движениями 14 звёзд (13, если считать двойную звезду Кастор за одну) и с необычайной проницательностью открыл в их движении некоторое однообразие вышеописанного характера, которое могло быть результатом движения Солнца. Точка небесной сферы, к которой, по видимому, движется Солнце, так называемый *апекс*, указана была Гершелем поблизости звезды λ в созвездии Геркулеса. Он нашёл, что движение Солнца в этом направлении произвело бы в упомянутых 14 звёздах кажущиеся перемещения, большей частью находящиеся в общем согласии с наблюдениями¹⁾. Этот результат обнаружен был в 1783 г., а несколькими месяцами позже Пьер Прево (1751—1839) получил аналогичный результат из наблюдений, собранных Товией Майером. Слишком 20 лет спустя (1805) Гершель снова поставил на очередь этот вопрос, воспользовавшись шестью наиболее яркими звёздами из 36, собственные движения которых были опубликованы Маскелайном в 1790 г. и более надёжны сравнительно с прежними; при этом он применил более совершенные методы вычисления.

¹⁾ Считая перемещения по прямому восхождению и склонению отдельно одни от других, Гершель насчитал, собственно говоря, 27 движений (одна звезда не перемещалась по склонению); 22 из них по знаку согласовались с тем, какое вытекало бы из предполагаемого движения Солнца.

Апекс снова был указан в созвездии Геркулеса, хотя и в расстоянии почти 30° от места, указанного в 1783 г. Вполне естественно, что результаты Гершеля современными ему астрономами были приняты со значительной дозой недоверия; но множество тщательнейших более поздних исследований подтвердили общую правильность его выводов, причём, однако, первая его оценка оказывается, повидимому, более точной¹⁾. В тех же двух работах и ещё в третьей (опубликована в 1806 г.) Гершель пытался определить скорость движения Солнца; но это предприятие требовало такой массы произвольных допущений относительно вероятных расстояний звёзд—на деле вполне неизвестных,—что мы сделаем лучше всего, если приведём его фразу из статьи 1783 г.: «Мы можем в общем считать, что скорость движения Солнца во всяком случае никак не меньше скорости движения Земли по её годовой орбите».

266. Для попыток Гершеля определить относительные расстояния звёзд от Земли и их расположение в пространстве очень большое значение представлял, как мы видели, вопрос о сравнительной яркости звёзд (§ 258); в связи с этим последним находился вопрос об изменчивости блеска звёзд. Довольно давно уже известны были два замечательных случая в этом роде. Одна из звёзд Кита (так называемая *о Кита* или *Мира*—«Чудесная») временами исчезала для простого глаза, временами же становилась очень яркой. Голландский астроном *Фокилд Гольварда* (1618—1651) первый угадал её переменный характер (1639), а *Измаил Булио* или *Буллияльд* (1605—1694) в 1667 г. установил период в одиннадцать месяцев, хотя впоследствии оказалось, что как степень изменения блеска, так и период подвержены неправильностям. Изменения блеска этой звезды составили предмет первой работы, напечатанной Гершелем в *Philosophical Transactions* (1780). Не менее замечательна звезда *Альголь* (β Персея), изменение блеска которой совершается почти с безукоризненной правильностью. Её переменчивость открыта была *Геминиано Монтанари* (1632—1687) в 1669 г., но правильность изменений подмечена только в 1783 г. глухонемым юношей—любителем астрономии *Джоном Гудрайком* (1764—1786), который вскоре установил её период приблизительно в 2 дня 20 часов и 49 минут. В минимуме блеска *Альголь* даёт почти вчетверо меньше света, чем в максимуме, причём на переход из первой стадии в последнюю затрачивает около десяти часов. *Мира* же в максимуме во много сотен раз превосходит своим блеском минимум, но зато её изменения совершаются гораздо медленнее.

В начале деятельности Гершеля из переменных звёзд известны были только эти и три-четыре другие, менее интересные звёзды,

¹⁾ Положение апекса, по первому определению Гершеля, отличается меньше чем на 8° от современных результатов.

относительно переменчивости которых не оставалось сомнения; вскоре было открыто ещё несколько таких звёзд. В астрономических летописях записаны были, кроме того, случаи появления нескольких «новых» звёзд, внезапно обнаруженных в таких местах, в которых до того никаких звёзд не наблюдалось, и по большей части снова исчезавших (гл. II, § 42; гл. V, § 100; гл. VII, § 138). Очевидно, такие звёзды можно было принимать за переменные, максимумы которых наступают совершенно неправильно или через большие промежутки времени. Сверх того записи яркости звёзд, введённые прежними астрономами, не оставляли никаких сомнений насчёт того, что многие из них претерпели чувствительные изменения в блеске. Например, маленькая звёздочка в Большой Медведице (возле средней звезды «хвоста»), которую арабы считали мерилom остроты зрения, в настоящее время доступна даже в нашем туманном климате людям с обыкновенной силой зрения, а Кастор, казавшийся Байеру в 1603 г., когда он обнародовал свой атлас, самой яркой звездой созвездия Близнецов, в XVIII в. (как и теперь), считался ниже Поллукса по блеску.

Гершель произвёл довольно много точных измерений количества света, излучаемого звёздами различных величин, но не в состоянии был предпринять обширных или систематических исследований этого рода. Желая в будущем иметь возможность подмечать изменения в блеске вышеописанного характера, он изобрёл и применил в широком масштабе крайне простой метод *последовательности*. Он заключается в следующем. Если, наблюдая группу звёзд, записать их в порядке их яркости для двух различных моментов, то всякое изменение в порядке, в котором они записаны, покажет, что произошла перемена в яркости одной или нескольких звёзд. Таким образом, если наблюдать звёзды группами, отмечая, что такая-то звезда слабее одних соседних звёзд и светлее других, то получится материал, на основании которого в будущем можно заметить мало-мальски значительную перемену в яркости. По этому плану Гершель изготовил между 1796 и 1799 гг. четыре каталога сравнительной яркости, основанных на наблюдениях невооружённым глазом и заключающих в себе около 3 000 звёзд. Уже в течение этой работы замечено было довольно много лёгких изменений; но наибольший интерес из такого рода открытий представляла изменчивость хорошо известной звезды α Геркулеса, о чём Гершель объявил в 1796 г. Период её был определён в 60 дней; звезда эта образует промежуточную ступень между переменными вроде Альголя, имеющими период в несколько дней, и такими переменными (наиболее известный представитель — Мира), которые обладают периодом в несколько сот дней. По обыкновению Гершель не удовольствовался одной записью наблюдений, но попытался объяснить наблюдаемые факты предположением, что переменные звёзды обладают вращательным

движением и что поверхность их не на всём протяжении одинаковой яркости.

267. Новизна работ Гершеля о неподвижных звёздах и крайне общий характер полученных им результатов сделали то, что эти исследования затмили в некоторых отношениях другие его астрономические труды.

Хотя он не имел в виду прибавить что-нибудь своё к тем точным познаниям о движении тел солнечной системы, которые поглотили лучшие усилия большинства астрономов XVIII в. как наблюдателей, так и математиков, зато он тщательно и успешно наблюдал эти тела.

При изложении событий его жизни мы уже упоминали об открытии им Урана, двух его спутников и двух новых спутников Сатурна (§ 253, 255). Он утверждал, что видел (1798) ещё четырёх спутников Урана, но существование их никогда не было проверено сколько-нибудь удовлетворительным образом; вторая пара спутников Урана, открытая Ласселем в 1847 г. (гл. XIII, § 295), ни в движениях, ни в положении не соответствует ни одному из четырёх гипотетических спутников Гершеля. Весьма вероятно поэтому, что он явился жертвой оптической иллюзии, причина которой заключалась в дефектах его зеркала, хотя нет ничего невозможного в том, что он мог видеть одного или обоих спутников Ласселя и неточно истолковать наблюдения.

С самого начала своей астрономической деятельности Гершель с особенной любовью занимался Сатурном, о котором обнародовал семь работ между 1790 и 1806 гг. Он подметил и измерил степень отклонения планеты от строгой шарообразности (в 1790 г.); он наблюдал различные детали на её поверхности и, повидимому, наблюдал даже внутреннее, так называемое «флёрное» кольцо (гл. XIII, § 295), хотя и не разгадал его природы. Наблюдая пятна, расположенные в некотором расстоянии от экватора, он нашёл (1790), что Сатурн вращается вокруг некоторой оси, и установил период вращения в 10 часов 16 минут (от современной оценки разнится меньше, чем на 2 минуты), а из аналогичных наблюдений над кольцом (1790) Гершель заключил, что и это последнее делает один полный оборот в $10\frac{1}{2}$ часов, причём в обоих случаях ось вращения перпендикулярна к плоскости кольца. Спутник Япет, открытый Кассини в 1671 г. (гл. VIII, § 160), давно уже обнаруживал весьма значительные колебания в яркости, причём в максимуме он казался во много раз светлее, чем в минимуме. Гершель нашёл, что эти колебания не только совершенно правильны, но и подчиняются периоду, равному периоду обращения спутника около своей планеты (1792); к подобному же заключению приходил и Кассини, но он отверг его, как несогласное с его собственными наблюдениями. Явление это можно было объяснить прежде всего предположением, что различные части поверхности Япета обладают неодинаковой отражательной

способностью и что он, подобно нашей Луне, поворачивается на своей оси только раз во время обращения, постоянно подставляя планете одну и ту же свою сторону, а, значит, к земному наблюдателю он поворачивается всеми сторонами. Отсюда естественно было предположить, что такой порядок вещей не редок среди спутников, и в 1797 г. Гершель получил некоторые доказательства в пользу изменчивости яркости спутников Юпитера, что являлось, очевидно, подтверждением его гипотезы.

Наблюдения Гершеля над другими планетами менее многочисленны и не представляют такой важности. Он без колебаний отверг сомнительные наблюдения Шретера (§ 271) над огромными горами Венеры и отметил лишь неясные пятна, по которым можно было с большим сомнением определить скорость вращения этой планеты вокруг своей оси. Он часто наблюдал известные яркие полосы на диске Юпитера, обыкновенно называемые поясами, и первый объяснял их присутствием облаков (1793). На Марсе он заметил периодическое уменьшение белых пятен у полюсов и обратил внимание на то обстоятельство, что в этом, как и в других отношениях, Марс больше всех планет напоминает Землю.

268. Гершель произвёл массу тщательных наблюдений над Солнцем, на которых основал свою знаменитую теорию его строения. Он подтвердил существование многих особенностей солнечного диска, подмеченных прежними наблюдателями вроде Галилея, Шейнера и Гевелия, наблюдения которых дополнил множеством деталей. Начиная со времени Галилея, различными наблюдателями было высказано немало предположений относительно природы солнечных пятен—в них видели то облака, то горные верхушки, то продукты вулканических извержений и т. д., но ни одно из этих предположений не подкреплялось каким-нибудь серьёзным доказательством. Наблюдения Гершеля над внешним видом пятен навели его на мысль, что они представляют собой углубления солнечной поверхности, что подтверждалось, по видимому, случайными наблюдениями над пятнами, проходящими по краю диска, где они явственно представлялись впадинами. На этом довольно шатком основании он построил (1795) пространную теорию строения Солнца, своим изяществом привлекавшую всеобщее внимание и пользовавшуюся безусловным признанием больше полувека. Он полагал, что внутреннее ядро Солнца представляет собой холодное, твёрдое, тёмное тело, окружённое двумя облачными слоями, из которых наружный, *фотосфера*, или обыкновенная поверхность Солнца, неизменно раскалён и ярок, а внутренний, как экран или заслонка, защищает центральное ядро от действия жара. Тень пятна (гл. VI, § 124)—это тёмная внутренность Солнца, видимая через разрыв в облаках, а полутень соответствует внутреннему облачному слою, освещаемому сверху.

«С этой новой точки зрения Солнце представляется мне необычайно величественной, огромной и яркой планетой; очевидно, это первое или, точнее

говоря, единственное первичное тело нашей системы... всего вероятнее, что оно обитаемо, подобно остальным планетам, существами, органы которых приурочены к особым условиям, господствующим на этом громадном шаре».

Мысль, что пятна представляют собой впадины, была ещё за двадцать с лишком лет (1774) высказана *Александром Вильсоном* из Глазго (1714—1786), который защищал её аргументами, отличными от гершельевых и в некоторых отношениях более убедительными. Сперва по поводу большого пятна, наблюдавшегося в 1769 г., а затем во множестве других случаев Вильсон заметил, что по мере того, как вращение Солнца увлекает пятно с одного края диска на другой, его наружный вид меняется по законам перспективы так, как если бы оно представляло собой блюдцеобразное углубление, дно которого образовано тенью, а боковые склоны — полутенью, так как эта последняя представляется более узкой со стороны солнечного центра и более широкой с противоположной, по направлению к краю. Отсюда подобно Гершелю, но только с меньшей уверенностью Вильсон заключил, что внутренность солнца темна. Из работы, о которой мы упоминали, не видно, чтобы Гершель был знаком с трудами Вильсона, но во второй статье (1801), заключавшей в себе также ряд ценных наблюдений над деталями солнечной поверхности, он ссылается на вильсоново «геометрическое доказательство» наличия углубления в месте, занимаемом течью пятна.

Хотя в настоящее время известно, что теория Гершеля была лишь поспешным обобщением небольшого количества фактов, однако она довольно успешно объясняла большую часть наблюдений, сделанных до его эпохи.

Современные наши познания о теплоте, которые Гершелю были недоступны, показывают полную невозможность продолжительного существования тела с холодным внутренним ядром, окружённым тонкой оболочкой из раскалённых и самосветящихся веществ, и поэтому его теория представляет лишь чисто исторический интерес (гл. XIII, § 298, 303).

269. Гершель нашёл аналогию между Солнцем и переменными звёздами; колебания в числе пятен, а, может быть, и других особенностей солнечной поверхности навели его на мысль о вероятном существовании некоторых изменений в общем количестве излучаемого Солнцем света и тепла. Однако, данные наблюдения, которыми он располагал, были слишком недостаточны для вывода каких-либо решительных заключений.

270. В дополнение к вышеизложенным астрономическим исследованиям и ещё некоторым другим, менее важного свойства Гершель уделял часть своего времени, главным образом, в конце жизни, занятиям светом и теплотой; но полученные им довольно ценные результаты скорее относятся к области физики, чем к астрономии, и потому мы их обойдём молчанием.

271. Удивительные открытия Гершеля, конечно, можно приписывать тому, что он обладал телескопами необычайной силы и создал новую программу астрономического исследования, и, несомненно, это были весьма существенные элементы. Не менее важную роль играли, однако, и другие обстоятельства, и достойно замечания, что хотя множество больших телескопов его изготовления попало в руки других астрономов, а астрономическая его программа, будучи обнародована, стала доступной всему свету, тем не менее вряд ли хоть один из его современников проделал работу, которую можно было бы признать сколько-нибудь значительной по сравнению с трудами Гершеля.

Почти единственный астроном этого периода, труды которого заслуживают упоминания наряду с трудами Гершеля, хотя стоят гораздо ниже их как по числу, так и по оригинальности, был *Иоганн Иероним Шретер* (1745—1816).

Занимая официальную должность¹⁾ в Лилиентале, близ Бремена, он в течение тридцати лет посвящал свои досуги изучению планет и Луны, а в меньшей степени и других тел.

Как мы видели уже по поводу Венеры (§ 267), результаты его были не всегда надёжны, но, несмотря на некоторые ошибки, он в значительной мере расширил наши сведения насчёт внешних особенностей планет и в частности изучил поверхность Луны с такой тщательностью и точностью, что далеко оставил за собой своих предшественников; он даже пытался извлечь из своих наблюдений данные относительно её физического устройства. Два его тома о Луне (*Selenotopographische Fragmente, Очерки лунной топографии*, 1791 и 1802 гг.) и другие, менее обширные сочинения представляют сокровищницу ценных деталей, из которой позднейшие астрономы много черпали для своих трудов.

¹⁾ Он исполнял обязанности городского судьи. (Прим. пер.)

ГЛАВА XIII

ДЕВЯТНАДЦАТЫЙ ВЕК

«Чем больше сфера нашего знания, тем шире поверхность её соприкосновения с безграничной областью неведомого».

272. В последних трёх главах мы рассматривали успехи, достигнутые в трёх отраслях астрономии, которые, хотя и покрывались взаимно, оказывая одна на другую значительное влияние, тем не менее разрабатывались различными методами и преследуют различные цели. Это различие лучше всего уясняется, если мы припомним труды великих мастеров каждой отрасли—Брадлея, Лапласа и Гершеля. Различие было настолько велико, что Делаамбр в своей истории астрономии почти не упоминает о великой школе астрономов-математиков, бывших его современниками и непосредственными предшественниками, не вследствие недостаточной оценки её значения, но потому, что он причисляет её труды скорее к области математики, чем к астрономии; с другой стороны, Бессель (§ 277) своим определением, что задача астрономии заключается в «указании мест на небе, в которых находились, находятся или будут находиться Солнце, Луна, планеты, кометы и «звёзды», исключает из своей программы почти всё, что Гершель находил достойным своей могучей энергии.

Современные учёные смотрят на дело гораздо шире Делаамбра и Бесселя и находят удобным считать все три упомянутых нами предмета или группы предметов одинаково важными частями одной и той же науки.

О взаимоотношении между астрономией тяготения и той отраслью науки, которую можно назвать наблюдательной астрономией, мы уже говорили выше (гл. X, § 196). Нужно, однако, заметить, что этим последним термином мы до сих пор обозначали преимущественно только одну часть астрономических работ, связанных с наблюдением. Наблюдение играло столь же громадную роль в работах Гершеля, как и в трудах Брадлея, но цели, которые преследовали эти два учёных, различались между собой во многих отношениях. Брадлей интересовался главным образом точнейшим определением видимых положений неподвижных звёзд на небесной сфере, а также положений и движений тел солнечной

системы; первая половина задачи играла как бы вспомогательную роль по отношению ко второй. С другой стороны, Гершель, некоторые исследования которого, например, относительно параллаксов неподвижных звёзд и движений спутников Урана, были вполне аналогичны брадлеевым, гораздо больше занимался вопросом о внешнем виде, взаимных отношениях и строении небесных тел самих по себе. Эту последнюю отрасль астрономии было бы весьма удобно обозначить названием *описательной астрономии*, хотя оно не вполне приложимо к исследованиям относительно физического устройства и химического состава небесных тел, каковые исследования часто помещаются под этот заголовок и играют важную роль в астрономии наших дней ¹⁾.

273. Астрономия тяготения и наблюдательная астрономия сделали большие успехи в XIX столетии, но ни одна из этих отраслей не претерпела внутренних преобразований, и достигнутые в них результаты в значительной мере носили такой характер, что вряд ли были понятны и ещё менее того интересны неспециалистам. Мы по необходимости коснёмся их лишь самым поверхностным образом, а подробнее займёмся или общими течениями, или отдельными результатами наименее специального характера.

С другой стороны, описательная астрономия, которую можно почти с таким же правом считать созданием Гершеля, как астрономию тяготения — делом Ньютона, не только получила могучее развитие в направлении, указанном её творцом, но и вторглась (главным образом благодаря изобретению спектрального анализа, § 299) в такие области, о которых не смели не то что думать, но даже и мечтать за сто лет перед тем. В отличие от результатов, добытых старшими отраслями астрономической науки, открытия описательной астрономии большей частью вполне удобопонятны и представляют большой интерес для людей, обладающих незначительными астрономическими знаниями; в частности они ещё пока не требуют знакомства с математическим языком и понятиями, заметно преобладающими в других отраслях астрономии, что делает эти последние недоступными и незанимательными для многих. Кроме того описательная астрономия не только легко поддается изучению, но её успехам вполне могут содействовать даже наблюдатели, не располагающие сведениями из высшей математики или богатыми инструментальными средствами.

Вот почему в то время, как преемники Лапласа и Баддея были большей частью астрономами по профессии, прикованными к общественным обсерваториям или университетам, огромное количество ценной описательной работы исполнено было любителями,

¹⁾ Эта новая отрасль астрономии, трактующая о физическом строении небесных тел, зародившаяся по существу в XIX в., в настоящее время носит название *астрофизики*. К астрофизике же часто относят и огромную область, охватывающую разнообразные вопросы строения звёздного мира, основоположником которой был Вильям Гершель.

которым, подобно Гершелю, в начале своей карьеры приходилось отдавать массу сил посторонней профессиональной работе и которые в некоторых случаях располагали прекрасными инструментами, но в огромном большинстве других—лишь самыми скудными приспособлениями. По этой и по другим причинам одной из характернейших черт астрономии XIX в. является усиление интереса к этому предмету, особенно в Соединённых Штатах, и учреждение огромного количества частных обсерваторий, почти всецело предназначенных для изучения той или иной специальной области описательной астрономии. Таким образом, XIX в. характерен приобретением небывалого количества детальных астрономических знаний. Но богатство накопленного материала превзошло наши силы по интерпретации их, и во многих случаях наши познания в некоторых частных разделах описательной астрономии сводятся, с одной стороны, к огромному ряду тщательных наблюдений, а, с другой,—к одной или несколькими чисто умозрительным теориям, чаще всего могущим объяснить лишь малую долю наблюждённых фактов¹⁾.

При рассмотрении успехов почти современной нам описательной астрономии мы подвергаемся поэтому очень крупному риску из-за деревьев не увидеть леса, как гласит народная пословица. Попытаться изложить в одной главе хотя бы важнейшие из фактов, обогативших наши познания в столь недавнее время,—совершенно излишне, так как эти факты легко найти во многих общедоступных руководствах астрономии или в трактатах по специальным отделам этого предмета. Мы можем лишь попытаться дать некоторое понятие о направлениях, в которых прогрессировала наука, и указать на кое-какие общие заключения, опирающиеся, как нам кажется, на более или менее прочные основания.

274. Успехи точного наблюдения в весьма значительной степени обуславливались, разумеется, совершенством орудий. Помимо громадных улучшений, внесённых в деликатную процедуру изготовления больших линз, было достигнуто значительное совершенство в разделении (градуировании) кругов и других частях монтировки телескопа, от которых зависит точность наблюдений. Немало способствовали увеличению точности и новые методы установки инструментов, производства и регистрации наблюдений. Для некоторых специальных задач фотография представляет громадные преимущества перед визуальными наблюдениями, хотя важнейшие приложения она находила себе до сих пор в области описательной астрономии.

275. Ещё Тихо Браге понимал необходимость поправок на известные погрешности наблюдений и, насколько это возможно,

¹⁾ Это замечание автора, сделанное в конце XIX в., остаётся справедливым в отношении к некоторым разделам астрофизики и в настоящее время.

уменьшения влияния таких ошибок, причины которых неизвестны (гл. V, § 110), а в трудах Флэмстида и Баддея (гл. X, § 198, 218) эти поправки играли громадную роль. Дальнейшие шаги в этом направлении сделаны были в первой половине истекшего столетия. *Метод наименьших квадратов*, изобретённый независимо друг от друга двумя великими математиками, *Адрианом Мари Лежандром* (1752—1833) из Парижа и *Карлом Фридрихом Гауссом* (1777—1855) из Геттингена¹⁾, позволял систематически комбинировать наблюдения, дававшие несколько различные результаты таким образом, что получалось наибольшее приближение к истине.

Как бы тщательно ни производилось какое-нибудь обыкновенное физическое измерение, например, измерение длины, оно никогда не будет вполне совершенным; если повторить его несколько раз, даже при тождественных, повидимому, условиях, результаты будут несколько отличны один от другого; таким образом, возникает необходимость сочетать эти результаты для получения наиболее надёжных данных. На практике, в несложных случаях издавна уже бралось среднее арифметическое различных результатов. Но астрономам постоянно приходилось иметь дело с более сложными случаями, в которых требовалось определить две или более неизвестные величины из различных наблюдений, например, когда надо было определить элементы планетной орбиты (гл. XI, § 236) из наблюдений положения планеты в различные времена.

Метод наименьших квадратов даёт правило для распутывания таких казусов, являющееся обобщением обыкновенного правила средней арифметической, применяющегося в том случае, когда разыскивается одна неизвестная величина; после дальнейшей разработки метод стал пригодным и для комбинирования наблюдений различной ценности; таковы наблюдения, произведённые наблюдателями, неодинаково искусными, либо при помощи различных инструментов, или же при неодинаково благоприятных состояниях погоды и т. п. Этот метод даёт простое средство для проверки ценности наблюдений на основании их взаимного соответствия и сопоставлений их вероятной точности с другими наблюдениями, производившимися при иных условиях.

Метод наименьших квадратов можно вывести из некоторого допущения относительно общего характера причин, вызывающих рассматриваемую нами погрешность; но самое это допущение не может быть доказано а priori; с другой стороны, удовлетворительные результаты, полученные от приложения этого правила к разнообразнейшим задачам астрономии и физики, показали, что во множестве случаев неизвестные причины погрешностей относятся

¹⁾ Этот метод был обнародован Лежандром в 1806 г. и Гауссом в 1809 г., но последний изобрёл его и пользовался им 20 с лишком годами раньше.

к вышеуказанному типу. Таким образом, этот метод широко применяется в астрономии и физике во всех тех случаях, где требуется возможно большая точность.

276. Другие учёные труды Лежандра почти всецело относятся к отраслям математики, в самой слабой мере соприкасающимся с астрономией. Что же касается Гаусса, почти столетия стоявшего во главе Геттингенской обсерватории, то хотя самые блестящие и важные труды его относятся к чистой математике, но он сделал много важных добавлений и к астрономической науке и, кроме того, произвёл несколько первоклассных исследований по магнетизму и другим отделам физики. Добавления эти заключали в себе большей частью различного рода вычислительные процессы, необходимые при пользовании астрономическими наблюдениями; наибольшей известностью пользуется его метод вычисления орбиты планеты из трёх полных наблюдений её положения, обнаруженный в его *Теории движения* (1809).

Как мы видели (гл. XI, § 236), полное определение планетной орбиты обуславливается шестью независимыми друг от друга элементами: полное наблюдение положения планеты в небе в известное время даёт две величины, например, прямое восхождение и склонение (гл. II, § 33); поэтому три полных наблюдения дают шесть уравнений и теоретически способны определить элементы орбиты; но долгое время не считалось необходимым решать задачу в этой форме. Орбиты всех планет, кроме Урана, постепенно разрабатывались из наблюдений, охватывающих несколько столетий; можно было пользоваться наблюдениями, произведёнными в особые моменты, подобранные таким образом, что известные элементы определяются без точного знания других; даже Уран был наблюдаем долгое время, прежде чем путь его мог быть определён с достаточной точностью; что же касается комет, то для них задача упрощалась тем обстоятельством, что их орбиты можно было принимать не за эллипс, а за параболу (гл. IX, § 190).

Открытие новой планеты, Цереры, сделанное 1 января 1801 г. (§ 294), и последовавшее (через несколько недель) исчезновение её выдвинули на очередь совершенно новую задачу вычисления орбиты. Гаусс приложил свои новые методы, между прочим, и метод наименьших квадратов, к наиболее надёжным наблюдениям; усилия его увенчались полным успехом, так как планета была снова найдена в конце года почти как раз на том месте, какое указано было его вычислениями.

277. Теория «редукции» наблюдений (гл. X, § 218) была впервые приведена в систему и значительно усовершенствована *Фридрихом Вильгельмом Бесселем* (1784—1846), который в течение тридцати с лишком лет состоял директором новой обсерватории в Кенигсберге. Первой из его больших работ была редукция и издание гринвичских наблюдений Брадлея (гл. X, § 218). Это предприятие требовало тщательного изучения таких явлений,

как прецессия, абберация и рефракция, равно как и погрешностей инструментов Баддея. Бессель вносил поправки на эти величины по однообразному систематическому плану, и в результате этих трудов был обнаружен в 1818 г., под заглавием *Fundamenta Astronomiae*, каталог положений 3 222 звёзд для 1755 года. Во время этой работы он специально занимался вопросом о рефракции. Хотя полное теоретическое решение этого вопроса в то время, как и теперь, было невозможно, однако, Бесселю удалось составить таблицу преломлений в земной атмосфере, весьма близко согласовавшуюся с наблюдениями, и притом в форме, дававшей возможность без особых затруднений вносить поправки на любое положение звезды. Его общие методы редукции, окончательно обнаруженные в *Кенигсбергских таблицах* (*Tabulae Regiomontanae*, 1830), обладали громадными преимуществами в том смысле, что давали возможность выполнять необходимые вычисления при небольшой затрате труда, с помощью почти механических процессов, доступных даже и не особенно искусным ассистентам.

Помимо издания наблюдений Баддея Бессель предпринял новый ряд собственных наблюдений, выполненных в промежутке между 1821 и 1833 гг., на основании которых составил два новых каталога, вышедших после его смерти и заключающих в себе около 62 000 звёзд.

278. Замечательнейшей из отдельных работ Бесселя было первое несомненное открытие параллакса неподвижной звезды. Бессель отказался принимать яркость звезды за критерий её близости и выбрал звезду (61 Лебедя), едва доступную невооружённому глазу, но отличавшуюся быстрым собственным движением (около 5" в год); ясно, что если звезда движется в пространстве с определённой скоростью (столько-то километров в секунду), то чем ближе она к наблюдателю, тем быстрее будет казаться её движение; таким образом, видимая скорость движения, подобно яркости, может служить вероятным (но никоим образом не достоверным) критерием её близости. Видоизменив дифференциальный метод Галилея (гл. VI, § 129 и гл. XII, § 263), Бессель многократно измерял в течение года угловое расстояние 61 Лебедя от двух соседних звёзд, слабость блеска и неподвижность которых, по видимому, указывали на их громадное расстояние. Из колебаний в расстояниях sa , sb (рис. 83) оказалось возможным вычислить размеры крошечного эллипса, описываемого звездой σ . В конце



Рис. 83. 61 Лебедя и две соседние звезды, которыми пользовался Бессель.

Видоизменив дифференциальный метод Галилея (гл. VI, § 129 и гл. XII, § 263), Бессель многократно измерял в течение года угловое расстояние 61 Лебедя от двух соседних звёзд, слабость блеска и неподвижность которых, по видимому, указывали на их громадное расстояние. Из колебаний в расстояниях sa , sb (рис. 83) оказалось возможным вычислить размеры крошечного эллипса, описываемого звездой σ . В конце

1838 г. он обнаружил результат своих исследований, из которого явствовало, что звезда обладает годичным параллаксом около $1/3''$ (гл. VIII, § 161), т. е. она находится на таком расстоянии, что наибольшее угловое удаление Земли от Солнца, если смотреть на него со звезды (угол $S\sigma E$ на рис. 84, где S —Солнце, а E —Земля), измеряется этим ничтожным углом¹⁾. С небольшими

изменениями этот результат подтвердился новыми исследованиями Бесселя от 1839—1840 гг.; дальнейшие изыскания показывают, что параллакс 61 Лебеда очень близок к $0''{,}3$. При этой последней оценке орбита Земли, если наблюдать её со звезды, имеет для глаза такой же диаметр, как полупенсовая монета на расстоянии слишком пяти миль (или десятикопеечная монета на расстоянии около 12 км). Другими словами, расстояние звезды от нас почти в 700 000 раз превосходит расстояние Земли от Солнца, равное 149 500 000 км. Миля или километр, разумеется, представляют собой слишком ничтожные единицы для измерения таких огромных расстояний; удобнее всего выражать такие расстояния в промежутках времени, потребного для прохождения света. Распространяясь со скоростью около 300 000 км в секунду (§ 283), свет доходит к нам от 61 Лебеда в 11 лет.

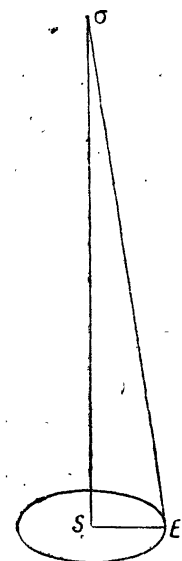


Рис. 84. Параллакс 61 Лебеда.

279. Вслед за решением Бесселем великой проблемы, волновавшей астрономов со времени Коперника, немедленно последовало два других открытия параллаксов. В начале 1839 г. *Томас Гендерсон* (1798—1844) определил параллакс почти в $1''$ для яркой звезды α Центавра, которую он наблюдал на мысе Доброй Надежды, а в следующем году *В. Я. Струве* (1793—1864) из наблюдений, сделанных в Пулкове, получил для звезды Веги параллакс в $1/4''$; последующими изысканиями эти числа были уменьшены соответственно до $3/4''$ и $1/8''$.

Впоследствии найдено было много других параллаксов. Важное изменение в методах их нахождения внёс *Чарльз Притчард* (1808—1893) из Оксфорда; он фотографировал исследуемую звезду и её соседок, а затем измерял расстояния на фотографии, вместо того, чтобы измерять угловые расстояния непосредственно микрометром.

В настоящее время известно, что, по крайней мере, несколько тысяч звёздных параллаксов поддается более или менее основательному измерению, хотя они определены в данный момент с

¹⁾ На рисунке пропорции расстояний не выдержаны, так как угол $S\sigma E$ равняется 10° , т. е. в 100 000 раз больше истинного.

различной степенью точности. Звезда α Центавра всё ещё считается ближайшей из звёзд, хотя свет её и доходит до нас в четыре с лишним года.

При очень большой удалённости звёзд, из-за значительных ошибок наблюдений, неоднократно получались отрицательные значения параллаксов, т. е. выходило, что звёзды вследствие движения Земли вокруг Солнца обнаруживают видимое перемещение в направлении, противоположном ожидаемому.

В текущем (двадцатом) столетии было открыто ещё несколько косвенных способов определений звёздных параллаксов, позволяющих определять расстояние до звёзд несравненно более удалённых, чем те, у которых можно непосредственно наблюдать годовое параллактическое смещение. Из числа этих способов наибольшее применение нашёл так называемый спектральный (или спектроскопический) способ, основанный на определении действительной яркости звёзд по ряду особенностей их спектров. Другой способ, позволяющий определять параллаксы светил, отстоящих от Солнца на расстояниях, которые луч света проходит в сотни тысяч лет, основан на удивительном свойстве некоторых из переменных звёзд (см. § 266).

Оказалось, что действительная яркость этих звёзд во время максимума их блеска находится в строгой зависимости от периода изменения их яркости. Если этот период мал (не больше 1 дня), их действительная яркость сравнительно невелика, — приблизительно в 100 раз больше яркости Солнца. Но если период велик (несколько десятков дней), яркость этих звёзд значительно больше — она превышает яркость Солнца в несколько тысяч раз. Такие переменные звёзды были названы *цефеидами*, так как одна из них, впервые хорошо изученная, находится в созвездии Цефея. Цефеиды были обнаружены не только в нашей звёздной системе, но также и в некоторых туманностях. Но если у цефеид удаётся определить период изменения их блеска, а также их *видимые* яркости, то можно определить и расстояния, отделяющие их от нас, а, следовательно, и расстояния, отделяющие от нас те туманности, в которых они находятся. Ведь знание периода изменения блеска цефеид даёт возможность определить их действительные яркости, сопоставление которых с видимыми яркостями и позволяет найти их расстояния.

280. В истекшем столетии составлено было множество звёздных каталогов и карт, перечисление которых было бы утомительно; они отмечают собой быстрый прогресс наших знаний о положениях звёзд. Таким образом, был накоплен свежий материал для точного определения (путём сравнения положений звёзд на небе в различные эпохи) как собственных движений звёзд, так и величины прецессии. К наиболее важным трудам этого рода относится большой каталог 324 198 звёзд северного полушария, известный под названием *Боннского Обзорения* (*Bonner Durchmusterung*);

изданный в 1859—1862 гг. учеником Бесселя, *Фридрихом Вильгельмом Августом Аргеландером* (1799—1875); он был дополнен (1875—1885) 133 659 звёздами некоторой части южного полушария трудами *Эдуарда Шенфельда* (1828—1891); а *Гилл* произвёл на мысе Доброй Надежды фотографическое обозрение остальной части южного полушария; редукцию этих наблюдений для составления каталога (первая часть которого была обнародована в 1896 г.) произвёл *Каптейн* из Гронингена. Положения звёзд, данные этими каталогами, не претендуют на безусловную точность, а во многих случаях важно бывает знать с величайшей возможной точностью положения хотя бы и меньшего количества звёзд. Грандиозное предприятие этого рода, начатое Германским Астрономическим Обществом в 1867 г., ставило себе целью составление, путём сотрудничества нескольких обсерваторий, каталогов около 163 000 звёзд, заключающихся в «приблизительных» каталогах Аргеландера и Шенфельда; эта работа была закончена в 1912 г.

Ещё более грандиозный метод обозрения неба даётся фотографированием звёзд; на Международном парижском конгрессе 1887 г. решено было составить фотографическую карту неба с менее подробным (чем карта) каталогом, основанным на ней. Всё небо было поделено между 18 обсерваториями, расположенными в различных частях света, и на каждой из этих обсерваторий фотографируется небо при помощи тождественных инструментов. Рассчитано, что вся карта, на которой отпечатаются звёзды до 14-й величины включительно¹⁾, будет усеяна 30 000 000 звёзд, из которых по крайней мере 3 000 000 будут, кроме того, занесены в каталог. Большое влияние на развитие наблюдательной астрономии оказала деятельность русской обсерватории в Пулкове, основанной в 1839 г. и оборудованной инструментами, изготовленными лучшими мастерами того времени по специальному заказу первого её директора, виднейшего учёного—В. Я. Струве.

Из многочисленных работ Пулковской обсерватории наиболее важное значение имеет издание ею пяти звёздных каталогов, выпущенных с интервалами в 20 лет и содержащих точное положение нескольких сот звёзд. Эти пулковские каталоги, наряду с гринвичскими, послужили главной основой последующих работ, основанных на точном знании звёздных координат, и выдвинули Пулковскую обсерваторию на одно из первых мест в мире.

Деятельность Пулковской обсерватории оказала также большое влияние на развитие астрономии в России, особенно, после того как её директором сделался (1890 г.) выдающийся русский астроном *Ф. А. Бредихин* (1831—1904), привлёкший к работе в обсерватории ряд русских учёных, в числе которых был и

¹⁾ Средняя звезда 14-й величины светит в 10 000 раз слабее, чем звезда 4-й величины, которая, в свою очередь, в 170 раз слабее Сириуса. См. § 316.

А. А. Белопольский, прославившийся главным образом применением к изучению небесных тел принципа Допплера (§ 297, 302).

281. К разделу наблюдательной астрономии удобно отнести и другую великую проблему—об определении расстояния Солнца.

Оба прохождения Венеры (гл. X, § 202, 227), случившиеся в 1874 и 1882 гг., наблюдались в самых широких размерах, причём старые методы (наблюдение промежутков времени) дополнены были фотографией и прямыми микрометрическими измерениями положений Венеры во время её прохождения.

Метод нахождения расстояния Солнца при помощи наблюдений Марса в эпохи противостояний (гл. VIII, § 161) применялся во многих случаях с значительным успехом, особенно же Гиллом в 1877 г. В этом случае применён был метод, которым первоначально пользовался Флэмстид,—метод, впоследствии забытый, но извлечённый на свет божий *Джорджем Бидделем Эри* (1801—1892). Для нахождения параллакса планеты её необходимо наблюдать с двух различных мест, расстояние между которыми известно; обыкновенно для этого берутся две различные обсерватории, удалённые одна от другой по широте как можно больше. Эри показал, что того же результата можно достигнуть и на одной и той же обсерватории, если производить наблюдения через промежутки в несколько часов, так как вращение Земли вокруг своей оси за такой промежуток произведёт известное перемещение положения наблюдателя и доставит необходимый операционный базис. Кажущееся отклонение положения планеты всего легче определить, измерив (при помощи микрометра) расстояния её от соседних неподвижных звёзд. Этот метод (известный под названием *суточного метода*), между прочим, обладает громадным преимуществом—простотой применения; для него требуется всего лишь один наблюдатель и один инструмент.

Суточный метод прилагался с большим успехом и к некоторым из малых планет (§ 294). Обращаясь между Марсом и Юпитером, почти все яркие малые планеты¹⁾ отстроят от Земли дальше Марса; но это несколько возмещается тем обстоятельством, что малая планета, в отличие от Марса, обыкновенно не обнаруживает заметного диска, и потому её угловое расстояние от соседней звезды гораздо легче измерить. Наблюдения малых планет Виктории, Сафо и Ириды, 1888—1889 гг., произведённые на множестве обсерваторий под общим руководством Гилла, привели к одной из наиболее удовлетворительных оценок расстояния Солнца²⁾.

¹⁾ Кроме планеты Эрос, которая была открыта 14 августа 1898 г. при помощи фотографии. Эрос движется по орбите, часть которой лежит между орбитой Земли и Марса, а остальная часть—за орбитой Марса (см. рис. 85). Он приближается к нам в некоторые эпохи менее чем на 30 млн. километров и тогда блестит, как звезда шестой величины.

²⁾ Благодаря своей близости к Земле Эрос доставил (в 1900—1901 гг. и в 1930—1931 гг.) наиболее надёжное средство определения параллакса Солнца.

282. Астрономам-математикам XVIII в. было известно, что расстояние Солнца можно получить, зная величину некоторых возмущений; Лаплас, например, получил солнечный параллакс из лунной теории. Усовершенствования, внесённые истекшим столетием в астрономию тяготения и в область наблюдения планет и Луны, значительно повысили ценность этих методов. Известная неправомерность в лунном движении, называемая *параллактическим неравенством*, и другая в движении Солнца, так называемое *лунное уравнение*, обуславливаемое перемещением Земли под влиянием притяжения Луны,—обе зависят от отношения между расстояниями Солнца и Луны от Земли; если наблюдение даёт величину каждого из этих неравенств, то отсюда можно вывести расстояние Солнца, так как расстояние Луны известно с большой точностью. Приложив первый из этих методов, Ганзен (§ 286) во время тщательной разработки лунной теории удостоверился в 1854 г., что общепринятая оценка расстояния Солнца безусловно велика; а Леверрье (§ 288) подтвердил его поправку, применив второй метод в 1858 г.

Далее, некоторые изменения в орбитах наших двух соседей, Венеры и Марса, зависят от соотношения между массами Солнца и Земли и от их взаимных расстояний, значит, их можно связать, по принципам тяготения, с искомой величиной. В 1861 г. Леверрье показал, что движения Венеры и Марса, подобно лунным, не соответствуют полученной оценке солнечного расстояния; позднее он более полно разработал этот приём и вывел (1872) оценки параллакса. Наблюдаемые смещения крайне незначительны, и точное определение их—дело далеко не лёгкое, но оба они относятся к разряду вековых (гл. XI, § 242), так что со временем их можно будет подвергнуть очень точному измерению. Метод Леверрье поэтому впоследствии может вытеснить все остальные, известные в настоящее время методы; в частности, трудно допустить, чтобы прохождения Венеры, ожидающиеся в 2004 и 2012 гг., могли иметь хоть какое-нибудь значение для определения расстояния Солнца.

283. В XIX в. был придуман ещё один метод для определения расстояния Солнца, который применялся в двух несколько различных видах. Перемещение звезды в силу аберрации (гл. X, § 210) зависит от отношения скорости света к скорости движения Земли по её орбите, а наблюдения спутников Юпитера по методу Ремера (гл. VIII, § 162) позволяют определить время, затрачиваемое светом на прохождение от Солнца к Земле. Каждой из этих астрономических величин, из которых аберрация известна точнее, можно воспользоваться для определения скорости света, если известны размеры солнечной орбиты, и наоборот. Независимого метода нахождения скорости света не знали вплоть до 1849 г., когда *Ипполит Физо* (1819—1896) изобрёл и успешно применил свой лабораторный способ.

После того были предприняты три ряда опытов: *Корню* во Франции (1874 и 1876), *Майкельсоном* (1879) и *Ньюкомбом* (1880—1882) в Соединённых Штатах. Опыты эти сходны между собой в существенных чертах и в общем дают один и тот же результат—299 800 км в секунду; при помощи постоянной аберрации отсюда получается солнечный параллакс $8'',8$.

284. Оценка Энке солнечного параллакса в $8'',571$, выведенная из прохождений Венеры (гл. X, § 227) в 1761 и 1769 гг. и опубликованная в 1835 г., соответствовала расстоянию в $153\frac{1}{2}$ млн. км и пользовалась всеобщим признанием до середины минувшего столетия. Между тем гравитационные методы Ганзена и Леверрье, прежние определения скорости света и наблюдения Марса в противостоянии 1862 г. единогласно указывали на значительно больший параллакс; новый пересмотр наблюдений XVIII в. показал, что из них можно вывести большую оценку по сравнению с результатом Энке, и некоторое время (начиная приблизительно с 1860 г.) в большом ходу был параллакс в $8'',95$, соответствовавший расстоянию в 147 млн. км. Однако, с течением времени в новых методах обнаружены были некоторые малые погрешности, и вероятная оценка параллакса снова возросла. Три наиболее надёжных метода—суточный метод в приложении к Марсу в 1877 г., он же в приложении к малым планетам в 1888—1889 гг. и метод аберрации—согласно дали результаты, отличающиеся от $8'',80$ не больше, чем на две-три сотых секунды. Результаты последних прохождений Венеры, обработка которых растянулась на много лет, указывают на несколько больший параллакс. Большинство астрономов, повидимому, согласно в том, что параллакс в $8'',8$, соответствующий расстоянию почти в 149,5 млн. км, прекрасно согласуется с наиболее надёжными данными¹⁾.

285. Чрезвычайная точность современных наблюдений отлично иллюстрируется открытием изменений в широте некоторых обсерваторий. Берлинские наблюдения 1884—1885 гг. указывают на чрезвычайно малое изменение широты; с целью проверки этого обстоятельства предприняты были специальные наблюдения на различных европейских обсерваториях, а затем на Гонолулу и в Кордове. В результате обнаружилось периодическое изменение широты, достигающее до $\frac{1}{2}''$. Так как широта (гл. X, § 221) есть угол, образуемый вертикалью данного места с плоскостью экватора, т. е. то же самое, что высота полюса над горизонтом, то она изменяется от всякой перемены в положении земного экватора, а, значит, и в положении земных полюсов.

¹⁾ В настоящее время наиболее надёжные способы определения параллакса Солнца (в число которых из указанных в тексте попадает только один — по наблюдениям малых планет) дают его значение $8'',803$ с вероятной ошибкой в $0'',001$. Однако, и до сих пор, по международному соглашению, параллакс Солнца в астрономических календарях принимается равным $8'',80$.

С. Чендлеру удалось показать (в 1891 г. и позже), что упомянутые явления можно в значительной мере объяснить таким предположением: положение земной оси претерпевает чрезвычайно малые колебания такого рода, что каждый из её полюсов описывает около своего среднего положения окружность в 427-дневный период, причём наибольшее отклонение не превышает 10 метров. Из теоретической механики отлично известно, что вращающееся тело вроде Земли может испытывать подобные неправильности, но что если бы Земля была абсолютно тверда, то период равнялся бы 304 дням вместо 427. Различием между этими двумя цифрами остроумно пользовались для нахождения пределов, в которых Земля способна—подобно эластичному шару—поддаваться силам, стремящимся растянуть её.

286. Со времени Лапласа все великие проблемы астрономии тяготения были заново рассмотрены, и намечены новые пути к их разрешению.

Лунная теория Лапласа была развита *Мари Шарлем Теодором Дамуазо* (1768—1846), *Лунные таблицы* (1824 и 1828) которого одно время находились во всеобщем употреблении. Некоторыми специальными задачами лунной и планетной теории занимался *Симон Дени Пуассон* (1881—1840), более впрочем известный как писатель по различным отделам математической физики, чем как астроном. *Джиованни Антонио Амедео Плана* (1781—1869) изобразовал в 1832 г. тщательно разработанную по общим методам Лапласа и очень подробную теорию движения Луны, но без таблиц. В 1846 г. появился общий трактат по лунной и планетной теории, по тому времени самый полный, написанный *Филиппом Густавом Дюльсе де-Понтекуланом* (1795—1874) под заголовком: *Аналитическая теория системы мира*; не особенно полная лунная теория, сходная с вышеприведённой, опубликована была в 1830—1834 гг. *Джозефом Вильямом Леббоком* (1803—1865).

Громадный шаг вперёд в лунной теории сделал *Петер Андраас Ганзен* (1795—1874) из Готы, издавший в 1838 и 1862—1864 гг. два трактата, обыкновенно известных под названием *Fundamenta*¹⁾ и *Darlegung*²⁾; в 1857 г. он выпустил столь точные таблицы лунного движения, что разногласия между ними и наблюдениями, произведёнными в течение ста лет между 1750 и 1850 гг., редко достигали 1" или 2". Этими таблицами сейчас же воспользовались для вычисления *Nautical Almanach*'а и других периодических изданий в этом роде.

Совершенно новая лунная теория, представлявшая громадный математический интерес и соответственные усложнения и трудно-

¹⁾ Fundamenta Nova Investigationis Orbitae Verae, quam Luna perlustrat—«Новые основы для исследования истинной орбиты, описываемой Луной».

²⁾ Darlegung der theoretischen Berechnung der in der Mondtafeln angewandten Störungen, т. е. «Изложение теоретического определения встречающихся в лунных таблицах неправильностей».

сти, обнародована была *Шарлем Делонэ* (1816—1872) в 1860 и 1867 гг. К несчастью, творец её скончался, не успев составить соответствующих таблиц.

Ньюкомб из Вашингтона (§ 283) оказал лунной теории, равно как и другим отделам астрономии, массу ценных услуг путём сложных и тонких вычислений, из которых наибольшей известностью пользуется произведённое им сравнение таблиц Ганзена с наблюдениями и вытекавшие отсюда поправки.

Новые методы разработки лунной теории изобретены были *Джозоном Кучем Адамсом* из Кембриджа (1819—1892); сходные с ними методы получили развитие у *Хилла* из Вашингтона; но так как они не были разработаны в деталях, то не годились для вычисления таблиц и долгое время представляли скорее математический, чем практический интерес¹⁾.

287. Один пункт лунной теории заслуживает здесь особого упоминания. Вековое ускорение среднего движения Луны, столь озадачивавшее астрономов со времени его открытия Галлеем (гл. X, § 201), получило, как мы видели (гл. XI, § 240), объяснение со стороны Лапласа в 1787 г. Проверая вычисления, Адамс нашёл, что некоторые величины, опущенные Лапласом как мало-значущие, на самом деле оказывают заметное влияние на результат, так что, например, одна величина, выражающая скорость возрастания лунного движения, оказалась равной 5—6" вместо 10", которые получил Лаплас и которых требовало наблюдение. Необходимость этой поправки вначале оспаривалась крупными специалистами, но впоследствии получила независимое подтверждение от Делонэ и теперь всеми признаётся. Таким образом, скорость Луны подвержена некоторому очень малому возрастанию, которому теория тяготения не находит объяснения. В 1865 г. Делонэ предложил остроумное, хотя и не строго обоснованное объяснение.

Уже Кант заметил, что *приливное трение*, т. е. трение между твёрдой Землёй и океаном, возникающее вследствие приливного движения воды, могло бы замедлять до некоторой степени вращение Земли; но так как это замедление считалось крайне ничтожным и недоступным точному вычислению, то им обыкновенно пренебрегали. Однако в 1853 г. *Вильям Феррель* попытался вычислить его величину, причём указал, что так как период вращения Земли, т. е. сутки, служит основной единицей нашего времясчисления, то уменьшение скорости вращения Земли влечёт за собой удлинение нашей единицы времени и, следовательно, вызывает кажущееся возрастание скорости всех других движений, измеряемых этой единицей. Делонэ независимо пришёл к аналогичным заключениям и показал, что приливное трение способно произ-

¹⁾ В текущем столетии американский астроном *Браун*, основываясь на методах Хилла, построил новую теорию движения Луны и составил (1919) лунные таблицы, значительно превосходящие по точности таблицы Ганзена.

вести как раз такое изменение в движении Луны, какое даёт наблюдением; если принять это объяснение, то наблюденное движение Луны даст меру действия приливного трения. Чрезвычайная малость данных, с которыми здесь приходится иметь дело, явствует из того обстоятельства, что изменения во вращении Земли, равносильного удлинению суток на $\frac{1}{10}$ секунды в 10 000 лет, было бы достаточно для объяснения рассматриваемого ускорения. Кроме того, мы не можем сказать с уверенностью, что обычная оценка величины этого ускорения (отчасти основанная на древних наблюдениях затмений) является непогрешимой, но даже если это и так, рассматриваемое ускорение, может быть, отчасти вызывается каким-нибудь косвенным влиянием тяготения, ещё более тёмным, чем открытое Лапласом, или же иной неизвестной причиной.

288. Многие из вышеперечисленных теоретиков лунного движения сделали добавления и к различным частям планетной теории, но больше всех во времени Лапласа двинул вперёд планетную теорию французский математик *Урбан Жан Жозеф Леверрье* (1811—1877); мы уже упоминали о принадлежащих ему методах нахождения расстояния Солнца (§ 282). Первой важной астрономической его работой (1839) было рассуждение об устойчивости (гл. XI, § 245) системы, образуемой Солнцем и тремя величайшими и отдалённейшими из известных в то время планет — Юпитером, Сатурном и Ураном. Далее, он заново переработал теорию движения Солнца и каждой из главных планет и составил для них таблицы, далеко оставившие за собой все прежние и положенные в основу главных планетных вычислений *Nautical Almanach*'а и многих других астрономических календарей. Леверрье не удалось достигнуть полного согласия между наблюдениями и теорией Меркурия — планеты, всегда доставлявшей астрономам немало хлопот, и он склонен был объяснять разногласия влиянием или одной планеты, обращающейся между Меркурием и Солнцем, или множества малых тел вроде астероидов (§ 294).

Гуго Гюльден (1841—1896) произвёл изыскания более отвлечённого характера, находящиеся в связи с некоторыми новейшими успехами чистой математики. Один из знаменитейших математиков второй половины XIX в., *Анри Пуанкаре*, заинтересовался астрономией и провёл ряд исследований, которые пролили свет на некоторые общие проблемы небесной механики.

289. О замечательном триумфе теории тяготения, об открытии Нептуна, писалось так часто и много, что мы считаем возможным ограничиться самым кратким очерком на эту тему. Вскоре после открытия Урана оказалось (гл. XII, § 253), что планета эта была наблюдаема ещё в 1690 г. и после этого несколько раз, хотя и не под видом планеты.

Когда были сделаны первые попытки тщательного вычисления её орбиты, то оказалось невозможным примирить более или менее удовлетворительным образом древнейшие наблюдения с поздней-

шими, так что, например, в таблицах Буvara (гл. XI, § 247, примечание), обнародованных в 1821 г., древнейшие наблюдения не были приняты в расчёт. Но даже и это сильное средство не устранило затруднений; разногласия между вычисленными и наблюдаемыми положениями снова выступили на сцену и возрастали из года в год. Предлагалось много объяснений, и некоторые астрономы высказывали предположение, что неправильности могут обуславливаться притяжением неизвестной планеты. Первая серьёзная попытка вывести из неправильностей движения Урана положение гипотетического тела сделана была Адамсом сейчас же после приобретения им учёной степени (1843). К октябрю 1845 г. он успел уже вычислить орбиту новой планеты и указать её место, отличавшееся (как мы теперь знаем) менее чем на 2° (четыре поперечника полной Луны) от истинного её положения. Однако целесообразных поисков планеты не было предпринято. Между тем Леверрье произвёл независимо от Адамса такое же точно исследование и 31 августа 1846 г. определил, подобно Адамсу, орбиту и положение возмущающего тела. 23 числа следующего месяца Галле, астроном при Берлинской обсерватории, получил от Леверрье письмо с просьбой поискать планету и в тот же вечер нашёл близко к месту, указанному Леверрье, новое светило, имевшее небольшой планетный диск и оказавшееся новой планетой, получившей название Нептуна.

Надобно заметить, что неравенство в движении Урана, приведшее к этому замечательному открытию, не превосходило $2'$ — величины, незаметной для обыкновенного глаза; так что, если бы на небе находились рядом две звезды, одна на истинном месте Урана, а другая в положении, данном таблицами Буvara, то наблюдатель с обыкновенной силой зрения увидел бы только одну звезду.

Интересно отметить, что новые отклонения Урана от вычисленной орбиты, обнаруженные к концу XIX в. и приведшие к открытию самой удалённой планеты — Плутона (1930 г.), были, по крайней мере, в 20 раз меньше тех, которые позволили Леверрье и Адамсу указать на небе местонахождение Нептуна.

290. Современные лунные, планетные и солнечные таблицы представляют движения этих тел гораздо точнее, чем соответствующие таблицы, основанные на трудах Лапласа, подобно тому как и эти последние в своё время были гораздо точнее таблиц Эйлера, Клеро и Галлея. Но и теперь согласие между теорией и наблюдением не может считаться полным, и разногласия в некоторых случаях оказываются так велики, что их нельзя отнести на счёт неизбежных несовершенств наших наблюдений.

Одним из замечательнейших примеров таких разногласий являются неправильности в движении Меркурия, так как их объяснение, предложенное Леверрье (§ 288), а также некоторыми позднейшими авторами, не получило общего признания. Сделанная в текущем столетии попытка объяснить эти неправильности,

исходя из теории относительности, также не дала определённых результатов.

291. Благодаря открытию нескольких комет, обращающихся вокруг Солнца сравнительно в короткие периоды, вычисление их орбит приобрело в XIX столетии немаловажное значение. Галлеева комета (гл. X, § 231), как и следовало ожидать, появилась в 1835 г., пройдя через перигелий, почти точно в момент, назначенный тремя самостоятельно действовавшими вычислителями (разница была всего лишь в несколько дней); следующее её возвращение произошло в 1910 г. Теперь нам известно ещё восемь комет, обращающихся, подобно галлеевой, по удлинённым эллиптическим орбитам, с периодами около 70 лет; из них четыре уже наблюдались дважды, именно, комета Ольберса в 1815 и 1887 гг., комета Понс-Брукса в 1812 и 1884 гг., комета Вестфалия в 1852 и в 1913 гг. и комета Брорзена в 1850 и в 1919 гг. Почти пятьдесят комет имеют период от $3\frac{1}{2}$ (комета Энке) до 10 лет; из их числа 22 возвращались не менее двух раз. Ещё 26 комет (считая и 9 комет с периодом, близким к 70 годам) имеют периоды меньше 200 лет, а свыше 300 других комет имеют орбиты безусловно эллиптические, но столь сильно вытянутые, что многие из них почти невозможно отличить от парабол. Наконец, около 20 комет, двигаясь по гиперболическим орбитам, навсегда покинуло солнечную систему.

292. Первым важным успехом в теории приливов после издания *Небесной механики* Лапласа была сводка многочисленных наблюдений над приливами и сопоставление их с теоретическими результатами. Пионерами этого предприятия явились Леббок (§ 286), представивший в 1830—1837 гг. ряд статей по этому предмету в Королевское Общество, и *Вильям Уэвелл* (1794—1866), статьи которого вышли между 1833 и 1851 гг. Эри (§ 281), состоявший в то время королевским астрономом, опубликовал в 1845 г. ценный трактат по тому же вопросу, предметом которого было подробное рассмотрение теории приливов в водяных массах ограниченных размеров и специальной формы. Методы, предложенные лордом *Кельвином* (1824—1907) и *Джорджем Дарвином* (1845—1912), значительно подвинули вперёд анализ приливных наблюдений, произведённых в большом количестве во всех частях света. Это дало массу сведений относительно того, каким образом приливы изменяются в зависимости от местности и различных положений Солнца и Луны.

Большое внимание обратил на себя также вопрос об изменениях в самой Земле, аналогичных приливам, какие могли бы вызываться притяжением Луны и Солнца. Так как абсолютно неупругих тел не существует, то рассматриваемые силы могли бы поочерёду производить в Земле некоторые приливные явления. Эту задачу впервые исследовал лорд Кельвин в 1863 г., затем Дарвин и другие. Хотя в настоящее время едва ли можно ожидать вполне

определённых числовых результатов, однако полученные данные уже указывают на сравнительную ничтожность этих приливов и на вытекающую отсюда значительную твёрдость земного шара—результат, представляющий большой интерес в связи с геологическими исследованиями относительно природы внутреннего ядра Земли.

О некоторых умозаключениях, связанных с приливным трением, мы поговорим в другом месте (§ 320).

293. Пуассон и Леверрье со своей стороны подтвердили и расширили положения об устойчивости солнечной системы, выставленные Лагранжем и Лапласом (гл. XI, § 244, 245); на эти выводы нужно смотреть как на абстрактные предложения, выводимые математически из некоторых определённых допущений. Что же касается притязаний упомянутых математиков предсказывать действительное состояние солнечной системы на отдалённые будущие времена, то в настоящее время они представляются гораздо менее основательными, чем прежде.

Те пункты, в которых предположения Лагранжа и Лапласа не подтверждаются действительным состоянием солнечной системы, начинают теперь выясняться под влиянием успехов астрономии и физики.

Для вывода теорем об устойчивости понадобилось предположение, что тела солнечной системы совершенно неупруги; другими словами, движения частей какого-нибудь тела относительно друг друга не принимались в расчёт. Таким образом, были упущены из виду как обыкновенные океанские приливы, так и приливы твёрдого вещества, на существование которых указывают современные исследования. Приливное трение, измеряющееся, правда, в настоящее время крайне ничтожной величиной (§ 287), существенно отличается от возмущений, составляющих главный предмет астрономии тяготения, поскольку действие его необратимо. Теоремы устойчивости показывали, что обыкновенные возмущения порождают влияния, рано или поздно компенсирующие друг друга, так что если какое-нибудь движение теперь ускоряется, то бывает время, когда оно замедляется; но не таково действие приливного трения. Например, приливное взаимодействие между Землёй и Луной постепенно удлиняет сутки и месяц и увеличивает расстояние между этими телами. Солнечное приливное влияние порождает такие же, хотя и меньшие по размерам явления между Землёй и Солнцем. В обоих случаях эффект совершенно ничтожен, но этому процессу не имеется соответствующей компенсации. Таким образом, кинетическая энергия упомянутых тел мало-помалу уменьшается.

294. Очерк современной описательной астрономии всего удобнее будет начать с планетных открытий.

Первый день XIX в. ознаменовался открытием новой планеты, получившей название Цереры. Она была открыта *Джусеппе*

Пиаци (1746—1826) под видом новой звезды в области неба, для которой он составлял карту, и вскоре оказалась планетой, так как довольно быстро изменяла своё положение относительно звёзд. Её орбита (впервые вычисленная Гауссом, § 276) оказалась лежащей в пространстве между Марсом и Юпитером, чрезмерная ширина которого ещё со времени Кеплера представлялась ненормальным явлением. Таким образом, открытие планеты в этой области не явилось большой неожиданностью; но открытие *Геррихом Ольберсом* (1758—1840) в марте 1802 г. второго тела (Паллады), обращающегося почти на таком же расстоянии от Солнца, было совсем неожиданно и обнаружило совершенно новый порядок распределения планет. Весьма естественно было предположить, что если нашлось место для двух планет, то найдётся и для большего числа, и действительно вскоре последовало ещё два новых открытия (Юнона в 1804, Веста в 1807 г.).

Новые планеты оказались гораздо меньше всех других планет, не говоря уже о том, что они не имели планетных дисков, подобно их соседям Марсу и Юпитеру; их даже трудно было отличить от неподвижных звёзд, разве что в самые могущественные телескопы того времени; для отличия от других планет их стали называть *астероидами* (название, предложенное Вильямом Гершелем) или *малыми планетами*. Гершель пытался измерить их величину и определил диаметр крупнейшей из них почти в 320 км (диаметр Меркурия, наименьшей из больших планет, равен 5 140 км), но эта задача в действительности оказалась не по силам даже самым могучим методам тогдашнего наблюдения. Характерной для малых планет особенностью является значительное наклонение и эксцентриситет некоторых орбит; орбита Паллады, например, составляет с эклиптической угол в 35° , а эксцентриситет её равен $\frac{1}{4}$, так что наименьшее её удаление от Солнца лишь немного превышает половину наибольшего расстояния. Эти особенности навели Ольберса на мысль, что малые планеты представляют собой обломки первоначальной планеты средних размеров, некогда разлетевшейся в куски, и его теория, отвечавшая большей части известных в то время фактов, была с энтузиазмом принята в тот век, когда «катастрофы» считались самым модным из научных объяснений.

В течение сорока лет известно было только четыре вышеупомянутые планеты; пятая была открыта в 1845 г. *Карлом Людвигом Генке* (1793—1866) после 15-летних поисков. Ещё две открыты были в 1847 г., ещё одна в 1848 г., и с тех пор число их непрерывно увеличивалось. Процедура открытия их значительно упростилась с усовершенствованием звёздных карт, а позже с введением фотографии. В этом последнем методе, впервые применённом *Максом Вольфом* (Гейдельберг) в 1891 г., фотографическая пластинка экспонируется несколько часов; планета, находящаяся в фотографируемой области неба, за эти несколько часов успе-

вает ощутительно передвинуться по отношению к звёздам и узнаётся по светлomu следу или полоске, оставляемой её изображением на пластинке. Прилагаемый фотоснимок (рис. 85)

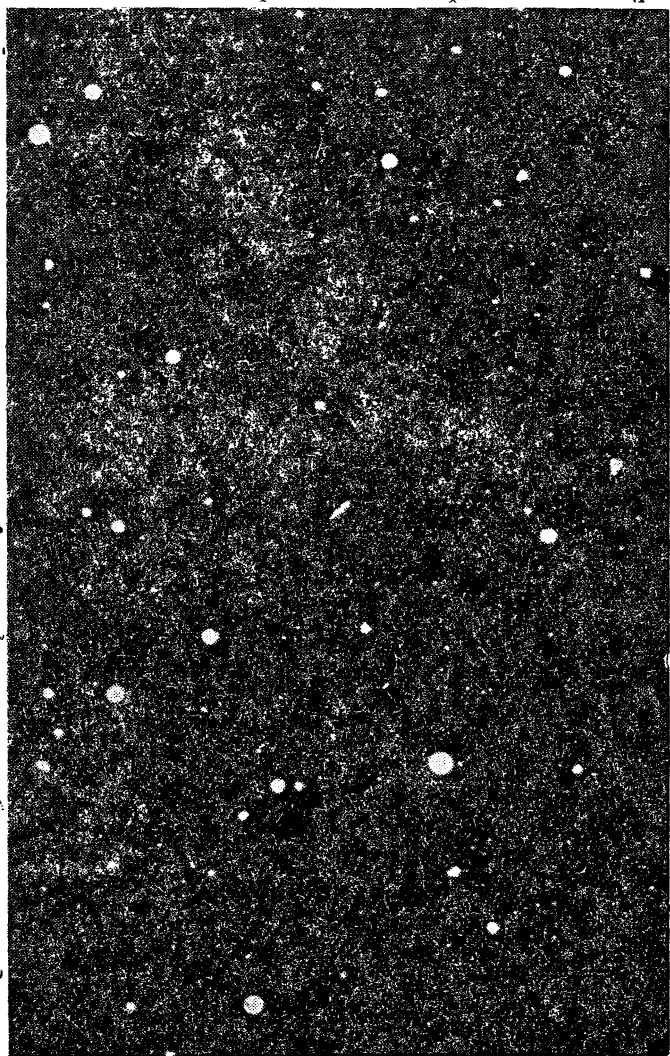


Рис. 85. Фотографический след малой планеты.

показывает (близ центра) след малой планеты Свей, открытой Вольфом 21 марта 1892 г.

К концу XIX в. известно было 460 малых планет, из которых 92 были открыты только одним наблюдателем, *Шарлуа* из Ниццы,

и 83—*Пализа* из Вены. В настоящее время всего открыто свыше 1 500 малых планет; из этого числа—свыше 100 на Симеизской обсерватории (Крым).

Орбиты малых планет занимают пространство между орбитами Марса и Юпитера, хотя некоторые из них выходят за границы этой области; одна (Гидальго), движущаяся по сильно вытянутой орбите, в афелии почти достигает орбиты Сатурна, а 8 малых планет заходят внутрь орбиты Марса. Больше всего наклонена к плоскости эклиптики орбита Гидальго (под углом в 43°), имеющая в то же время и наибольший эксцентриситет (почти $\frac{2}{3}$),

и наибольшую большую полуось (в 5,7 раза больше большой полуоси земной орбиты).

Рис. 86 изображает орбиту первой по времени открытия из малых планет, Цереры, а также орбиты Гидальго и Эроса. Последняя малая планета (Эрос), наиболее яркая из тех, которые заходят внутрь орбиты Марса, сыграла исключительно важную роль в определении точного значения солнечного параллакса (см. § 281). Все орбиты описываются планетами в прямом направлении, т. е. против хода часовой стрелки (см. § 245). Наиболее характерной особенностью в распределении малых планет,

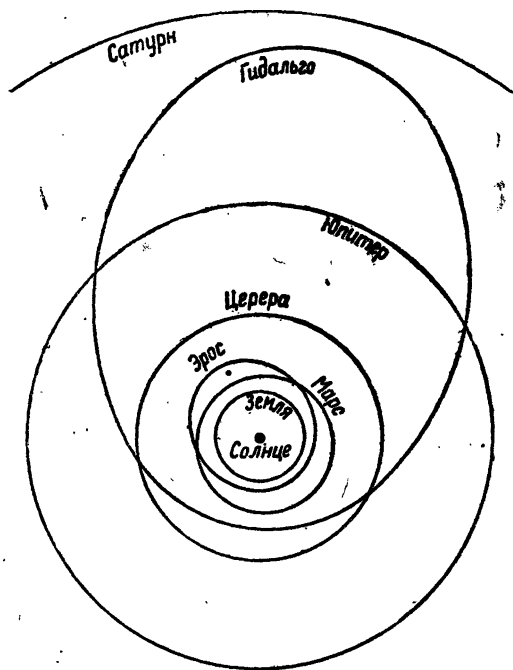


Рис. 86. Орбиты малых планет.

впервые подмеченной в 1866 г. *Даниилом Кирквудом* (1815—1895), является существование сравнительно пустых пространств в тех местах, где возмущающее действие Юпитера проявляется, по принципу Лагранжа (гл. XI, § 243), всего сильнее: например, на расстоянии, составляющем около пяти восьмых расстояния Юпитера от Солнца, планета обращалась бы по закону Кеплера ровно вдвое быстрее Юпитера; приблизительно на таком расстоянии между малыми планетами замечается пробел:

Оценки размеров и масс малых планет и теперь ещё носят весьма гадательный характер. Первые из более или менее надёжных прямых измерений их дисков принадлежат Э. Барнард

и произведены на Ликской обсерватории в 1894 и 1895 гг.; из них явствует, что три крупнейшие из малых планет, Церера, Паллада и Веста, обладают диаметрами в 800, 480 и 400 км соответственно. Величина их сравнительно с Луной показана на диаграмме (рис. 87). Единственный метод, применимый для определения диаметров малых планет (если не считать немногих крупнейших астероидов), заключается в измерении количества получаемого от них света, откуда выводятся размеры, в предположении, что отражательная способность их одинакова с отражательной способностью какой-нибудь известной планеты. Этот метод даёт для полутора астероидов диаметры свыше 80 км, а для самых мелких—около 1 км. Большинство же из открытых астероидов имеет диаметры от 20 до 40 км.

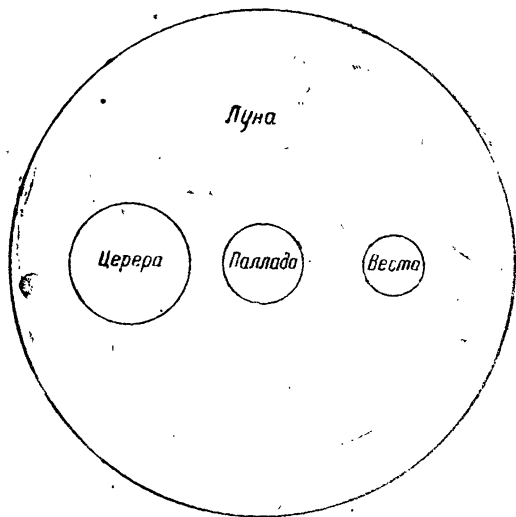


Рис. 87. Сравнительная величина трёх малых планет и Луны.

Из возмущений Марса Леверрье вычислил, что общая масса всех известных или неизвестных тел, обращающихся между Марсом и Юпитером, не может превосходить четвертой доли массы Земли; но наши сведения о размерах малых планет, какие мы можем почерпнуть из световых измерений, показывают, что вся масса известных в настоящее время астероидов во много сотен раз меньше этого предела.

295. Нептун и астероиды—единственные планеты, открытые в XIX столетии, но кроме них присоединено было к нашей системе ещё и несколько спутников.

Не прошло и двух недель после открытия Нептуна (1846), как уже найден был и его спутник *Вильямом Ласселем* (1799—1880) в Ливерпуле. Подобно спутникам Урана, он обращается вокруг своей планеты по ходу часовой стрелки, т. е. в направлении, обратном направлению движения большинства тел солнечной системы.

Два года спустя (16 сентября 1848) *Вильям Крэнч Бонд* (1789—1859) открыл на обсерватории Гарвардского Колледжа восьмого спутника Сатурна, названного Гиперионом, который неза-

васимо от того был замечен Ласселем только двумя днями позже¹⁾. В следующем году Бонд заметил, что Сатурн окружён третьим, так называемым *тёмным* или *флёровым кольцом*, лежащим непосредственно внутри светлых колец (рис. 92, стр. 328); такое же открытие было независимо сделано две недели спустя *Вильямом Реттером Даусом* (1799—1868) в Англии. Лассель открыл в 1851 г.

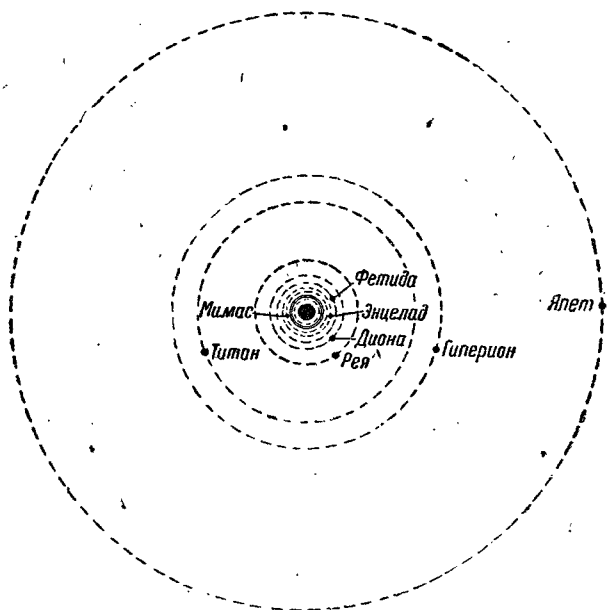


Рис. 88. Сатурн и его система.

двух новых спутников Урана, доведя общее число их до четырёх. Затем последовало открытие двух спутников Марса—Деймоса и Фобоса (рис. 89), сделанное *Асафом Холлом* из Вашингтона 11 и 17 августа 1877 г. Они замечательны своей близостью к планете и крайне быстрым движением; внутренний спутник обращается быстрее, чем Марс вращается на оси, так что для марсиан он восходит на западе и заходит на востоке. Наконец, система Юпитера (рис. 90), спустя три века после её открытия, обогатилась крайне слабым пятым спутником²⁾, открытым на Ликской обсерватории

¹⁾ В 1898 г. астроном Пикеринг, исследуя фотографические снимки, открыл девятого спутника Сатурна, названного Фебой, имеющего обратное (по ходу часовой стрелки) движение и отстоящего от планеты приблизительно в $3\frac{1}{2}$ раза дальше Япета (см. рис. 88).

²⁾ С тех пор у Юпитера открыто ещё шесть новых спутников, из которых ближайший движется в шесть раз дальше от Юпитера, чем самый далёкий из галилеевских спутников. Три наиболее удалённых спутника Юпитера движутся по своим орбитам в так называемом обратном направлении, т. е. по ходу часовой стрелки.

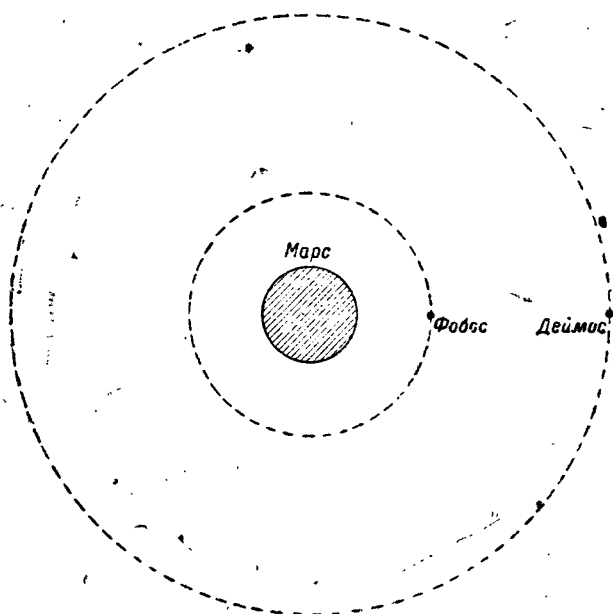


Рис. 89. Марс и его спутники.

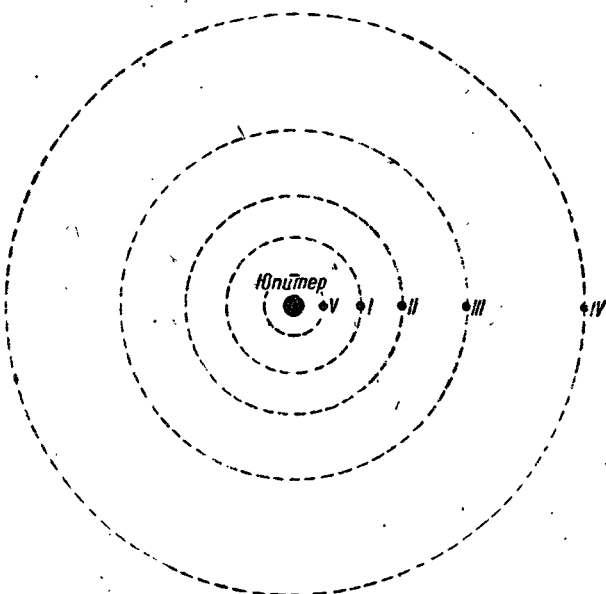


Рис. 90. Юпитер и его спутники.

Барнардом 9 сентября 1892 г.; этот спутник гораздо ближе к Юпитеру, чем ближайший из открытых Галилеем (гл. VI, § 121).

296. Целая армия наблюдателей с величайшей тщательностью занималась изучением поверхностей различных планет и их спутников, но значительная часть этих наблюдений осталась без удовлетворительного разъяснения, и потому об устройстве и физических условиях вышеназванных тел мы и до сих пор знаем очень мало.

Само собой разумеется, астрономы лучше всего знакомы с поверхностью нашего ближайшего соседа, Луны. Видимая её половина самым старательным образом нанесена на карту, высоты главных горных хребтов измерены при помощи отбрасываемых ими теней. Современные знания значительно рассеяли воззрение, поддерживавшееся первыми наблюдателями и отчасти разделявшееся даже Гершелем, именно, что Луна сильно походит на Землю и пригодна для обитателей, подобных нам. Тёмные пространства, с самого начала принятые за моря и поныне ещё удерживающие это название, представляют собой равнины, а кратеры, которыми усеяна поверхность Луны, не имеют, повидимому, ничего общего с кратерами земных вулканов, а возможно обязаны своим происхождением падению на Луну крупных метеоритов (рис. 91). Длинные тёмные полосы, называемые трещинами и первоначально принимавшиеся за русла рек, безусловно не содержат в себе влаги. Несколько труднее вопрос о лунной атмосфере: если там и есть воздух, то плотность его должна быть крайне ничтожна; он должен быть во много сотен раз разреженнее, чем наша атмосфера у поверхности Земли.

297. Марс, будучи ближайшей из верхних планет, находится в наиболее благоприятных условиях для наблюдения. Главные детали его поверхности, долгое время принимавшиеся за сушу и воду, носят постоянный характер, и потому их легко изучать; было составлено довольно много карт, сносно изображающих поверхность Марса, а из наблюдений над некоторыми разительными её особенностями определено время вращения планеты с точностью до дробных долей секунды. В эпоху противостояния 1877 г. Скиапарелли (Милан) открыл на диске Марса тёмные линии, так называемые каналы.

Наблюдения, произведённые во время следующих противостояний Марса различными наблюдателями, первоначально подтвердили открытие Скиапарелли, что привело к созданию заманчивой гипотезы о существовании на Марсе жителей, владеющих высоко-развитой техникой, позволяющей им строить оросительные сооружения гигантских размеров (Лоуэлл и др.). Однако в дальнейшем, когда Марс стали наблюдать в величайшие из современных телескопов, выяснилось, что Скиапарелли и другие наблюдатели, «видевшие правильную геометрическую сеть» каналов Марса, были жертвами оптического обмана, обусловленного дефектами чело-

веческого зрения и недостаточной силой применявшихся для наблюдений телескопов. В наиболее могущественные современные телескопы каналы Марса, наблюдавшиеся Скиапарелли, распадаются на ряд более мелких деталей, обычно неправильной формы.



Рис. 91. Апеннины и смежные области Луны; С фотографии Парижской обсерватории.

При недостаточно хороших изображениях эти детали сливаются и представляются человеческому глазу в виде прямой чёрточки.

С другой стороны, большинство современных наблюдателей Марса сходится на том, что окраска его поверхности заметно изменяется в связи со сменой времён года (конечно, на Марсе)—весной и летом Марс несколько зеленее, чем осенью и зимой. Основываясь на этом факте, а также на том, что Марс по своим физическим свойствам близок к Земле, можно утверждать, что вероятность существования жизни на Марсе чрезвычайно велика.

Видимые поверхности Юпитера и Сатурна, надо думать, представляют собой слои облаков. Детали на дисках обеих планет носят характер, достаточно определённый для того, чтобы можно было вычислить с значительной точностью периоды их вращения;

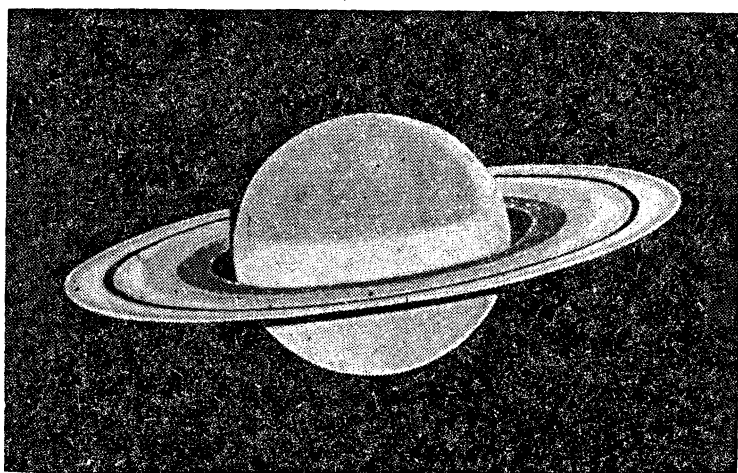


Рис. 92. Сатурн с кольцом. С рисунка Барнарда.

надо, впрочем, заметить, что у Юпитера, а, может быть, и у Сатурна, различные части поверхности, подобно солнечной (§ 298), движутся с неодинаковыми скоростями.

Лаплас показал, что кольцо (или кольца) Сатурна (рис. 92) не может представлять собой однородного твёрдого тела, как это кажется на первый взгляд; не вдаваясь в подробные исследования, он сделал поспешный вывод, что оно может представлять собой твёрдое тело неправильного строения. Первый важный шаг вперёд в теории кольца сделан был *Джемсом Кларком Максвеллом* (1831—1879), учёным, более всего известным в области электричества и других отделов физики. Максвелл показал (в 1857 г.), что кольца не могут быть ни непрерывно твёрдыми, ни жидкими телами, но что согласно всем наличным динамическим условиям они должны состоять из бесчисленного множества крохотных

твёрдых тел, самостоятельно обращающихся вокруг Сатурна ¹⁾). Эта теория, построенная на математических основаниях, была блестяще подтверждена спектроскопическими наблюдениями.

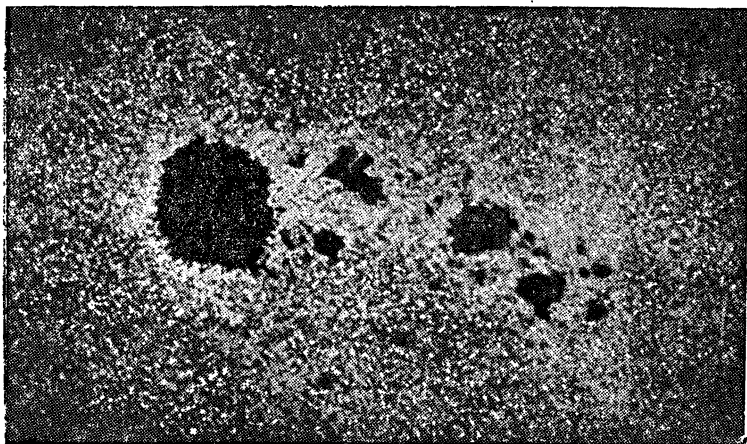
Измерения положения линий в спектре кольца, произведённые в 1895 г. американским астрономом *Килером*, показали (на основе принципа Доплера, подобно тому, как это было сделано в отношении изучения вращения Солнца, см. § 302), что внутренние части кольца Сатурна обращаются вокруг планеты с большей линейной скоростью, чем внешние. При этом соотношение скоростей оказалось очень близким к тому, которое должно было бы получиться, если бы отдельные части кольца обращались вокруг Сатурна независимо друг от друга, подчиняясь законам Кеплера. Результаты, полученные Килером, в дальнейшем были подтверждены другими наблюдателями, в том числе выдающимся русским астрофизиком *А. А. Белопольским* (1854—1934). Таким образом, кольца по отношению к Сатурну играют приблизительно такую же роль, как малые планеты относительно Солнца; в 1867 г. Кирквуд показал, что кассиниево деление между двумя главными кольцами можно объяснить как результат возмущений, вызванных какими-нибудь из спутников, точно так же, как соответствующий пробел в области малых планет может быть объяснён влиянием Юпитера (§ 294).

Громадное расстояние Урана и Нептуна, естественно, затрудняет изучение их поверхности, и мы очень мало знаем о внешнем виде или строении этих планет; даже определение периодов их вращения было сопряжено с большими трудностями.

Меркурий и Венера, в качестве нижних планет, никогда не удаляются от Солнца на большое угловое расстояние, и потому их чрезвычайно трудно наблюдать более или менее удовлетворительным образом. На их поверхностях замечены разнообразные тёмные и светлые пятна, но различные наблюдатели разное их описывают. Период вращения Венеры оценивается весьма гадательно, так как непосредственные наблюдения её поверхности не дали ничего определённого (пятна на Венере принадлежат облакам и имеют неопределённую, размытую и изменяющуюся форму), а спектроскопический метод оказывается, повидимому, недостаточно чувствительным вследствие медленного вращения планеты. Что же касается Меркурия, то Скиапарелли установил в 1882 г., что период его вращения вокруг оси равен времени его обращения вокруг Солнца, так что эта планета постоянно обращена к Солнцу одной и той же стороной. Подобное движение (аналогичное обращению Луны вокруг Земли и Япета вокруг Сатурна, гл. XII, § 267) легко могло бы быть объяснено как результат приливного влияния в отдалённые прошедшие времена, когда планеты находились в полужидком состоянии.

¹⁾ Эта мысль приходила в голову и некоторым прежним исследователям.

298. Телескопическое изучение поверхности Солнца в течение XIX в. увенчалось накоплением огромной массы сведений насчёт различных особенностей солнечного диска. Самые интересные результаты общего характера касаются распределения и периодичности солнечных пятен. Уже первые наблюдатели заметили, что количество пятен, видимых на Солнце, меняется от времени до времени, но только в 1851 г. установлена была закономерность этих колебаний, когда любитель астрономии *Генрих Шеаб* из Дессау (1789—1875) напечатал в *Космосе* Гумбольдта результаты своих двадцатипятилетних наблюдений над солнечными пятнами, из которых видно было, что число солнечных пятен довольно пра-



[Рис. 93. Группа солнечных пятен. С фотографии, снятой Жансеном в Медоне 1 апреля 1894 г.]

вильно возрастает и уменьшается в течение десятилетнего промежутка времени.

Прежние записи и последующие наблюдения подтвердили этот общий результат; в настоящее время период оценивается в 11 с небольшим лет, хотя он подвержен значительным колебаниям. Год спустя (1852) три независимых исследователя: *Эдуард Сабин* (1788—1883) в Англии, *Рудольф Вольф* (1816—1893) и *Альфред Готье* (1793—1881) в Швейцарии обратили внимание на замечательное соответствие между периодическими изменениями солнечных пятен и земными магнитными явлениями. Кроме того, что их периоды одинаковы, неизменно случается так, что в эпохи особенной многочисленности солнечных пятен на Земле разражаются сильнейшие магнитные бури и возмущения; равным образом совпадают и периоды ослабления этих двух категорий явлений. Эта совершенно неожиданная связь подтверждается многократными случаями совпадения сильных магнитных возмущений с

одновременными быстрыми изменениями на солнечной поверхности.

Длинный ряд наблюдений над положениями пятен на Солнце, предпринятый *Ричардом Христопором Кэррингтоном* (1826—1875), привёл к первому точному установлению неравенства скоростей вращения различных частей солнечной поверхности; для экватора установлен (1859) период в 25 дней, а для средней широты между экватором и полюсами на двое с половиной суток больше. На широте же 75° , как это впервые удалось установить в 1889 г. спектроскопическими наблюдениями (§ 302), период вращения Солнца вокруг оси достигает 33 дней. Кроме этого пятна обнаружили ещё самостоятельные «собственные движения». Кэррингтон констатировал (1858) скудость пятен в непосредственном соседстве с экватором и подтвердил статистически их преобладание в смежных областях и крайнюю малочисленность в широтах выше 35° ; далее он подметил некоторые правильные перемены в распределении пятен на протяжении 11-летнего цикла.

299. Спектральный анализ, сыгравший столь видную роль в астрономической науке последних лет, можно определить как метод исследования химического состава и физического состояния тела путём разложения получаемого от него света на составные лучи.

Ньютон (гл. IX, § 168) первый установил в 1665—1666 гг., что обыкновенный белый свет, например, солнечный, есть не простой, а сложный, и что солнечный луч, пропущенный с необходимыми предосторожностями через стеклянную призму, разлагается на различные цвета; если разложенный таким образом пучок света принять на экран, то получится цветная полоса, так называемый *спектр*, ограниченный с одного конца красным, а с другого фиолетовым цветами.

По современным теориям, свет представляет собой ряд волн, передающихся от светящего объекта к глазу; среда, в которой распространяются волны, называется *эфиром*. Важнейшим признаком отличия одного цвета от другого является время одного колебания, или расстояние между одной волной и следующей, обыкновенно называемое *длиной волны*. Различиями в длине волн обуславливается разнообразие цветов, так что определённой волне соответствует определённая часть спектра, соответствует волна определённой длины. У фиолетового конца спектра длина волны составляет около $0,4$ микрона¹⁾, красная же волна почти вдвое длиннее; зная скорость света, можно вычислить (§ 283), что когда мы смотрим на красный конец спектра, то наш глаз получает в секунду около 400 миллиардов волн, и вдвое больше этого числа, когда мы смотрим на фиолетовый. Таким образом, опыт Ньютона показывает, что призма сортирует сложный луч света по длинам

¹⁾ Микрон равен $0,001$ мм.

волн, соответствующих различным цветам. Тот же результат достигается и при помощи *диффракционной решётки*, обладающей многими преимуществами перед призмой. Вообще же для получения возможно более чистого и широкого спектра необходимо пропускать свет через узкую щель и пользоваться комбинацией линз с одной или несколькими призмами либо решётками; для этого употребляется аппарат, в котором спектр наблюдается не на экране, но непосредственно глазом или же фотографируется. Этот прибор называется *спектроскопом*, в случае наблюдения спектра глазом, и *спектрографом*, в случае фотографирования спектра.

Солнечный спектр представлялся Ньютону непрерывной лентой цветов, но в 1802 г. *Вильям Гайд Воластон* (1766—1828) заметил несколько тёмных линий, пересекающих спектр; он увидел в них границы естественных цветов. Несколько лет спустя (1814—1815) знаменитый мюнхенский оптик *Иосиф Фраунгофер*

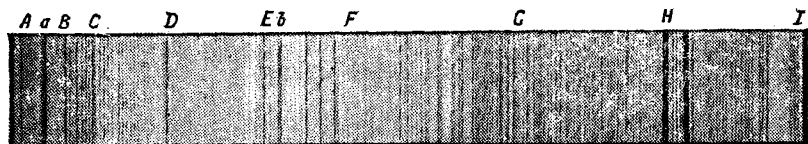


Рис. 94. Фраунгоферова карта солнечного спектра (красный конец спектра слева, фиолетовый справа).

(1787—1826) гораздо тщательнее исследовал солнечный спектр и открыл около 600 тёмных линий, из которых 324 занёс на карту (рис. 94). Эти тёмные линии получили название *фраунгоферовых линий*; для более удобного распознавания он обозначил самые заметные из них буквами алфавита, остальные же распознавались по длине их волн.

Постепенно обнаруживалось, что тёмные полосы можно вызывать в спектре искусственным путём, пропуская световой луч через различно окрашенные вещества, и что, с другой стороны, некоторые спектры пересечены различными светлыми линиями.

К объяснению и установлению какой-нибудь связи между этими различными наблюдениями делалось немало попыток, но первое удовлетворительное и довольно полное объяснение дано было в 1859 г. *Густавом Робертом Кирхгофом* (1824—1887) из Гейдельберга, сперва работавшим в сотрудничестве с химиком *Бунзеном*.

Кирхгоф показал, что светящееся твёрдое или жидкое (или, как мы теперь знаем, сильно ионизованное¹⁾ газообразное) тело

¹⁾ Ионизованный газ состоит из атомов, потерявших по крайней мере один электрон. Такой атом имеет положительный электрический заряд. При сильной ионизации атомы теряют несколько электронов, причём их заряд соответственно увеличивается.

даёт непрерывный спектр, тогда как вещества, находящиеся в газообразном состоянии, дают спектр, состоящий из светлых линий (на слабом непрерывном спектре или без него), и эти светлые линии зависят от рода вещества и его характерных особенностей. Следовательно, о присутствии в данном раскалённом теле какого-нибудь вещества в газообразной форме можно судить по наличию его характерных линий в спектре.

Тёмные линии солнечного спектра объясняются из основного принципа, часто называемого законом Кирхгофа, именно, что способность тела задерживать или поглощать волны данной длины прямо пропорциональна его способности испускать, при подобных же условиях, те же самые лучи; короче говоря, поглощательная способность тела прямо пропорциональна его лучеиспускательной способности. Если, например, свет раскалённого твёрдого или жидкого тела проходит через газ, то газ поглощает те лучи, которые сам способен испускать; если он испускает их больше, чем поглощает, то в спектре появляются соответствующие светлые линии; если же он поглощает их больше, чем сам испускает, то этот недостаток волн известной длины сказывается присутствием в спектре соответственных тёмных линий, т. е. спектр перерезывается тёмными линиями в тех самых местах, в которых должны бы приходиться светлые линии спектра газа. Больше ли, меньше ли газ поглощает лучей, чем испускает, зависит от его температуры, так что если свет раскалённой жидкости или твёрдого тела проходит через газ, обладающий более высокой температурой, то в спектре появятся светлые линии; если же температура газа ниже температуры раскалённого тела, то в спектре видны будут тёмные линии.

300. Присутствие фразунгоферовых линий в солнечном спектре показывает, что солнечный свет исходит из раскалённого твёрдого или жидкого тела (или сильно ионизованного газа) и по пути проходит через менее раскалённые газы, поглощающие световые волны, соответствующие тёмным линиям. Эти газы должны находиться или вокруг Солнца, или в нашей атмосфере; и нетрудно показать, что хотя некоторые из фразунгоферовых линий принадлежат нашей атмосфере, огромное большинство не имеет такого происхождения и, следовательно, вызвано газами солнечной атмосферы.

Например, раскалённые пары металла натрия дают спектр, характеризующийся двумя почти совпадающими светлыми линиями в жёлтой части спектра; положение их соответствует паре тёмных линий (*I*) солнечного спектра (рис. 94); отсюда Кирхгоф заключил, что солнечная атмосфера содержит натрий. Из сравнения тёмных линий солнечного спектра с светлыми линиями спектров металлов и других веществ можно, таким образом, удостоверить в их существовании в солнечной атмосфере. Для железа, обладающего чрезвычайно сложным спектром, Кирхгофу

удалось констатировать совпадение 60 линий (с тех пор их найдено больше 5 000) с тёмными линиями солнечного спектра. Таким же путём Кирхгоф убедился в присутствии на Солнце ещё около полудюжины земных элементов.

Так положено было начало изучению химического состава Солнца, за которое с усердием ухватились многие исследователи. Усовершенствованные методы и возрастающая тщательность наблюдений повели к составлению множества снимков и зарисовок солнечного спектра, начиная с карты Кирхгофа, напечатанной в 1861—1862 гг.; сложность и точность спектральных карт непрерывно возрастает с каждым днём. Сильно расширилось наше знакомство со спектрами металлов. В настоящее время на Солнце доказано присутствие 50—60 элементов, из которых наибольший интерес представляют, кроме вышеупомянутых, водород, кислород, гелий, кальций, магний и углерод.

Первые спектроскопические исследования Солнца касались анализа солнечного света в целом, но вскоре оказалось, что если направлять изображение Солнца в щель спектроскопа с помощью телескопа, то можно получить спектр какой-нибудь отдельной части солнечной поверхности, например, пятна или факела; такого рода наблюдений было произведено огромное количество.

301. Наблюдения над полными солнечными затмениями показали, что яркая поверхность, которую мы обыкновенно наблюдаем, не есть граница Солнца, но что за ней ещё находится какая-то оболочка, слишком бледная, чтобы её можно было видеть при обыкновенных условиях, но явственно видимая в моменты, когда ослепительный диск Солнца заслоняется Луной. О белом сиянии, широко окружающем затмившееся Солнце и ныне носящем название *короны* (рис. 95), упоминает Плутарх и довольно пространно Кеплер (гл. VII, § 145). Некоторые астрономы XVIII в. замечали красную полосу, простиравшуюся за общий край Солнца и Луны, и красные пятна или облачка, рассеянные там и сям (гл. X, § 205). Но до полного солнечного затмения 1842 г. на эти явления обращалось мало внимания. Сделанные тогда и во время затмений 1851 и 1860 гг. наблюдения (во время второго из этих затмений впервые с успехом применена была фотография) с очевидностью показали, что красная полоса принадлежит сплошной оболочке, окружающей Солнце и получившей название *хромосферы*, и что красные образования, обыкновенно называемые *выступами* или *протуберанцами*, представляют собой выдающиеся части или языки хромосферы, иногда от неё отрывающиеся. Во время затмения 1868 г. получен был спектр выступов и хромосферы; он состоял из светлых линий, откуда следовало, что он принадлежит газообразному веществу. Вслед за тем *Жансен*, в числе прочих наблюдавший затмение, и *Норман Локьер* независимо друг от друга придумали способ, позволявший наблюдать спектры выступов у солнечного края во всякое время, не дожидаясь солнечного

затмения; в следующем году (1869) этот метод был видоизменён *Вильямом Гэггинсом* таким образом, что получилась возможность наблюдать спектроскопически самую форму выступа. В 1892 г. *Хэлу* из Чикаго удалось получить с помощью фотографии полное изображение хромосферы и выступов; этот метод даёт также воз-

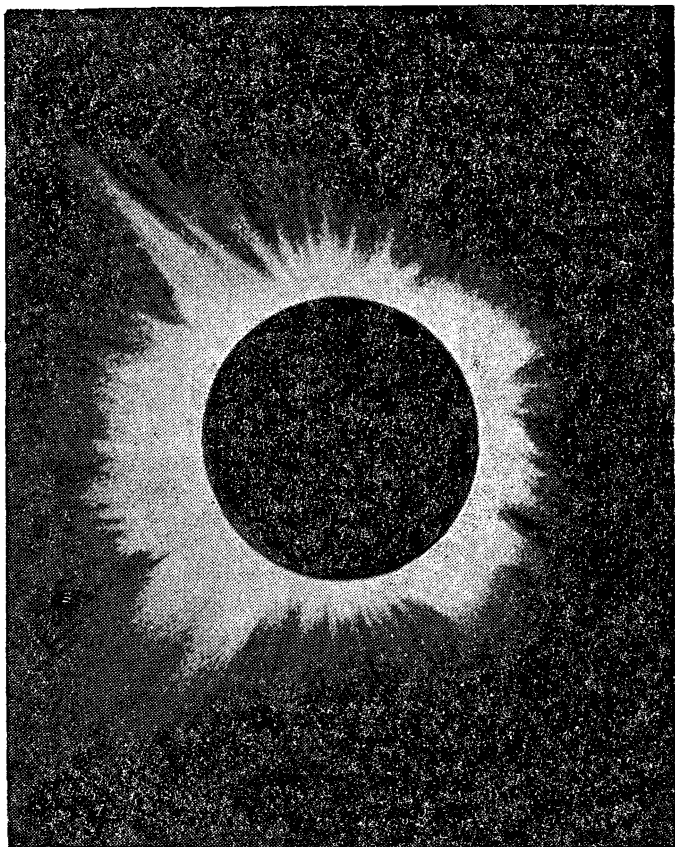


Рис. 95. Полное затмение Солнца 29 августа 1886 г. С рисунка, сделанного по фотографиям Шустера и Майдерса.

можность получать фотографии факелов (гл. VIII, § 153) на видимой поверхности Солнца.

Важнейшими из линий спектра хромосферы являются линии водорода, две линии (*H* и *K*), принадлежащие ионизованному кальцию, и жёлтая линия, принадлежащая *гелию*, только в 1895 г. открытому на Земле, но значительно раньше обнаруженному на Солнце по своим линиям в спектре хромосферы (во время затмения 1868 года). Однако хромосфера в то время, когда она сильно воз-

мушена, а также и многие выступы дают спектр, содержащий и некоторые другие линии.

Корону первое время считали оптической иллюзией, получающейся благодаря атмосферному влиянию. На её действительную принадлежность к Солнцу указали впервые в 1869 г. американские астрономы, *Гаркнес* и *Юнг*, открывшие в её спектре светлую зелёную линию неизвестного происхождения. Дальнейшие спектроскопические исследования показали, что корона обладает также сплошным спектром.

В последние 30 лет прошлого столетия корона тщательно наблюдалась при каждом солнечном затмении как спектроскопом, так и при помощи телескопа, снабжённого фотографической камерой. Подобные же наблюдения производятся астрономами и по настоящее время во время всех полных затмений Солнца; однако и до сих пор не существует общепризнанной теории строения солнечной короны. Можно, впрочем, утверждать, что она состоит из чрезвычайно разреженного газа. Непрерывный спектр короны показывает всего скорее на присутствие в ней не мелких твёрдых телец, как это думали долгое время, а свободных электронов, рассеивающих солнечный свет.

302. Спектроскоп может приносить сведения и о некоторых движениях, происходящих на Солнце. В 1842 г. *Христиан Допплер* (1803—1853) высказал, правда, в несовершенной и отчасти ошибочной форме, мысль, что когда светящееся тело перемещается относительно наблюдателя, то световые волны как бы догоняют одна другую и достигают глаза через более короткие промежутки, чем когда тело находится в покое, и потому изменяется самый характер светового луча. И окраска, и положение спектральных линий зависят от промежутка между одной волной и следующей за ней так, что если тело, испускающее световые волны определённой длины, например, голубые лучи, соответствующие водородной спектральной линии *F*, быстро приближается к наблюдателю, то эта линия слегка уклоняется от своего обычного положения, перемещаясь к фиолетовому концу; если же тело удаляется, то линия смещается к красному концу спектра. Таков *принцип Допплера*. Величину подобного смещения можно выразить численно. Если, например, тело приближается со скоростью, составляющей $1/1000$ скорости света, то в глаз или спектроскоп входит 1 001 волна, тогда как при обыкновенных условиях, когда тело неподвижно, их вошло бы только 1 000; таким образом, волна как бы укорачивается в отношении 1 000 к 1 001. Значит, если окажется, что спектральная линия данного тела уклонилась от своего нормального положения на величину, соответствующую укорочению волны на $1/1000$ часть, то можно заключить, что тело приближается к нам с вышеуказанной скоростью, около 300 км в секунду, а если длина волны возросла на такую же величину (причём линия перемещается к красному концу

спектра), то это значит, что тело удаляется от нас с той же скоростью¹⁾.

Самые ранние наблюдения выступов, принадлежащие Локьеру (1868), а также наблюдения его и других астрономов над пятнами и другими особенностями солнечной поверхности обнаружили смещения и искривления спектральных линий, которые вскоре оказалось возможным объяснить на основе того же принципа; они указывали на существование грандиозных возмущений в атмосфере Солнца, на взрывы, совершающиеся со скоростями, иногда достигающими 500 км в секунду. Правильность этого метода получила интересное подтверждение в наблюдениях спектра противоположных краёв солнечного диска, из которых один приближался, а другой удалялся вследствие вращения Солнца. С помощью такого процесса Дунер в Упсале измерил (1887—1889) скорость вращения солнечной поверхности за пределами зоны, в которой попадают солнечные пятна, и, следовательно, за пределами доступных Кэррингтону наблюдений (§ 298).

303. Спектроскоп говорит нам, что солнечная атмосфера содержит в себе железо и другие металлы в раскалённом парообразном состоянии; фотосфера, дающая непрерывную часть солнечного спектра, должна обладать ещё более высокой температурой. Кроме того, всё, что мы знаем о способах, какими теплота передается от одной части тела к другой, показывает, что внешние области Солнца, излучающие массу света и тепла, должны быть самыми холодными частями его и что по направлению к центру температура очень быстро возрастает. Эти факты в связи с малой плотностью Солнца (около одной четвертой плотности Земли) и крайне беспокойным состоянием его поверхности показывают, что внутреннее ядро Солнца представляет собой необычайно раскалённую массу газа, находящегося под страшным давлением. Далее идёт *фотосфера*, за нею *обращающий слой*, дающий большую часть фраунгоферовых линий, затем хромосфера и выступы и, наконец, корона. Солнечные пятна, факелы и выступы объяснялись различными способами как соединённый результат разнообразных солнечных возмущений; но все, даже наиболее современные теории объясняют лишь часть наблюдаемых фактов и не пользуются общим признанием среди астрономов.

304. В XIX в. открыто было более 200 комет; движения большинства из них подвергались наблюдениям, на основании которых были вычислены орбиты (§ 291); в огромном большинстве случаев внешний вид и строение комет исследовались телескопически, а позднее пришли на помощь спектральный анализ и фотография.

¹⁾ В 1900 г. А. А. Белопольский в Пулкове дал блестящее экспериментальное подтверждение принципа Доплера с помощью сконструированного им прибора, состоящего из систем двух вращающихся с большой скоростью зеркал.

Различные исследования показали крайне непостоянный характер кометы кроме, быть может, яркой центральной части или ядра, почти всегда имеющегося налицо. Кометы неоднократно, как например, в 1767 г. (гл. XI, § 248), проходили поблизости некоторых членов солнечной системы, но никогда не оказывали на их движения сколько-нибудь заметного влияния. Масса кометы поэтому очень мала, но, с другой стороны, её размеры, или объём обыкновенно бывают очень велики—хвост может простираться на многие миллионы километров в длину; плотность его, таким образом, должна быть крайне ничтожна. Далее, звёзды были

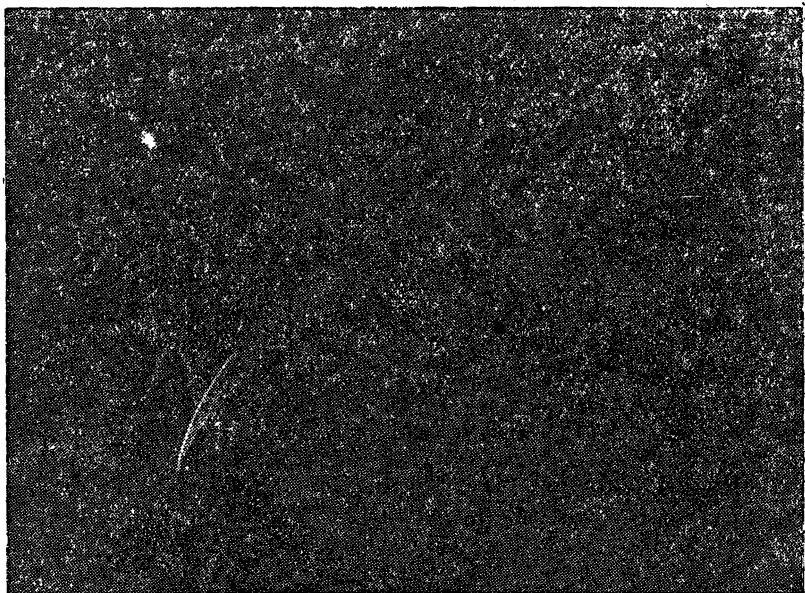


Рис. 96. Комета Донати 5 октября 1858 г. (по рисунку Бонди).

часто наблюдаемы сквозь хвост кометы (рис. 96,) и даже сквозь её голову в небольшом расстоянии от ядра, причём яркость звёзд совсем не ослабевала или ослабевала лишь в самой ничтожной степени. Земля по меньшей мере два раза (1819 и 1861) проходила через хвост кометы, но это так мало на неё повлияло, что самый факт прохождения установлен был лишь путём последующих вычислений. Уже давно (гл. III, § 69) было замечено, что хвост кометы обращён в сторону, противоположную Солнцу; это обстоятельство подтвердилось многочисленными наблюдениями; из него следует, что в некоторые эпохи положение кометного хвоста должно претерпевать быстрые перемены. Например, комета 1843 года прошла поблизости от Солнца с такой быстротой, что в два часа перешла с одной стороны его на противоположную;

наблюдать её в это время по причине близости к Солнцу было невозможно, но если она подчинялась обычному закону, то хвост её, обладавший громадной длиной, должен был совершенно переменить своё направление за этот короткий промежуток. Трудно было удержаться от вывода, что хвост—не постоянная часть кометы, но является потоком материи, отторгаемой от неё некоторым влиянием Солнца. Этот взгляд в дальнейшем неоднократно подтверждался тем обстоятельством, что хвост развивается лишь с приближением комет к Солнцу, вдали от которого кометы представляются обыкновенно неясными пятнами туманного света, иногда с более ярким пятнышком на месте ядра. Далее, если хвост образуется истечением кометного вещества; что случается только тогда, когда комета находится поблизости Солнца, то чем чаще комета приближается к нему, тем больше должно истощаться её вещество; действительно, оказывается, что кометы с коротким периодом, возвращающиеся в соседство Солнца через частые промежутки (§ 291), представляют собой едва заметные тела. Эта теория подтверждается и наблюдениями над формой хвоста. В некоторых случаях он прямой, но чаще всего слегка искривлён, и кривизна всегда направлена назад относительно движения кометы. По обыкновенным динамическим принципам вещество, исходящее головой кометы, когда она обращается вокруг Солнца, должно стремиться как бы отставать всё больше и больше по мере удаления его от головы; в результате должен получиться видимый изгиб или искривление хвоста—больше или меньше, в зависимости от скорости, с которой движутся частицы, образующие хвост. Изменчивость кривизны хвостов различных комет и существование двух или более различных изогнутых хвостов у одной и той же кометы легко объясняется предположением, что они состоят из различных веществ, движущихся от головы кометы с различными скоростями.

Выдающийся русский астроном Ф. А. Бредихин (§ 280) детально разработал механическую теорию кометных хвостов и показал, что кометные хвосты могут быть разбиты на три наиболее часто встречающихся типа. Первый тип—почти прямые хвосты, образующиеся под действием отталкивательных сил Солнца, которые больше силы тяготения по крайней мере в 20 раз. В хвостах второго типа, довольно сильно изогнутых, отталкивательная сила приблизительно равна или немногим больше силы тяготения, и, наконец, в хвостах третьего типа, сильно изогнутых и сравнительно небольших, отталкивательные силы значительно меньше силы тяготения.

Как показали позднейшие расчёты, отталкивательные силы в хвостах второго и третьего типов могут быть удовлетворительно объяснены давлением, оказываемым солнечным светом на частички, из которых состоят кометные хвосты. Природа же огромных от-

талкивательных сил, действующих в хвостах первого типа, до настоящего времени не исследована.

Впервые применил спектроскоп к изучению комет в 1864 г. *Джамбатиста Донати* (1826—1873), больше прославившийся открытием великолепной кометы 1858 года. Получился спектр из трёх ярких полос, более широких, нежели обыкновенные «линии», не похожий ни на один из известных спектров. Четыре года спустя Вильям Гэггинс получил аналогичный спектр, в котором признал сложный спектр углерода и водорода. Почти все дальнейшие исследования комет давали спектры с яркими полосами, указывавшими на присутствие в кометах молекул различных веществ, в особенности углерода и его соединений—циана и углеводов. Отсюда следует, что комета, по крайней мере отчасти, самосветяща. Это её свечение происходит, однако, не от её раскалённого состояния, а, судя по всему, имеет характер флуоресценции—холодного свечения, вызываемого поглощением газовыми молекулами кометных хвостов лучистой энергии, излучаемой Солнцем. В значительной мере она светит и отражённым солнечным светом, так как почти всегда получается непрерывный спектр, а в немногих случаях (первый раз в 1881 г.) в нём удавалось отчётливо различить фраунгоферовы линии. Но возможно, что в некоторых случаях непрерывный спектр получается от твёрдого вещества самой кометы, достаточно, раскалённого, чтобы светить собственным светом.

305. В последние 30—40 лет прошлого столетия была установлена замечательная связь между кометами и крохотными тельцами, наблюдающимися в виде метеоров или падающих звёзд. Мы, однако, упомянем здесь лишь наиболее важные факты. Дожди падающих звёзд, случавшиеся и в древности, происходят, как теперь доказано, от прохождения Земли через рой телец, обращающихся по эллиптическим орбитам вокруг Солнца. Орбиты четырёх таких роёв или потоков были определены довольно точно в 1866—1867 гг., причём оказалось, что каждая из них близко совпадает с орбитой какой-нибудь известной кометы. С тех пор констатировано немало случаев совпадения орбиты метеорного потока с орбитой кометы. Одна из четырёх вышеупомянутых комет, именно комета Биеллы, с периодом в шесть-семь лет, наблюдалась во время нескольких последовательных возвращений, но в 1845—1846 гг. появилась в сильно изменившемся виде, а затем разделилась на две кометы; в следующее возвращение эта пара комет ещё раз была наблюдаема (1852); но с тех пор обе кометы исчезли. Каждый год в конце ноября Земля почти пересекает путь этой кометы, а два раза (в 1872 и 1885 гг.) она прошла через место пересечения почти как раз в то время, когда там должна была находиться комета; если, как представляется вероятным, комета раздробилась на мелкие части со времени своего последнего появления, то весьма возможно, что Земля столкнулась

с остатками её, и это предположение подтверждается тем, что в обоих случаях были наблюдаемы необыкновенно обильные и блестящие метеорные дожди.

Комета Биелы не единственная, обнаружившая признаки разложения; бруксова комета 1889 года, по всей вероятности тождественная с лекселевой (гл. XI, § 248), найдена была в сопровождении трёх малых спутников; так как эта комета неоднократно проходила в очень близком расстоянии от Юпитера, то её разложение на части можно объяснить притягательной силой этой планеты. Кроме того, открыты были некоторые кометные системы, члены которых обращаются по одной и той же орбите, но разделены значительными промежутками времени. Комета Теббута 1881 года двигалась в сущности по той же орбите, что и комета 1807 года, а большая комета 1880 года, большая комета 1882 года и третья, появившаяся в 1887 г., — все двигались по орбитам, весьма похожим на путь кометы 1843 года. Трудно не видеть в членах такой системы обломков первоначальной кометы, прошедшей через стадии, в которых мы наблюдали кометы Биелы и Брукса.

Все эти факты указывают на внутреннюю связь между кометами и метеорами, хотя было бы, может быть, преждевременным утверждать, что все метеорные потоки представляют собой остатки погибших комет.

306. Каждая из великих проблем звёздной астрономии, которые Гершель поставил и пытался решить, тщательно изучалась астрономами XIX в. Увеличение числа обсерваторий, усовершенствование телескопов и введение фотографии (упоминаем только об этих трёх несомненных факторах прогресса) сильно увеличили глубину и точность наших познаний о звёздах, а применение спектрального анализа пролило совершенно новый свет на некоторые важные вопросы.

Прямым последователем Вильяма Гершеля явился его сын *Джон Фридрих Вильям Гершель* (1792—1871), много сделавший не только для астрономии, но и в области чистой математики, физики и зарождавшейся в то время фотографии. Свою астрономическую деятельность он начал около 1816 г., измерив сперва один, а затем в сотрудничестве с *Джемсом Соутом* (1785—1867) некоторые из двойных звёзд, открытых его отцом. Первым результатом этой работы явился каталог нескольких сотен детально измеренных двойных и кратных звёзд (издан в 1824 г.), давший возможность подвергнуть сравнению наблюдения его отца от 1781—1782 и 1802—1803 гг. и подтвердить в нескольких случаях наличие медленных орбитальных движений, начало которых наблюдалось раньше. Далее, он обозрел массу туманностей, выпустив в 1833 г. каталог около 2 500 объектов, из которых 500 было новых, а 2 000 открыты его отцом, и только немногие — другими наблюдателями; мимоходом он открыл свыше 3 000 звёздных пар, достаточно тесных, чтобы их можно было отнести к двойным звёздам.

307. За этими трудами последовала знаменитая экспедиция на мыс Доброй Надежды (1833—1838), где Гершель «выметал» южное небо почти таким же манером, как его отец исследовал небесные области наших широт. Там он открыл и изучил около 4 200 двойных и кратных звёзд и ещё большее количество новых туманностей и заново наблюдал около 500 прежде открытых туманностей; систему черпания звёзд он применял в самых широких размерах. Почти случайно он произвёл при этом обозрении неба несколько интересных наблюдений специального характера: над замечательной переменной звездой η Аргуса и окружающей её туманностью (на рис. 97 воспроизведена современная фотография с неё), над замечательным скоплением туманных пятен и звёзд, носящим название Магеллановых облаков, и над галлеевой кометой; два слабейших из известных тогда спутников Сатурна (гл. XII, § 255) были наблюдаемы им впервые со времени кончины открывшего их астронома.

Во время пребывания на мысе Доброй Надежды Гершель произвёл (1837) одно очень важное исследование несколько иного характера, именно, относительно количества теплоты, получаемой нами от Солнца; его результат оказался в довольно близком согласии с производившимися в то же самое время во Франции самостоятельными исследованиями *Клода Серве Маттаса Пулье* (1791—1868). В обоих случаях измерена была теплота, получаемая данной площадью земной поверхности в данный промежуток времени от прямого действия солнечных лучей; вычтя вероятную потерю теплоты, связанную с поглощением атмосферы при прохождении через неё солнечных лучей, оба учёных определили всё количество теплоты, ежегодно получаемой Землёй от Солнца, а отсюда и полную величину солнечной радиации во все стороны, лишь ничтожная часть которой (около $1/2\ 000\ 000\ 000$) приходится на долю Земли. Но оценка количества теплоты, поглощаемой нашей атмосферой, по необходимости, была недостоверной, и позднейшие работы, особенно *Ланглея* (1880—1881 гг.) показывают, что и Гершель и Пулье оценили его слишком низко. По вычислениям Гершеля теплоты, ежегодно получаемой Землёй от Солнца (считая и ту, которая задерживается атмосферой), было бы достаточно, чтобы растопить слой льда толщиной в 36 метров, покрывающий всю Землю; по вычислениям Ланглея, её хватило бы и на толщину в 48 метров¹⁾.

308. С возвращением в Англию в 1838 г. окончилась карьера Гершеля как наблюдателя; но разработка результатов наблюдений, сделанных на мысе Доброй Надежды, приведение в порядок и каталогизирование его собственных и отцовских открытий

¹⁾ Современные определения дают цифру, приблизительно в 1,3 раза превышающую Ланглееву. Рассчитано, что квадратный сантиметр земной поверхности, в случае отсутствия атмосферы, получал бы при отвесных лучах солнца в 1 минуту почти 2 малые калории.

потребовали многолетней работы. В 1847 г. появился великолепный том *Результатов астрономических наблюдений, сделанных в течение 1834—1838 годов на мысе Доброй Надежды*; в 1864 г.

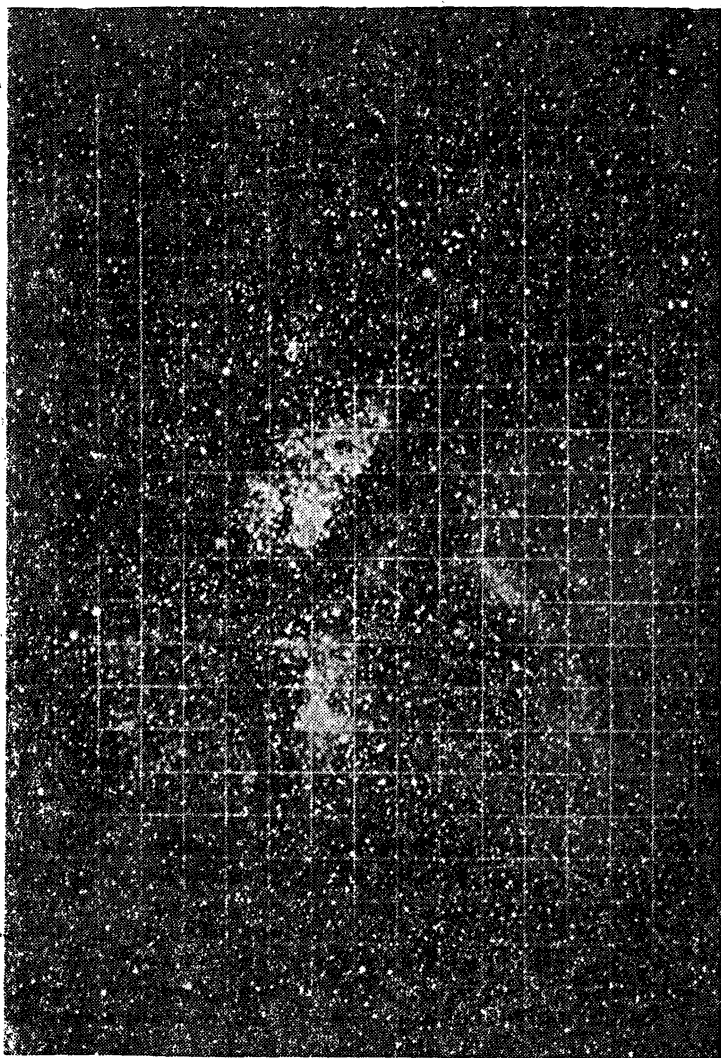


Рис. 97. Туманность около γ Аргуса. С фотографии Гилла.

представлен был в Королевское Общество каталог всех известных туманностей и звёздных куч, числом до 5 079; каталог же свыше 10 000 двойных и множественных звёзд не был окончен, хотя со-

бренные для него материалы были обнаружены в 1879 г. после смерти их автора. Большой каталог туманностей Джона Гершеля был пересмотрен и дополнен *Дрейером*, опубликовавшим список 7 840 туманностей и звёздных скоплений, открытых до конца 1887 г.; тот же учёный издал дополнительный список открытий, сделанных в промежутке 1888—1894 гг., числом до 1 529, так что общее количество туманностей и звёздных куч, известных к концу XIX в., колебалось между 9 и 10 тысячами, из которых больше половины открыто обоими Гершелями.

309. Многие двойные звёзды были открыты и изучены также и другими астрономами. Одним из неутомимейших работников на этом поле был старший Струве (§ 279), состоявший директором двух русских обсерваторий, сначала Дерптской, затем Пулковской. Он наблюдал в общем около 2 640 двойных и более сложных звёзд, тщательно измеряя в каждом случае длину и направление линий, соединяющих компоненты, и отмечая другие особенности, вроде цветовых контрастов между членами пары. Он обращал внимание только на такие пары, компоненты которых были разделены промежутками не более чем в $32''$, оставив, таким образом, в стороне много пар, которыми бы занялся Вильям Гершель; так как число известных двойных звёзд быстро возрастало, то, очевидно, необходимо было останавливаться на тех, которые представляли больше всего шансов на физическую связь между компонентами (гл. XII, § 264).

Помимо множества мелких статей Струве напечатал три отдельные книги по этому вопросу в 1827, 1837 и 1852 гг. Сравнение его собственных первоначальных и позднейших наблюдений между собой и с первыми наблюдениями Гершеля обнаружило около 100 случаев перемены в относительных положениях членов пары, что указывало более или менее явственным образом на относительное движение, причём из сравнения наблюдений Струве с наблюдениями позднейших исследователей получились аналогичные результаты.

Наблюдения Вильяма Гершеля над двойными системами (гл. XII, § 264) показали только, что в этих системах существуют некоторые внутренние движения; первоначально приходилось только догадываться, что члены пары притягиваются по закону тяготения и что эти обращения аналогичны обращению планеты вокруг Солнца; если же это так, то каждая звезда пары должна описывать эллипс (либо другое коническое сечение) около другой или обе—около общего центра тяжести, по законам Кеплера. Вследствие этого видимый путь обоих компонентов на небе должен носить именно такой характер, видоизменяясь сообразно закону проекции на небесный свод. Первая попытка показать, что так оно происходит на самом деле, была сделана *Феликсом Савари* (1797—1841) в 1827 г. относительно звезды ξ Медведицы, обращающейся с 60-летним периодом.

Двойных звёзд были открыты тысячи Гершелями, Струве и многими другими наблюдателями, из которых долгое время первенствующее положение занимал *Бернгам* (Чикаго), открывший около 1 300 звёздных пар. Из них около 300 можно считать физическими парами, но более или менее точные орбиты были вычислены только для 40 или 50. Одной из первых наилучше определённых орбит является орбита ξ Медведицы, изображённая на

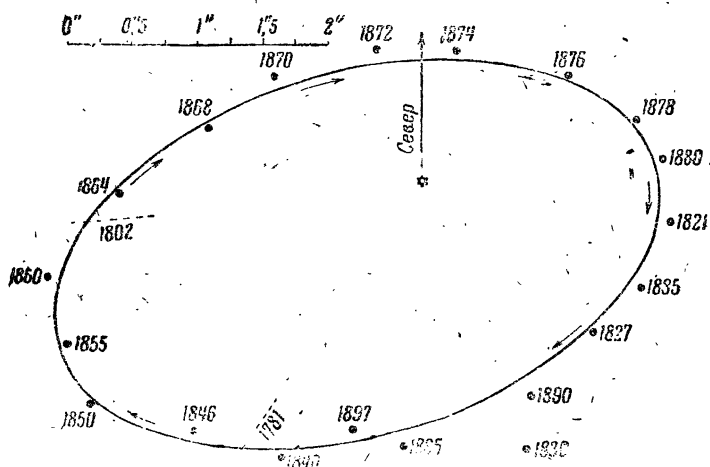


Рис. 98. Орбита ξ Медведицы, показывающая относительные положения двух компонентов в различные моменты между 1781 и 1897 гг.

рис. 98. Кроме пар, открытых спектроскопическим методом (§ 314) и образующих до некоторой степени особый класс, все остальные из изученных двойных звёзд за несколькими исключениями обладают периодами от десяти лет до нескольких тысячелетий.

310. Телескопы Вильяма Гершеля некоторое время представляли предел того, что может быть достигнуто в сооружении рефлекторов; первый шаг вперёд был сделан лордом *Россом* (1800—1867), который после ряда менее удачных попыток соорудил (1845) в Парсонстоуне в Ирландии отражательный телескоп почти в 60 футов длиной, с зеркалом диаметром в шесть футов; при помощи этого телескопа он «черпнул» слишком вдвое больше того, что доступно было гигантскому телескопу Гершеля. Первым делом Росс исследовал новым инструментом массу известных в его время туманностей и в течение нескольких следующих лет открыл в них разнообразие новые черты, в частности спиральную форму некоторых туманностей (рис. 99); кроме того, он разложил на звёзды некоторые туманности, которых Гершель не в состоянии был разрешить и относил поэтому к классу «светящихся жидкостей» (гл. XII, § 260). Это последнее открытие, аналогичное

тому, какое сделал Гершель, когда приступил к исследованию туманностей, которые были наблюдаемы до него в слабые телескопы, естественно вызвало к жизни старинное воззрение, что



Рис. 99. Спиральные туманности. По рисункам лорда Росса.

туманности и звёздные кучи—одно и то же, хотя многие из аргументов Гершеля и других в сущности не опровергались новыми открытиями.

311. Вопрос о составе туманностей в своей простейшей форме был решён с первым приложением спектрального анализа. Фраунгофер (§ 299) уже в 1823 г. заметил, что звёздные спектры подобно солнечному характеризуются тёмными линиями, а более полные исследования, предпринятые различными астрономами, вскоре после открытий Кирхгофа, особенно Вильямом Гэггинсом и знаменитым астрономом *Анджелино Секки* (1818—1878), подтвердили этот результат относительно почти всех звёзд.

Первый спектр туманности получен был Вильямом Гэггинсом в 1864 г. в виде трёх светлых линий; в 1868 г. он исследовал 70 спектров, из которых около трети, в том числе и спектр туманности Ориона, оказались состоящими из тех же светлых линий. Значит, светящаяся часть таких туманностей газообразна, и, таким образом, предположения Гершеля о «светящейся жидкости» подтвердились самым убедительным образом. Во всех почти случаях наблюдались три яркие линии, из которых одна водородная, другие же две неизвестного происхождения, а некоторые из более ярких туманностей давали в спектре и другие линии. С другой стороны, значительное число туманностей, между прочим, и таких, относительно которых были основания ожидать, что они могут разрешиться на звёзды в поле телескопа, дали непрерывный спектр, так что не было ясных спектроскопических указаний на их отличие от звёздных куч.

312. Звёзды классифицировались сперва Секки, затем несколько иначе и другими астрономами по общему расположению тёмных линий в их спектрах; на основании таких различий некоторые астрономы пытались вывести заключения об относительном «возрасте» или во всяком случае стадиях развития различных звёзд.

Гэггинс первый в 1864 г. отождествил некоторые тёмные линии звёздных спектров с линиями земных элементов—водорода, железа, натрия, кальция; таким образом, было установлено известное тождество материалов, из которых построена наша Земля и столь отдалённые тела, как неподвижные звёзды.

Кроме вышеупомянутых звёздных классов спектроскоп обнаружил существование крайне интересного и немного загадочного класса звёзд, распадающегося на несколько подразделений; эти звёзды образуют по своему спектру промежуточное звено между обыкновенными звёздами и туманностями; не отличаясь телескопически от обыкновенных звёзд, они периодически или постоянно дают в своих спектрах светлые линии. К этому классу относится много переменных и несколько «новых» звёзд, появлявшихся и исчезающих в недавнее время.

313. Первое приложение к неподвижным звёздам спектрального метода (§ 302) определения движения к наблюдателю или от

него, т. е. по лучу зрения, было сделано Вильямом Гатгинсом в 1868 г. Он констатировал микроскопическое смещение тёмной водородной линии F в спектре Сириуса, откуда заключил, что эта звезда удаляется от солнечной системы с значительной скоростью. В последующие годы таким же путём был исследован ряд звёзд другими наблюдателями, особенно в Потсдаме, в Гринвиче и в Пулкове.

314. Замечательное приложение этого метода было сделано к физическим звёздным парам. Если две звезды обращаются одна около другой, то движения их по направлению к Земле и от неё изменяются правильно и во взаимно противоположных направлениях; значит, если пропустить свет обеих звёзд в спектроскоп, то получатся два спектра (по одному от каждой звезды), линии которых правильно смещаются по отношению друг к другу. Если какая-нибудь линия, скажем F , общая обоим спектрам, наблюдается в то время, когда обе звезды движутся относительно Земли с одинаковой скоростью, то случается дважды во время их обращения, то видна только одна линия; если же они движутся неодинаково и мы обладаем настолько сильным спектроскопом, что он в состоянии обнаружить ничтожную разницу в положении линий, то линия раздвоится, причём одна из составляющих будет принадлежать одной звезде, а другая—другой. Такого рода периодическое раздваивание линий замечено было в конце 1889 г. *Пикерингом* из Гарварда в спектре ξ Медведицы, оказавшейся, таким образом, физической парой с замечательно коротким периодом в 104 дня. Почти сейчас же после этого открытия *Фогель* заметил периодическое смещение тёмных линий в спектре Альголя, переменной звезды в созвездии Персея (гл. XII, § 266); но так как в этом случае не замечалось раздвоения линий, то можно было заключить, что спутник её почти или совсем тёмный, так что во время их взаимного обращения друг около друга смещаются только линии яркой звезды. Таким образом, теория затмеваемости Альголя получила блестящее подтверждение. Все такие звёзды, двойственность которых обнаруживается с помощью спектроскопа, называются спектрально-двойными. К настоящему времени открыто свыше 2000 спектрально-двойных звёзд.

Верхняя часть рисунка 100 показывает раздвоение одной из линий спектра двойной звезды β Возничего, а нижняя—соответствующую часть спектра, когда линия не раздвоена.

315. В XIX в., особенно в последние годы, уделялось очень много внимания различного рода переменным звёздам. К концу столетия было известно около 400 переменных, и много звёзд подозревалось в этом смысле; что же касается причин переменчивости, то они за немногими исключениями вроде Альголя были совершенно не выяснены.

316. Широко развилось и было поставлено на научные основания изучение сравнительной яркости звёзд—так называемая

звёздная фотометрия. Традиционная классификация звёзд по звёздным величинам долгое время была почти совершенно произвольна и потому не отличалась точностью. Когда потребовались более обширные и точные количественные сравнения звёзд различной яркости, то сразу ощутился недостаток в более точной системе фотометрической классификации. Одним из пионеров в этой области был Джон Гершель; он предложил шкалу, позволявшую

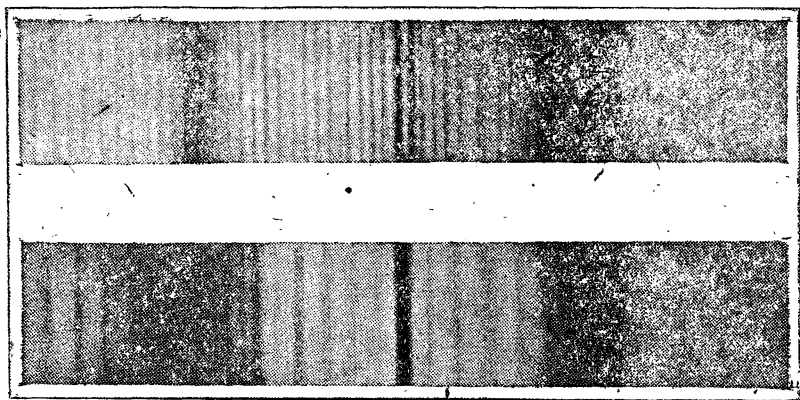


Рис. 100. Спектр β Водничего, показывающий линию К в простом и удвоенном виде. С фотографии, снятой в Гарварде.

производить точные оценки и приблизительно соответствовавшую, по крайней мере для звёзд, видимых невооружённым глазом, прежней системе; во время пребывания на мысе Доброй Надежды он тщательно измерил яркость множества звёзд и классифицировал их по своему принципу. По ныне принятой шкале, впервые предложенной в 1856 г. *Норманом Робертом Поггсоном* (1829—1851), яркость звезды какой-нибудь величины находится в постоянном отношении (оно принимается в 2,512) к яркости звезды следующей величины. Это число подобрано таким образом, что звезда шестой величины оказывается во сто раз слабее по яркости звезды первой величины¹⁾. Звёзды промежуточных степеней яркости обозначаются дробными величинами, которые можно вычислить по простому математическому закону, если известно отношение яркости данной звезды к яркости звезды, принятой за образец²⁾.

¹⁾ Именно 2,512 представляет собой число, логарифм которого равен 0,4, так что $(2,512)^5 = 100$.

²⁾ Если L есть отношение яркости какой-нибудь звезды к яркости звезды первой величины, принятой за стандарт (вроде Альдебарана), то величина

$$m \text{ даётся формулой: } L = \left(\frac{1}{2,512} \right)^{m-1} = \left(\frac{1}{100} \right)^{\frac{m-1}{5}}, \text{ откуда } m-1 = -\frac{5}{2} \lg L.$$

Звезда, более яркая, чем Альдебаран, имеет величину меньше 1, а звёзд-

Многие из больших каталогов (§ 280) содержали в себе и оценки звёздных величин. Самые обширные и точные измерения звёздной яркости были выполнены в Гарварде и Оксфорде под руководством Пикеринга в первом городе и Притчарда во втором. Оба каталога составлены для звёзд, доступных невооружённому глазу; Гарвардский каталог (опубликованный в 1884 г.) обнимает 4260 звёзд между северным полюсом и 30° южного склонения, а *Uranometria Nova Oxoniensis* (Новая Оксфордская уранометрия, 1885) охватывает только звёзды до 10° к югу от экватора, числом 2784. В конце столетия были обнаружены некоторые части более обширных каталогов, составлявшихся в Гарварде и Потсдаме для слабых звёзд.

317. Великая проблема, которой Гершель уделял столько внимания, именно вопрос об общем распределении звёзд и строении системы, образуемой звёздами и туманностями, различным образом видоизменялась в зависимости от расширения наших познаний о неподвижных звёздах.

Однако и до настоящего времени, несмотря на огромное накопление фактов, которые не были известны ни во времена Гершеля, ни на протяжении всего истекшего столетия, наши представления о строении звёздной системы всё ещё остаются довольно неопределёнными.

Объясняется это главным образом тем, что земные наблюдатели, находясь внутри звёздной системы, смотрят на неё изнутри и испытывают при этом приблизительно те же неудобства, что и человек, который, находясь внутри какого-либо здания, пытается получить представление о его размерах и архитектуре, не выходя за пределы одной из его комнат. Если бы звёздная система была идеально прозрачна, подобное сравнение было бы незаконно. Но в последнее время всё с большей уверенностью выясняется, что внутри звёздной системы находятся огромные облака непрозрачной тёмной материи (так называемой космической пыли, состоящей из мелких твёрдых тел), уродующие очертания отдельных областей звёздной системы и мешающие разобратся в её строении. Но и помимо этих облаков значительная часть на первый взгляд прозрачного пространства в действительности обладает способностью поглощать часть лучей более далёких звёзд, вследствие чего происходит ослабление видимой яркости этих звёзд и ошибка в определении их расстояния косвенными методами (§ 279).

Современные попытки определить размеры и форму звёздной системы основываются главным образом на изучении статистическими методами распределения звёзд на небе с учётом их видимой яркости (а также в ряде случаев других свойств—особенностей

ная величина Сириуса, больше чем в 10 раз превосходящего яркостью Альдебаран, будет выражаться отрицательным числом—1,6 по Гарвардской фотометрии.

спектра, движения и т. п.). Из предположения, сделанного первоначально Вильямом Гершелем (на первый взгляд совершенно естественного) о равномерном распределении звёзд в пространстве, следует, что число звёзд должно увеличиваться во столько же раз, во сколько увеличивается (вследствие улучшения техники наблюдений) объём доступного для изучения мирового пространства. Однако то, что наблюдается в действительности, не подтверждает правильности такого предположения. Наблюдая наиболее яркие звёзды, можно убедиться, что если увеличить объём изучаемого пространства в 10 раз, число звёзд при этом увеличивается не в 10, а только в $6\frac{1}{2}$ раз. Когда же с помощью величайших в мире инструментов делаются подобные же наблюдения над наиболее слабыми звёздами, оказывается, что число этих звёзд увеличивается ещё в два раза медленнее.

Какой вывод следует сделать из таких результатов наблюдения звёзд? Очевидно, тот, что с увеличением расстояния от солнечной системы мировое пространство делается всё более разреженным; т. е. что число звёзд, заключённое в одном и том же объёме (так называемая пространственная плотность звёзд), делается всё меньше и меньше. Отсюда естественно сделать вывод, что можно дойти до таких отдалённых областей, пространственная плотность которых равна нулю и которые, таким образом, лежат за пределами системы звёзд, окружающих наше Солнце.

Конечно, при подобном выводе необходимо учесть влияние находящейся в межзвёздном пространстве тёмной материи на число наблюдаемых звёзд определённой яркости, что до настоящего времени ещё нельзя делать сколько-нибудь уверенно. Тем не менее, согласно мнению большинства современных исследователей, можно уже сейчас указать приближённые размеры звёздной системы и число звёзд, её составляющих, а именно, наибольший её диаметр (в плоскости Млечного Пути) луч света проходит приблизительно в 100 000 лет, а наименьший (в перпендикулярном направлении) приблизительно в 10 раз скорее; общее же число звёзд, составляющих звёздную систему, не менее 40 миллиардов. Таким образом и в настоящее время общие очертания звёздной системы представляются нам, как и Гершелю, ограниченными формой жёрнова или чечевицы, растянутой в плоскости Млечного Пути и сильно сплюснутой в перпендикулярном направлении.

«Островная» теория туманностей, частью оставленная Гершелем после 1791 г. (гл. XII, § 260), но воскрешённая открытиями лорда Росса (§ 310), временно потеряла кредит после того, как была спектроскопически доказана газообразность некоторых туманностей. С другой стороны, обнаружилась некоторая общая внутренняя связь между туманностями и звёздами. Гершелево наблюдение, что туманности теснее сгущены в областях, удалённых от Млечного Пути, подтвердилось многократными примерами, по

крайней мере относительно туманностей, имеющих непрерывный спектр, тогда как явные звёздные кучи, равно как и туманности с газовым спектром, обнаруживают тенденцию к распределению поблизости Млечного Пути (рис. 101).



Рис. 101. Млечный Путь близ кучи в Персее. С фотографии Барнарда.

В настоящее время мы знаем причину этого. В то время как последние объекты принадлежат к нашей звёздной системе и, следовательно, естественно чаще встречаются там же, где и звёзды

(т. е. около плоскости Млечного Пути), туманности с звёздным спектром, как это неоспоримо сейчас доказано, представляют собой самостоятельные звёздные системы, настолько удалённые от нас, что только наиболее близкие из них обнаруживают звёздное строение при наблюдении их (или при их фотографировании) в сильнейшие из современных телескопов. Так как они находятся за пределами нашей звёздной системы (расстояние до ближайших из этих туманностей луч света пробегает в несколько сот тысяч лет), то на них особенно сильно чувствуется поглощение света межзвёздной средой, достигающее своего наибольшего значения близ плоскости Млечного Пути, около которой их удаётся наблюдать лишь в очень редких случаях.

Большинство звёздных туманностей имеет спиральное строение, впервые наблюдавшееся у некоторых из них Россом (§ 310). Есть поэтому основания предполагать, что и наша звёздная система тоже имеет спиральную структуру.

Одним из важнейших результатов изучения звёздных туманностей является установление факта, что туманности ведут себя совершенно иначе, чем звёзды, в том отношении, что их число увеличивается строго пропорционально увеличению объёма исследуемого пространства. Иными словами, пространственная плотность туманностей оказалась постоянной. И в областях, наиболее к нам близких, и в областях, наиболее удалённых, в единице объёма заключено в среднем одно и то же число звёздных систем.

Эти выводы не могут, конечно, рассматриваться как доказательство правильности учения о бесконечности вселенной, но не подлежит сомнению, что они находятся в полном согласии с этим учением. Нельзя не придавать значения тому факту, что наблюдатель, могущий исследовать столь удалённые области, из которых свет идёт более 100 млн. лет, не в состоянии обнаружить каких-либо признаков, отличающих эти области от областей, наиболее к нему близких.

Таким образом, масса фактов согласно указывает на то, что в расположении, размерах и строении тел, с которыми нас знакомит телескоп, существует гораздо большее разнообразие, чем это казалось вероятным в ту эпоху, когда только приступали к серьёзному изучению звёздной астрономии; эти же факты указывают и на принадлежность означенных тел к различным звёздным системам, отделённым друг от друга гигантскими расстояниями.

318. Небулярная гипотеза Лапласа (гл. X, § 250) была обнаружена в 1796 г., и на протяжении XIX в. успехи различных отраслей астрономического знания имели на неё сильное влияние. Открытие новых планет и спутников (§ 294, 295) до некоторой степени нарушило однообразие и симметрию движений солнечной системы, о которых так заботился Лаплас; при этом оказалось, что с точки зрения гипотезы Лапласа невозможно дать разумное объяснение попятным движениям спутников отдалённых пла-

нет и громадным эксцентриситетам и наклонениям орбит некоторых астероидов. За этими исключениями число тел, движения которых обладают указанными Лапласом характерными чертами, тем не менее значительно возросло. Далее, телескопические доказательства, которые приводил Гершель (гл. XII, § 261) в пользу существования в туманностях известных процессов сгущения, подкреплялись позднейшими открытиями такого же характера и различными аргументами вроде указанной уже нами связи между туманностями и отдельными звёздами или звёздными кучами. Различие звёздных спектров также весьма удовлетворительно объяснялось различными стадиями сгущения, в которых они находятся.

319. Совершенно новый свет пролили на эту проблему открытия и исследования относительно природы теплоты, завершившиеся признанием (1840—1850 гг.), что теплота есть особый род того, что физики называют *энергией*; эта последняя проявляется в различных формах, например, в движении тел, в разъединении взаимно притягивающихся частиц, равно как и в различного рода электрических, химических и других явлениях. С этим открытием тесно связан закон *сохранения энергии*, по которому энергия хотя и способна подвергаться всевозможным превращениям, однако никогда не создаётся из ничего и не уничтожается бесследно; но тело, излучающее, подобно Солнцу, свет и тепло в пространство, этим самым теряет энергию, уподобляясь приведённой в действие машине, а потому или оно должно получать энергию из постороннего источника для возмещения потерь, или же запас его энергии истощается, ибо тело, неопределённо долгое время излучающее свет и теплоту без пополнения запаса энергии,— всё равно, что машина, бесконечно работающая без помощи двигательной силы. Между тем, и то и другое—вещь невозможная.

Результаты, полученные Джоном Гершелем и Пулье в 1836 г. (§ 307), заставили задуматься над колоссальными тепловыми потерями Солнца, и, таким образом, перед астрономами возникла проблема—объяснить, каким образом Солнце может расходовать такую массу теплоты и света. Ни в те несколько тысяч лет, которые охватывают исторические летописи, ни в огромные периоды, насчитываемые геологами и биологами, количество теплоты, ежегодно получаемое Землёй от Солнца, не претерпело, повидимому, значительного изменения. Поэтому теория солнечной теплоты должна объяснить компенсацию непрерывной потери теплоты примерно в таком же количестве, как и теперь, и притом за огромный период времени. Направляющееся сравнение Солнца с печкой, получающей теплоту от сгорания, оказывается совершенно несостоятельным, будучи переведено на язык цифр, так как в этом случае Солнце могло бы существовать самое большее несколько тысяч лет. Долгое время общим признанием пользовалось объяснение, предложенное знаменитым немецким физиком *Германом Гельм-*

гольцем (1821—1894) в популярной лекции (1854). Солнце обладает громадным запасом энергии в виде взаимного тяготения его частей; если оно почему-нибудь сжимается, то некоторая часть притягательной энергии необходимо теряется, принимая другие формы. В сокращении Солнца мы имеем, таким образом, возможный источник энергии. Точное вычисление количества энергии, освобождаемой определённой степенью сокращения Солнца, зависит от внутреннего распределения плотности в Солнце, известного нам весьма неточно; сделав некоторые рациональные допущения в этой области, мы найдём, что сжатие, необходимое для возмещения тепловых потерь Солнца, ежегодно уменьшало бы диаметр Солнца только на 35 метров, что при современных телескопических средствах оставалось бы незаметным в течение многих столетий. По тем же принципам легко вычислить количество энергии, освобождаемое телом вроде Солнца при уплотнении из крайне разрежённого состояния до любой предуказанной степени плотности. Таким образом, мы можем предвычислить величину тепловых потерь Солнца на миллионы лет вперёд или назад. Если же скорость уплотнения в отдалённые времена была или когда-нибудь будет меньше настоящей, то соответственно с этим надо растянуть и период.

Если мы, таким образом, примем на время вышеизложенную теорию, то придём к заключению, что Солнце некогда обладало гораздо большим объёмом и меньшей плотностью, чем теперь, а углубившись достаточно в прошлое, мы найдём его в стадии, недалёкой от состояния первобытной туманности, о которой думал Лаплас, с той только разницей, что ей незачем быть раскалённой.

Более поздние теоретические исследования показали, однако, что в том случае, если плотность внутри Солнца лишь постепенно повышается по направлению к его центру, возраст Солнца не может превышать 20 млн. лет. Между тем, геологические методы убедительно показывают, что многие горные породы земной коры существуют около 2 000 млн. лет, а так как Солнце безусловно старше Земли, то указанный период является низшим пределом возраста Солнца. Вследствие этого приходится предполагать, что или внутри Солнца имеется сравнительно небольшое, сильно уплотнённое ядро, в котором сосредоточена почти вся масса Солнца, или же теплота, излучаемая Солнцем, пополняется не только за счёт его сжатия, но также за счёт других источников энергии (например, за счёт внутриатомной энергии).

320. Дарвин своими исследованиями приливного трения (§ 287, 292 и 293) пролил новый свет на вопрос о развитии Земли и Луны. Так как приливы увеличивают продолжительность суток и месяца и постепенно отторгают Луну от Земли, то отсюда следует, что в прошлом Луна была ближе к Земле, чем теперь, и что тогда действие приливов было гораздо сильнее. Руководясь этим принципом, Дарвин целым рядом тщательных вычислений, опублико-

ванных в 1879—1881 гг., доказал, что было время, когда Луна находилась в близком соседстве с Землёй, обращаясь вокруг неё в такое же время, в какое Земля вращалась вокруг своей оси, — для той отдалённой эпохи немного более двух часов. Оба тела двигались тогда так, как если бы были скреплены между собой. Трудно удержаться от предположения, что в более ранней стадии они действительно составляли одно целое и что Луна представляет собой часть Земли, оторвавшуюся от неё под влиянием быстрого вращения или иным путём.

Дарвин задавался вопросом, нельзя ли таким же образом объяснить происхождение спутников других планет, а также и происхождение самих планет от Солнца. Однако система Луны и Земли находится, повидимому, в исключительных условиях; в других случаях приливное влияние проявлялось не так сильно, хотя им удовлетворительно объясняются некоторые особенности планет и их спутников. В 1892 г. Си пытался аналогичным путём объяснить при помощи приливного влияния развитие двойных звёзд из первобытного туманного состояния.

Вообще же можно сказать, что в XIX в. изучение проблемы происхождения солнечной системы различным образом дискредитировало детали гипотезы Лапласа, но зато поставило на более прочное основание общий взгляд, по которому солнечная система образовалась путём сгущения из первобытной крайне разрежённой массы, в общем сходной с наблюдаемыми в телескоп туманностями, и что и звёзды, по всей вероятности, прошли аналогичный процесс развития; далее, эта общая, но неясная теория, дополнялась теорией приливного трения, разъясняющей процесс, который служил, повидимому, преобладающим фактором в развитии системы, образуемой нашей Землёй и Луной, и который, во всяком случае сыграл важную роль во множестве других систем.

В текущем столетии эти идеи получили дальнейшее развитие, в частности в гипотезах, принадлежащих различным авторам, о происхождении солнечной системы в результате прохождения близ Солнца звезды, вызвавшей на поверхности Солнца огромную приливную волну, из вещества которой, увеличенного дальнейшим притяжением звезды, произошли планеты. С другой стороны, гипотеза Лапласа легла в основу несравненно более грандиозных гипотез, трактующих о происхождении звёздных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. История астрономии

- Кларк Агнесса, История астрономии в XIX столетии. «Матезис», 1913.
- Даннеман Ф., История естествознания. Том I, Медгиз, 1932. Том II, ОНТИ, 1935. Том III, ОНТИ, 1936.
- Баев К. Л., Ларионов А. Ф., Попов П. И., История взглядов на строение и происхождение вселенной. Учпедгиз, 1931.
- Куницкий Р. В., Развитие взглядов на строение солнечной системы, Гостехиздат, 1944.
- Райков Б. Е., Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России. Изд-во Акад. Наук СССР, 1937.
- Гурев Г. А., Коперниковская ересь в прошлом и настоящем, ГАИЗ, 1938.
- Блажко С. Н., Коперник, ГИЗ, 1926.
- Баев К. Л., Коперник, Жургазобъединение, 1935.
- Цейтлин З., Галилей, Жургазобъединение, 1935.
- Воронцов-Вельяминов Б. А., Лаплас, Жургазобъединение, 1937.
- Россовская В. А., Календарная даль веков. ОНТИ, 1936.
- Полак И. Ф., Время и календарь, ГТТИ, 1934.

2. Общие книги по астрономии

- Полак И. Ф., Курс общей астрономии. Гостехиздат, 1939.
- Попов П. И., Баев К. Л., Воронцов-Вельяминов Б. А., Куницкий Р. В., Астрономия. Учебник для пединститутов. Учпедгиз, 1940.
- Стремгрэн Э. и Стремгрэн Б., Астрономия. Гостехиздат, 1941.
- Смарт В., Солнце, звёзды и вселенная. ОНТИ, 1935.
- Журнал Миропведение. ГТТИ, ОНТИ, 1930—1937.

3. Астрономические наблюдения

- Набоков М. Е., Астрономические наблюдения с биноклем. Учпедгиз, 1937.
- Рюдо Л., Астрономия на основе наблюдений. ОНТИ, 1935.
- Покровский К. Д., Путеводитель по небу. ГИЗ, 1923.
- Огородников К. Ф., Как наблюдали небо раньше и как наблюдают его теперь. Изд-во Акад. Наук СССР, 1938.
- Паренаго П. П., Астрономические обсерватории, ОНТИ, 1936.
- Русский астрономический календарь. Постоянная часть. Издание Нижегородского кружка любителей физики и астрономии, 1930.
- Астрономический календарь. Переменная часть. Горьковское областное изд-во (издается ежегодно).
- Михайлов А. А., Звёздный атлас. Московское общество любителей астрономии, 1920.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абул-Вафа 78, 84, 104, 130
 Адамс 315, 317
 Алкуин 81
 Альбатений 72, 77, 78, 82, 84, 103, 104
 Альберт Великий 83
 Альберт Прусский 115
 Аль-Мамун 77, 87
 Альманзор 75
 Аль-Рашид 76
 Альфонс X, 82, 83, 85, 115
 Анаксагор 32
 Анаксимандр 25
 Аппан 87, 117, 168
 Аполлоний 49, 50, 53, 64, 69, 72, 219
 Араго 280
 Аргеландер 310
 Арзахель 79, 82
 Аристарх 38, 44, 45, 55, 56, 59, 73, 96, 130, 167
 Аристид 44, 45, 56
 Аристотель 38, 40—43, 60, 66, 71, 72, 76, 82, 85, 86, 89, 90, 97, 134, 138, 142, 156, 182
 Аристофан 34
 Архимед 72, 79
 д'Асколи Чекко 83
 Ателяр 82

 Байер 297
 Барберини (Урбан VIII) 142, 145, 150, 151
 Барнард 322, 324, 352
 Бароний 143
 Барроу 184
 Беллармин 143, 144
 Белопольский 311, 329, 337
 Бентли 206
 Бернгем 345
 Бернулли Даниил 249, 250
 Бернулли Иоганн 248, 249
 Бернулли Яков, 249
 Бессель 212, 216, 231, 233, 302, 306—308, 310
 Биела 340, 341
 Блеу 116
 Блисс 233

 Бонд 323, 324
 Борелли 186
 Браге Тихо 78, 79, 116—130, 131, 135, 145, 160—162, 164, 167, 169, 172, 173, 181, 204, 214, 216, 218.
 Брайлей 215, 220, 222—233, 237—242, 249, 254, 284, 291, 293, 302, 303, 305—307
 Браун 315
 Бредихин 310, 319
 Брорсен 318
 Брудзевский 90
 Брукс 318, 341
 Бруно 152
 Бувар 272, 317
 Бугер 233, 236
 Буллиальд 296
 Бунзен 332
 Бурггардт 264
 Бада 81
 Бэкон Роджер 83, 135
 Бэкон Фрэнсис 156, 182
 Бэр (Урсус) 125
 Бюрги 117, 118 177
 Бюрк 264, 265

 Вальтер 85, 87, 117
 Варгентин 230
 Варений 116
 Вариньон 196
 Ватцельроде 90
 Вестфаль 318
 Вивiani 131
 Вильгельм IV 117, 118, 124, 126, 128
 Вильсон 300
 Винчи (Леонардо да Винчи) 87
 Волластон 332
 Вольф Пакс 320, 321
 Вольф Рудольф 330
 Вольтер 35, 248
 Вафа Абул 78, 84, 104, 130

 Гайнцель, 120
 Гален 35, 76, 134
 Галилей 44, 66, 94, 116, 118, 131—156, 160, 161, 167, 171, 173, 177, 182, 184, 187, 189, 194, 195, 200, 204,

- 210, 231, 279, 283, 291, 299, 307, 324
 Галифакс Джон (Сакробоско) 83, 84
 Галле 317
 Галлей 193, 215—220, 238, 239, 242, 243, 250, 251, 254, 255, 267, 294, 315, 317, 318
 Ганзен 312—315
 Гаркнес 336
 Гаррисон 242
 Гарриот 136, 139
 Гаскойнь 175, 176, 215
 Гаусс 305, 306, 320
 Гевелий 72, 173, 215, 299
 Гезиод 34, 35
 Гельмгольц 354, 355
 Гендерсон 308
 Генке 320
 Георг III 280, 282
 Гераклит 38
 Герардо из Кремоны 82
 Герберт 81
 Гершель Александр 278
 Гершель Вильям 184, 238, 244, 274, 276—304, 320, 326, 341, 344—347, 350, 351, 354
 Гершель Джон 27, 266, 288, 341—349, 354
 Гершель Каролина 278, 280, 282, 283, 290
 Геттон 234
 Гиббон 73
 Гизе 95
 Гилль 310, 311, 343
 Гипатия 72
 Гиппарх 28, 39, 41, 44, 45, 48—74, 80, 85, 93, 103, 167
 Гиппократ 76
 Гицетий 38, 95
 Годан 237
 Гольварда 296
 Гонец бен Исак 77
 Горрокс 176, 177, 199, 219
 Горький 138
 Готье 330
 Грасси 145
 Грегори 184, 186, 218
 Григорий XIII, 36
 Гудрайк 296
 Гук 192, 193, 222, 227
 Гумбольдт 330
 Гэггинс 335, 340, 347, 348
 Гюйгенс 116, 118, 173, 174, 176, 177, 187, 188, 206
 Гюльден 316
 Да Винчи Леонардо 87
 Даламбер (Д'Аламбер) 230, 240, 250—256, 258, 261, 262, 272
 Дамуазо 314
 Данте 83, 136
 Дарвин 318, 355, 356
 Даус 324
 Декарт 116, 181, 182
 Деламбр 63, 232, 302
 Делонэ 315
 Де Морган 72
 Джилльберт 170
 Дигге Леонард 135
 Дигге Томас 89, 115
 Дидро 252
 Донати 340
 Допплер 311, 336, 337
 Драшусов 266
 Дрейер 344
 Дунер 337
 Екатерина II 243, 252
 Жансен 334
 Зундман 247
 Ибн-Юнис 78, 80, 84
 Исак бен Гонец 77
 Иоахим (Ретикус) 93—95, 103, 115, 116
 Калипп 35, 40
 Кант 273, 289, 315
 Капелла (Марциан Капелла) 96
 Капрейн 310
 Карлейль 252
 Карл Великий 81
 Карл II 214, 238
 Кассини, граф 235
 Кассини Жан Доминик 178—180, 202, 214, 230, 234, 237, 239, 279, 298
 Кассини Жан 202, 235, 236, 237
 Кассини де Тюри 235
 Кастелли 142, 143
 Каччини 143
 Кельвин 318
 Кеплер 71, 73, 112, 115, 121, 124, 126, 127, 131, 138, 150, 152, 157—171, 172, 176, 184, 186, 188, 189, 193, 204, 209, 210, 211, 218, 219, 235, 247, 268, 320, 322, 329, 334, 344
 Килер 329
 Кирквуд 322, 329
 Кирхгоф 332, 333, 334, 347
 Клеро 248, 250—256, 258, 262, 272, 317
 Климент VII 94
 Клиффорд 191
 Ковья Медичи 138
 Колумб 87, 89

Конти 142, 286
Коперник 38, 73—75, 79, 88, 89—
118, 121, 124, 124, 126, 129, 135,
137, 142, 144, 145, 147, 149, 151,
155, 173, 209, 210, 222, 284, 308

Корню 313

Котс 207

Кростуат 216

Кук 243

Кавендиш 234

Каррингтон 331, 337

Лагранж 208, 248, 251, 254, 258, 260—
262, 265—272, 276, 319, 322

Лакайль 238—240, 243, 254, 256,
284, 288

Лакондамин 233

Лаланд 256, 265, 272, 295

Ламберт 267, 294

Лами 196

Ланглей 342

Ландсберг 177

Лаплас 243, 245, 248, 251, 261—275,
282, 302, 303, 312, 314—319, 328,
353—356

Лассель 298, 323, 324

Леббок 314, 318

Леверрье 312, 313, 316, 317, 319, 323

Лежандр 305, 306

Лежантиль 243

Лейбниц 206, 208, 213

Лексель 272, 279

Лемер 281

Линденау 272

Липперсгейм 135

Лоньер 334, 337

Локк 206

Ломоносов 116, 243

Лоуаль 326

Лувиль 248

Лютер 94, 114

Майкельсон 313

Майер Товия 231, 240—242, 254,
265, 294, 295

Маклорен 213, 250

Максвелл 328

Маральди 235

Мариус 136, 167

Марциан Капелла 96

Маскелайн 233, 234, 280, 295

Масон 242, 265

Меланхтон 94, 114

Мессье 288

Местли 157

Метон 34, 35

Мильтон 112

Мичелл 234, 292, 293

Молине 222

Монтанари 296

Мопертюи 229, 237, 248, 250

Мэчин 229

Мюллер (Региомонтан) 84—90, 116,
117, 128

Наполеон I 261, 282

Нассир-Эддин 79, 85, 93

Непер 118

Николай Кузанский 96

Нониус 87

Норвуд 178, 191

Нума 35

Ньюкомб 313, 315

Ньютон 73, 95, 148, 154, 155, 183—
211, 212, 213, 215, 216, 227, 228,
231, 235—237, 245—249, 251, 253—
255, 261, 273, 284, 303, 331, 332

Озу 176, 178, 215

Ольберс 318, 320

Осиандер 95, 114

Пализа 322

Палич 251

Паунд 220, 230

Пембертон 208

Пиацин 320

Пикар 176—179, 181, 192, 213, 216,
236

Пикеринг 324, 348, 350

Пифагор 28, 36, 37, 41, 66, 71, 73

Плана 314

Платон 38, 39, 71, 89, 173

Платон Тивольский 82

Плиний 64

Плутарх 38, 334

Погсон 349

Понс 318

Понтекулан 314

Порта 135

Посидоний 64, 66

Прево 295

Притчард 308, 350

Птоломей Клавдий 39, 41, 45, 48,
49, 64—74, 75—77, 79, 85—87,
90, 97, 103, 104, 107, 110, 115, 116,
124, 138, 156, 208, 210, 219, 257

Птоломей Физидельф 44

Пуанкаре 316

Пуассон 314, 319

Пурбах 84, 86, 90

Райт Томас 471, 487

Региомонтан 84—90, 116, 117, 128

Рейнгольд 114, 116, 161

Рекорд 115

Ремер 181, 216, 226, 230, 234, 240, 312

Рен 192, 193

Ретикус 93—95, 103, 115, 116
 Риччиоли 173
 Рише 179, 180, 196, 201, 217, 235
 Росс 345, 346, 351, 353
 Ротман 117, 118, 126
 Рудольф II 126, 127, 160, 164, 165

Сабин 330
 Савари 344
 Сакробоско 83, 84
 Сванберг 237

Секки 347
 Селевк 38
 Сен Пьер 214
 Си 356
 Скиапарелли 326, 328, 329

Слузий 186
 Смит 276
 Снейлиус 178, 191
 Созилен 35
 Солон 34

Соут 341
 Струве В. Я. 308, 310, 314, 315, 344,
 345

Табит бен Корра 77, 85, 103, 341
 Теббут 341
 Теон 72
 Тимохарис 44, 45, 56, 57, 58, 103
 Тихо Браге, см. Браге
 Труэссар 131

Улуг Бег 80, 85, 93
 Урбан VIII 142, 145, 150, 151
 Урсус (Бер) 125
 Уэвелл 318

Фабриций 139
 Фалес 36, 75
 Фернель 88
 Феррель 315

Фиво 312
 Филолай 37, 38, 95
 Фильд 115
 Флэмстид 207, 213—216, 219, 223,
 233, 240, 284, 305, 311

Фогель 348
 Фракастор 87, 111, 168
 Фраунгофер 332, 333, 347
 Фридрих II (Датский) 121, 125
 Фридрих II (император) 82

Хилл 254, 315

Холл 324

Хэл 335

Цах 272

Цезарь Юлий 36, 83

Чекко д'Асколи 83

Чендлер 314

Шарлуа 321

Шарп 216

Швабе 330

Шейнер 139, 140, 142, 161, 172, 299

Шенфельд 310

Шонберг 94

Шонер 94

Шретер 299, 301

Эвдокс 39, 40, 41, 49, 56, 69

Эвклид 46, 72, 79

Эйлер 230, 241, 242, 248—258, 262,
 265—267, 317

Экфонт 38

Энке 244, 313, 318

Эратосфен 48, 73, 236

Эри 311, 318,

Юнг 336

КРАТКИЙ ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абберация света, открытие 222—227
 Академия Парижская 252
 — Петербургская 249
 — Туринская 258
 — Французская (Académie Française) 252, 262
 Альмагест Абул Вафы 78
 — Птолемея 64—72, 76—77, 84
 Альманах Морской (Nautical Almanach) 231, 314, 316
 Астрономия 32—33
 Астрономия арабов 75—79, 80—82
 — греческая 34—74
 — египтян 19, 31, 96
 — индусов 19, 75—76
 — китайская 19, 25
 — маголов 79—80
 — халдеев 19, 25, 31—32

 Венера, прохождения 177, 218, 220, 239, 242—244, 311—313
 — фазы, открытие 139
 Високосный год 36

 «Гармония мира» (Кеплера) 165—166
 Год звездный или сидерический 58—60
 — тропический 58—59

 Деферент 53, 105—108

 Затмения спутников Юпитера 144, 181, 226, 331
 Звездные каталоги 56, 68—69, 80, 103, 118, 126, 130, 173, 214, 216, 219, 231, 238—239, 288, 292, 297, 309—310, 343—344
 «Звездный вестник» (Галилея) 136—139
 Звезды двойные, открытие 291—294, 344—345, 297
 — новые 56, 120—121, 135, 161, 347
 — переменные, открытие 296—298, 309, 348
 — собственное движение 218, 294—296, 307

 Земля, вращение 37, 95—99, 146—147, 315
 — годовичное движение 37, 143, 100, 147
 — масса 200, 233—234, 255—256
 — фигура 42—43, 64, 179, 201—202, 235—237, 250, 272
 Зодиак 27

 Календарь греческий 34—35
 — грегорианский 36
 — римский 35
 — юлианский 35—36
 Комета Биеллы 340—341
 — Галлея 217, 220, 250—251
 «Комментарии о движении Марса» (Кеплера) 164
 Королевское общество 192, 207, 224

 Луна, движение 53—55, 66—68, 104—105, 130, 189—192, 199, 311, 217, 228, 240, 262—265, 312, 315—316
 — либрация 153—154, 258
 — масса 199—200, 203—204, 255—256
 — пепельный свет 37
 — размеры 44—45, 55—56
 — расстояния 44—45, 55—56

 Малые планеты, открытие 319—323
 Метонов цикл 35
 Месяц аномалистический 54
 — драконический 54
 — сидерический 54
 — синодический 54

 «Начала» (Ньютона) 294—208
 «Небесная механика» (Лапласа) 261—265
 Нутация, открытие 227—230

 «Об обращении небесных кругов» (Коперника) 95—111
 Обсерватория Гринвичская 214, 231 234

- Обсерватория Парижская 178, 213, 234
 — Пулковская 310—311, 344,
 Параллакс звёздный 112—113, 147—148, 180, 226, 307—308
 — горизонтальный 180
 Пифагорейцы 37, 95
 Планеты, открытие:
 — — Нептун, Плутон 316—317
 — — Уран 279
 Прецессия 58, 103—104, 202—203
 Просневвис 67, 78, 104
 «Разговор о двух системах мира» (Галилея) 145—149
 Сарос 32
 Сатурн, кольца 174, 175, 178—179, 324, 328—329
 Солнце, вращение 140—141, 331, 337
 — движение в пространстве 294—295
 — размеры 45, 167
 — расстояние 44—45, 55—56, 68, 179—181, 218, 311—313
 Солнце, пятна, открытие 139
 Спутники планет (открытие):
 — — Марса 324—325
 — — Нептуна 323
 — — Сатурна 173, 178—179, 281, 323, 324
 — — Юпитера 137—139, 324, 325
 Таблицы Альфонсинские 82
 — Ганемитские 78
 — Ильханские 80
 — Прусские 115
 — Рудольфинские 169
 — лунные 67, 78, 218—219, 240—242, 253—255, 264, 314—315
 — планетные и солнечные 78, 80, 104, 129, 173, 218—219, 230, 239, 241, 256, 272, 316
 Трепидация 77, 103, 130
 Эвекция 67
 Эквант 70
 Эксцентрик 50
 Эпицикл 53, 105—108

**ОГИЗ РСФСР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
«ГОСТЕХИЗДАТ»**

Москва, Орликов пер., 3

ПЕЧАТАЮТСЯ

- М. С. Зверев, Б. В. Кузаркин, Д. Я. Мартынов, П. П. Паренаго,
Н. Ф. Флоря и В. П. Цесевич. Переменные звёзды.
Том III. Методы изучения переменных звёзд.**
- Д. Д. Максutow. Астрономическая оптика.**
- П. И. Попов. Общедоступная практическая астрономия.**
- Г. Спенсер-Джонс. Жизнь на других мирах (перевод с англ.
под редакцией проф. Н. И. Идельсона).**

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

- С. Н. Блажко. Курс общей астрономии.**
- П. П. Паренаго. Курс звёздной астрономии (2 изд.)**
- Б. А. Воронцов-Вельяминов. Вселенная.**
- Г. Гамов. Биография земли (перевод с англ. проф. В. И.
Пришлецова под редакцией чл.-корр. Акад. Наук А. А.
Михайлова).**

Цена 10 р. 50 к.