

И.А.Климишин

ОТКРЫТИЕ ВСЕЛЕННОЙ



И.А.Климишин

ОТКРЫТИЕ ВСЕЛЕННОЙ



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 9 8 7

ББК 22.87

К 49

УДК 52(091)

Климишин И. А. **Открытие Вселенной.**— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.—320 с.

Обзор развития представлений об окружающей нас Вселенной с древнейших времен до наших дней. Рассказывается о том, как изменялись и уточнялись масштабы планетной системы и Галактики, как изменялись представления о физической природе планет, Солнца и звезд, об источниках их энергии и путях эволюции. Значительное внимание уделено открытиям двух последних десятилетий.

Для астрономов — специалистов, студентов, аспирантов, преподавателей астрономии и физики, лекторов, любителей астрономии и лиц, интересующихся историей естествознания.

Табл. 3. Ил. 68. Библиогр. 24 назв.

Рецензент

доктор физико-математических наук *А. А. Гуриштейн*

Иван Антонович Климишин

ОТКРЫТИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Редактор *Г. С. Куликов*

Художественный редактор *Г. М. Коровина*

Технический редактор *С. Я. Шкляр*

Корректор *Г. И. Сурова*

ИБ № 32449

Сдано в набор 19.08.86. Подписано к печати 04.03.87. Т-05293. Формат 84х108/32. Бумага типографская №1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 16,8. Усл. кр.-отт. 16,8. Уч.-изд. л. 18,56. Тираж 16 300 экз. Заказ № 2938. Цена 1 р. 50 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы.

117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени

МПО «Первая Образцовая типография» имени А. А. Жданова

Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054 Москва М-54, Валовая, 28

Отпечатано во 2-й типографии издательства «Наука» 121099 Москва Г-99, Шубинский пер., 6. Заказ 509

К $\frac{1705010000-063}{053(02)-87}$ 130-87



Scan AAW

© Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1987

Удивительно не то, что Вселенная бесконечна, а то, что человек способен раскрыть ее тайны.

Блез Паскаль

Наука всегда усваивается полнее, когда она рассматривается в состоянии рождения.

Джеймс Клерк Максвелл

Без истории предмета нет теории предмета.

Н. Г. Чернышевский

ПРЕДИСЛОВИЕ

История каждой науки интересна и поучительна, а ее знание несомненно полезно. Преподаватель, используя элементы истории, может превратить едва ли не каждую лекцию в проблемную. Исследователю, умудренному опытом давно ушедших своих предшественников, легче найти подход к трудной задаче, а иногда и перенести неудачу в поисках ее решения. Все мы, в том числе учащиеся и «просто любители» астрономии, знакомясь с тем, как, преодолевая тернии, человек шел к звездам, испытываем чувство гордости и удовлетворения, в нас крепнет вера в то, что и нерешенные ныне проблемы вскоре найдут своих Коперников и Ньютонов...

Ровно десять лет назад в издательстве «Наукова думка» (Киев) вышла книга автора «Астрономия вчера и сегодня». Она была встречена читателями благосклонно и, как оказалось, широко используется преподавателями вузов и школ, студентами и учащимися 8—10 классов, в частности, при организации внеклассной работы, для укрепления межпредметных связей. Автор получил много десятков писем, в том числе от ведущих ученых страны, работающих в различных областях астрономии. Особенно волнующими были для автора отзывы уже покойных А. А. Михайлова, С. А. Каплана, В. П. Щеглова, как и многих других, ныне активно работающих коллег. Почти сразу же В. С. Имшенник, Э. Р. Мустель и В. В. Соболев указали на желательность скорейшего переиздания книги в расширенном объеме.

Предлагаемая читателю книга «Открытие Вселенной» и является переработанным вариантом «Астрономии вчера

и сегодня». Около половины книги написано заново, внесено много изменений и дополнений. Но, как и ранее, там, где это только возможно, мы стремились не просто констатировать, что было сделано тем или другим ученым, но и показать, как ему удалось решить эту проблему. Очень хотелось, чтобы читатель как бы услышал живые голоса тех, чьи научные подвиги вызывают у нас восхищение: ведь каждый из них излагал мысли своим особым, неповторимым стилем, и слова давно ушедших великих людей не могут не волновать читателя...

Конечно, в книге столь небольшого объема автору вряд ли удалось исчерпывающим образом осветить все вопросы, которые могут интересовать читателя. Поэтому в конце книги дан список изданий, в которых отдельные аспекты истории астрономии изложены гораздо полнее.

«Открытие Вселенной» было написано главным образом во время летних отпусков 1984 и 1985 гг. на окраине с. Кутиски Тернопольской области, в родном и дорогом для автора живописном уголке планеты. Там же и в основном так же, в летнее время, автор ранее работал над «Астрономией наших дней», «Астрономией вчера и сегодня», «Релятивистской астрономией» и «Календарем и хронологией» ... Работа эта вряд ли была бы успешно доведена до конца без оказанной автору неоценимой и разносторонней помощи со стороны Т. А. и А. П. Белошицких, Е. А. Гребеникова, А. А. Гурштейна, В. Г. Горбацкого, В. В. Иванова, В. Н. Кишакевича, П. Г. Куликовского, Д. К. Надёжина, В. А. Недилько, В. П. Плачинды, М. М. Середюк, Ф. И. и И. М. Стасюков, И. Д. Третьяка, М. С. Фролова и Л. И. Чернявской. Она вообще была бы невозможной без постоянной трогательной заботы матери Ксении Ивановны и отца Антона Васильевича. Всем, чьи имена и фамилии здесь были названы, автор выражает свою самую искреннюю благодарность и признательность.

г. Ивано-Франковск,
январь 1986 г.

И. А. Климишин

... последующим поколениям, которые пользуются апробированными ответами на все вопросы, часто не легко оценить, каких трудностей это стоило их предшественникам.

Чарльз Дарвин

Г л а в а 1

МНГОВЕКОВЬЕ ГЕОЦЕНТРИЗМА

Образно говоря, полное отсутствие знаний о законах мироздания — это ночь в истории человечества. Но после ночи неминуемо бывает рассвет ... Рассвет же — это отступление тьмы, страха и заблуждений, это приближение света и познания истины, это приближение дня с его замечательными возможностями творческой жизни ...

ПЕРВОЙ БЫЛА АСТРОНОМИЯ

Зарождение науки. Тяжелой, полной опасностей была жизнь людей в далеком прошлом. Им непрерывно угрожали голод и холод, ужасные эпидемии, нашествия врагов и междоусобные войны. Чтобы обеспечить себя продуктами питания, людям необходимо было обрабатывать землю, заниматься скотоводством, охотиться на диких зверей, ловить рыбу. И земля кормила людей, как добрая мать. Но не только от нее зависело их благополучие. Гигантским шатром раскинулось над Землей лазурное небо. Там собирались облака, которые время от времени щедро орошали ее дождями. По небу ежедневно совершало свою прогулку Солнце, которое могло быть очень ласковым или, безжалостно сжигая все живое, неумолимо жестоким. Ночью же на небе, отсчитывая время сменой своих фаз, появлялась Луна. А все небо, как драгоценными камнями, было усеяно звездами ...

Внимательно вглядываясь в ночное небо, люди постепенно начали различать на нем отдельные группы ярких звезд — *созвездия*. Они научились сопоставлять периодические изменения природных явлений — приход весны, время уборки урожая, начало осенних холодов и т. д. — с изменением вида звездного неба, с видимым движением Солнца на небе.

Именно для предсказания и установления сроков тех или иных хозяйственных работ эти элементы астрономиче-

ских знаний были нужны людям как в древнем Египте и Вавилоне, Индии и Китае, так и другим народам, заселявшим Землю тысячи лет назад и память о которых не сохранилась до нашего времени. Энгельс подчеркивал: «Сперва *астрономия*, которая уже из-за времен года абсолютно необходима для земледельческих народов» ... *)

... Ежегодно с июля до ноября (по нашему календарю) воды Нила затопляли долину реки, превращая ее в длинное узкое озеро. Как только беспокойная река входила в берега, египтяне начинали сеять, а через четыре месяца собирали урожай. С марта же на протяжении около 50 дней со стороны пустыни Сахары дул сухой знойный ветер, приносящий с собою темные тучи песка и сжигавший все живое. А вскоре наступал очередной разлив реки ...

В Древнем Египте была разработана сложная система искусственного орошения, включавшая в себя много каналов, дамб и резервуаров, которые необходимо было своевременно восстанавливать, подготавливать их к очередному заполнению водой. И египетские жрецы научились сопоставлять начало разлива Нила с видом звездного неба. Они установили, что непосредственно перед разливом на утреннем небе после почти 70 дней невидимости впервые восходит звезда Сириус или, как они ее называли, Сотис (точнее, Сопт) **). Отдавая дань древней традиции, строители храма богини Хатор в Дендере (современный г. Эсне), постройка которого была закончена при императоре Тиберии (14—37 гг. н. э.), разместили на его стене среди прочих и такую надпись: «Божественная Сотис вызывает Нил к началу года» (рис. 1).

На основании продолжительных наблюдений звездного неба древние египтяне разработали и определенные системы счета времени. В частности, это они ввели обычай делить сутки на 24 часа. Для ориентации во времени на протяжении ночи, для счета дней, остающихся до очередного разлива Нила, египтяне фиксировали последовательный восход определенных групп звезд (из общего их числа 36), расположенных равномерно вдоль *эклиптики* — пути, по которому

*) Маркс К., Энгельс Ф. Соч.— 2-е изд.— Т. 20.— С. 500.

**) Строго говоря, из-за прецессии (см. в начале раздела «Он заложил фундамент») дата первого утреннего (*гелиакического*, от греч. «гелиос» — Солнце) восхода Сириуса непрерывно изменяется. Так, в 4000 г. до н. э. гелиакический восход Сириуса наблюдался за семь суток до летнего солнцестояния, в 3500 г. — за три, в 3000 г. до н. э. он уже совпадал с ним, когда как раз и происходил разлив Нила.

происходит видимое годичное движение Солнца. Позже греческие астрономы называли эти звезды *деканами*.

Примерно за 2000 лет до н. э. египтяне установили продолжительность года в 365 дней. В соответствии с этим для



Рис. 1. Иероглифическая надпись, означающая «Божественная Сотис вызывает Нил к началу года»

отсчета времени в дополнительные пять дней — так называемые дни *эпагомен* (греч. «те, что над годом») — на небе были избраны дополнительные группы звезд. Но так как на самом деле Солнце возвращается к одной и той же звезде не через 365 суток ровно, а через 365,2564 суток, то происходило медленное смещение порядка гелиакических восходов деканов по датам гражданского календаря. Поэтому, как показали найденные в различных гробницах тексты, делались попытки изменить порядок расположения деканов. Ко времени же Нового Царства (т. е. к 1584 г. до н. э.) деканы как указатели времени потеряли всякую ценность *).

Одним из очагов древней культуры был Китай. И здесь на протяжении тысячелетий решались важные практические и теоретические вопросы астрономии, которые перед людьми ставила жизнь. Примечательно, что на китайском языке понятие «Вселенная» выражается с помощью двух иероглифов. Первый из них означает «четыре стороны неба и земли», т. е. он выражает понятие «пространство», второй же означает «с древности до нынешнего времени», т. е. выражает понятие времени **).

Для определения времен и сезонов года при китайском императорском дворе были специальные чиновники, в обязанности которых входило по наблюдениям определенных ориентировочных звезд («чэн») устанавливать предстоящее наступление того или другого сезона. Сохранились гадательные надписи на черепашьих щитах, сделанные в XVI—XI вв. до н. э., среди которых, в частности, найдены упоминания о солнечных затмениях. Первым из точно установленных является затмение 6 сентября 776 г. до н. э. Позже, в течение

*) Нейгебауер О. Точные науки в древности.— М.: Наука, 1968.— С. 97. (В повторных отсылках к одной и той же книге мы будем приводить только фамилию автора.)

**) Чэн Цзунвэн. Астрономия в Китае // Историко-астрономические исследования (ИАИ).— 1958.— Вып. IV.— С. 367.

242 лет (772—481 гг. до н. э.), их в Китае зафиксировано 37. В различных записях имеются упоминания о наблюдавшихся протуберанцах и солнечных пятнах. Фиксировали китайские астрономы и появления комет. Много, увы, безвозвратно потеряно: в 213 г. до н. э. по приказу могущественного узурпатора, императора-выскочки Ши-Хуанди, были сожжены все книги... *).

Известно, однако, что уже за 2000 лет до н. э. древнекитайские астрономы установили промежуток между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны — *синадический месяц* — в 29,5 дня и продолжительность солнечного года в 366 дней. С XVI в. до н. э. в Китае используется счет времени по 60-дневным и 60-летним циклам. Бурное развитие астрономии здесь началось с VII в. до н. э. Для определения координат небесных светил использовали *армиллярную сферу* (лат. *armilla* — кольцо, см. рис. 30) — прибор из нескольких вставленных друг в друга колец. Но еще раньше китайские астрономы определяли время дня и наступление сезонов по направлению и длине тени вертикально установленного столба — *гномона*. Есть сведения о том, что около 1100 г. до н. э. астроном Чу Конг, измеряя длину тени от гномона во время летнего и зимнего солнцестояний, определил наклон эклиптики к небесному экватору в $23^{\circ}54'02''$.

Внимательно наблюдали китайские астрономы за движением Луны, а для удобства в счете времени пояс небесной сферы, по которому происходит это движение, был разбит на 28 «лунных домов», поскольку за 27,32 суток Луна возвращается к той же звезде (этот промежуток времени называется *сидерическим месяцем*). Традиция эта, по-видимому, очень древняя: на китайском языке название «лунный дом» происходит от иероглифа «сю», имеющего два значения: «останавливаться», «ночевать» и... «созвездие». Было замечено также, что Луна движется по небу неравномерно, но связывалось это с нарушением гармонии между небом и Землей, допущенной «сыном Неба» — императором — или его приближенными: «Если на троне — мудрый государь, Луна следует правильным путем. Если государь не мудр и властью пользуются министры, Луна сбивается с пути. Если высшие чиновники ставят свои личные интересы выше своих обязанностей, Луна отклоняется к северу или к югу. Если Луна движется быстро, это бывает потому, что государь медлит с наказанием; когда Луна замедляет движение, это происходит потому, что государь скор на расправу». Это

*) Паннекук А. История астрономии. — М.: Наука, 1966. — С. 94.

выдержка из астрономического труда IV в. до н. э. Ши Шэня. В нем было описание 122 созвездий и каталог 809 звезд.

Китайские астрономы заметили и пять «блуждающих светил», которым позже греки дали название *планеты*, имеющее тот же смысл. Были определены их периоды движения по отношению к Солнцу — *синодические периоды*, довольно близкие к их истинным значениям. Как и многие другие

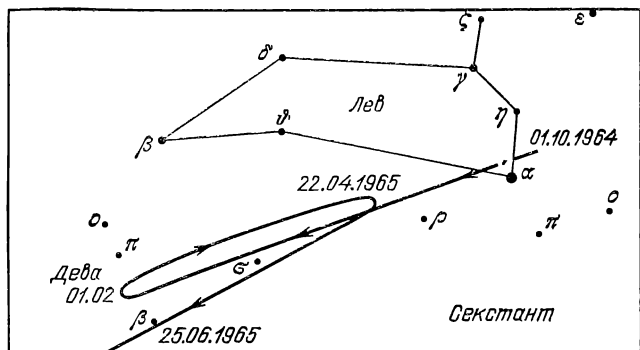


Рис. 2. Видимый путь Марса среди звезд в 1964—1965 гг.

народы, китайцы стремились предугадать судьбы государства по особенностям движений планет, в частности, в зависимости от того, в каком «лунном доме» планета описывает петлю (рис. 2) и т. д.: «Если Марс начнет попятное движение в доме Ин-ши, министры составят заговор, а солдаты восстанут»...

Вавилонская астрономия. «Вряд ли существует в истории науки другая глава, в которой имелось бы столь глубокое расхождение между общепринятым представлением об эпохе и заключениями, которые постепенно вырисовываются при детальном исследовании первоисточников». В вавилонской астрономии «роль наблюдений была весьма скромной; легендарная точность наблюдений также все более и более оказывалась мифом. Одновременно и возраст вавилонской астрономии пришлось определять заново. Оказалось, что ранняя астрономия Месопотамии была незрелой и чисто качественной, ... и только последние три века до н. э. снабдили нас текстами, основанными на последовательной математической теории движения Луны и планет, ... о шумерской астрономии ничего не известно. Мифологические представления о небесах, обожествление Солнца, Луны или Венеры не могут быть названы астрономией, так же как нельзя считать гидродинамикой веру в божест-

венность шторма или воплощение реки» (Нейгебауер, с. 106—108). И этим, как говорится, сказано все...

Расселяться на болотистой равнине между реками Тигр и Евфрат люди начали около восьми тысяч лет назад. Им необходимо было внимательно следить за звездным небом, чтобы своевременно встречать регулярные разливы этих могучих рек. К тому же наводнения время от времени принимали катастрофические масштабы, а для жителей Междуречья становились поистине «всемирным потопом» ...

Для отсчета времени вавилонские жрецы разработали *солнечно-лунный календарь*, по которому отсчет дней в году производили в соответствии с изменениями фаз Луны, так что месяц имел 29 или 30 дней. А чтобы согласовать этот календарь с изменением времен года, через каждые два или три года с 12 месяцами вводили дополнительный, 13-й месяц. Вставка дополнительного месяца вплоть до VI в. до н. э. производилась по распоряжению властей. Примерно с 600 г. до н. э. здесь начали использовать восьмилетний цикл, в котором восемь солнечных лет почти в точности равны 93 синодическим месяцам (погрешность составляет 1,53 суток за 8 лет).

Известно, что в Вавилоне около 700 г. до н. э. был составлен учебник по астрономии («Мул апин»), в котором содержатся списки звезд северной, экваториальной и южной частей неба. Там же были сведения о гелиакических восходах звезд, списки пар звезд, из которых одна восходит, другая заходит. В особой таблице даны даты восхода отдельных звезд с указанием тех, которые именно в это время находятся в зените. Были в тексте и сведения о планетах, о Луне, о временах года, длине тени гномона и др. Имеются основания полагать, что первая часть этого текста была составлена гораздо раньше указанного года.

Издавна в Междуречье проводились регулярные наблюдения планет, которые считались звездами богов, провозвестниками их воли. Поэтому и названия свои планеты получили по именам богов: звезда богини Иштар (Венера), звезда Набо (Меркурий), звезда Нергала, бога чумы (Марс), звезда Мардука (Юпитер), звезда Ниниб (Сатурн). Сопоставляя определенные события с положением планет на небе в это время, древние вавилоняне (в общем — астрологи различных стран) стремились предугадать будущие события в зависимости от того, где, в каком созвездии будет та или другая планета.

В последние 300 лет до н. э. в Междуречье начался подлинный расцвет астрономии. Об этом свидетельствуют мно-

гочисленные записи на глиняных табличках того времени, которых лишь в Британском музее насчитывается свыше 46 000. Среди них имеются отрывки текстов, охватывающих несколько десятилетий, в которых указаны данные о восходах, заходах и стояниях планет, в частности для Юпитера (рис. 3). Были определены периоды обращений

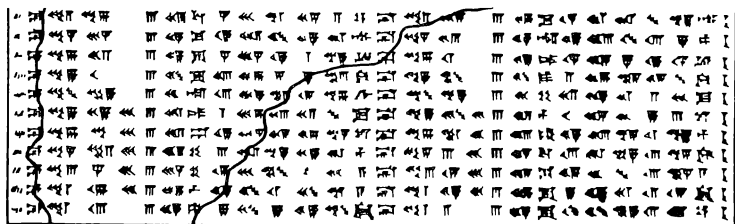


Рис. 3. Запись положений Юпитера, сделанная вавилонскими астрономами; указаны, в частности, длины дуг, на которые планета сместилась на протяжении синодического периода

планет (их возвращение к тому же положению относительно Солнца в том же созвездии), зафиксированы солнечные и лунные затмения.

И здесь как раз возникает вопрос: умели ли вавилонские астрономы предвычислять наступление затмений, другими словами, был ли им известен *сарос* — промежуток времени в 18 лет 11 дней 7 часов 42 минуты, по истечении которого затмения повторяются? История этого вопроса подробно изложена О. Нейгебауером. Оказывается, у шумеров был знак «шар», означавший «Вселенную», и он же использовался для обозначения числа 3600. Именно в смысле числа 3600 этот знак и понятие использовал вавилонский астроном Берос, который ок. 280 г. до н. э. поселился на острове Кос, преподавал там историю вавилонской культуры и написал на греческом языке «Историю Вавилона». Так же понимали это слово Абиден (II в. н. э.) и Синкелл (ок. 800 г. н. э.). Далее мы процитируем О. Нейгебауера:

«В астрономическом смысле «сарос» впервые употребляется в энциклопедии Свида (около 100 г. н. э.). Там говорится, что «сарос» — это «мера или число у халдеев», и затем добавляется, что один «сарос» содержит 222 месяца, т. е. 18 лет и шесть месяцев, а 120 саросов соответствуют 2222 годам. Первое подразумевает, что год содержит ровно 12 месяцев. Это исключает вавилонский календарь. Второе

соотношение является следствием первого, если допустить, что по ошибке переписчика вместо 2220 написано 2222, иначе оно бессмысленно. Ни в одном случае нет никакой связи с затмениями.

Плиний (в «Естественной истории») пишет о повторении затмений через 223 месяца ... Эдмунд Галлей имел в своем распоряжении текст Плиния с числом 222. Он понимал, что только 223 имеет смысл и предположил, что такую же поправку надо сделать у Свида, источником которого он считал Плиния ... Галлей предположил, что Свиди хотел сказать, что 223 месяца назывались одним «саросом», и он опубликовал это предположение в ... 1691 г. ... Гипотеза Галлея ... в форме факта ... была повторена Монтюклá в ... его истории математики ... После Монтюкла для всех руководств стало догмой, что вавилоняне использовали «сарос» для предсказания затмений» (Нейгебауер, с. 143—144).

Так и появился миф о саросе ... На самом же деле даже в начале III в. до н. э. вавилоняне, как показывают тексты табличек, предвычисляли наступление затмений путем тщательных наблюдений положений Луны. Правда, закономерность в повторяемости лунных затмений, видимых более чем с полусферы Земли, они в то время могли уже заметить, тем более что счет дням они вели лунными месяцами, и поэтому легко могли обнаружить, что затмения Луны происходят зачастую через шесть месяцев. А то, что с определенного пункта Земли в каждые четыре года можно наблюдать три лунных затмения, причем одно из них полное, предоставляло большой материал для обобщений и поиска цикла повторяемости. Если же говорить о солнечных затмениях, то наблюдатель, находящийся в любом конкретном пункте Земли, никакой закономерности в их наступлении не обнаружит ...

На море и на суше. Истоки современной астрономии лежат в древней Греции, и об этом речь пойдет в следующем разделе. Здесь же необходимо сказать еще несколько слов о предыстории этой древнейшей науки, о нуждах пастухов, землепашцев и мореходов, стимулировавших ее развитие ...

Нелегкой и полной забот была жизнь кочевых народов, занимавшихся скотоводством. С началом горячего лета пастухам приходилось перегонять стада и табуны через бескрайние степи в горы, где в это время можно было найти пастбища и воду. Осенью же они вновь возвращались на равнину. Чтобы не заблудиться во время таких переходов, чтобы не задержаться в горах до опасных метелей, пастухи должны были уметь выбирать нужное направление на местности, определять начало того или другого времени года.

Суровая жизнь вынуждала людей пускаться и в далекие путешествия через моря и даже океаны. Надежными путеводителями их были на протяжении тысячелетий отдельные созвездия ночного неба. В каждый момент времени смелым путешественникам приходилось решать две задачи: где находится их корабль и куда плыть дальше. Бескрайние водные просторы пугали многих. Поэтому одни стремились плавать преимущественно так, чтобы не терять из виду берег. Другие же (и так делали вплоть до XVI в.) вначале двигались вдоль меридиана до той параллели, на которой находился пункт назначения, после чего плыли строго на запад или на восток.

И все-таки плавали! Вспомним хотя бы древних финикийцев, населявших восточное побережье Средиземного моря (территорию Ливана и частично Сирии). В VIII—VII вв. до н. э. они имели свои колонии вдоль североафриканского побережья, на территории Франции и Испании. Эти отважные мореплаватели совершали путешествия и вокруг Африки.

Не меньшую смелость проявляли и древние греки. Их страна, щедро усеянная горами и покрытая лесами, не могла прокормить все возрастающее население. Поэтому греки поселялись на соседних островах и на побережье от Малой Азии до Южной Италии и даже на северном берегу Черного моря. Находясь в открытом море, они ориентировались по отдельным группам звезд. Об этом, в частности, рассказал еще в VIII в. до н. э. античный поэт Гомер, описывая путешествие Одиссея:

«Радостно парус натяг Одиссей и, попутному ветру
Вверившись, поплыл. Сидя на корме и могучей рукою
Руль обращая, он бодрствовал; сон на его не спускался
Очи и их не сводил он с Плеяд, с нисходящего поздно
В море Воота, с Медведицы, в людях еще Колесницы
Имя носящей и близ Ориона свершающей вечно
Круг свой, себя никогда не купая в водах океана.
С нею богиня богинь повелела ему неусыпно
Путь соглашать свой, ее оставляя по левую руку...» *)

Известно, что в древней Греции существовало пособие по навигационной астрономии, составленное в начале VI в. до н. э., вероятно, Фалесом Милетским (ок. 624—547 до н. э.).

Между 725 и 650 гг. до н. э. сочинил свою поэму «Работы и дни» греческий поэт Гесиод. В ней изложены практические

*) Гомер. Одиссея / Пер. В. А. Жуковского.— М., 1959.— С. 76.
Воот — созвездие Волопаса.

советы,, относящиеся к различным сторонам жизни хлебо-роба и к его труду на протяжении года, сопоставлены начала тех или иных сельскохозяйственных работ с видом звездного неба. В частности, Гесиод указывает, что во время первого утреннего (гелиакического) восхода звездного скопления Плеяды (в его время — 10 мая по современному календарю) следует браться за серп, а когда эта группа звезд на рассвете заходит (с начала ноября), наступает время пахать:

«Лишь на востоке начнут восходить Атлантиды-Плеяды,
Жать поспешай, а начнут заходить,— за посев принимайся» *).

Древние римляне начало своих полевых работ также определяли по восходу и заходу отдельных звезд и их групп. Едва ли не главным «ориентиром» при этом был восход и заход (утренний и вечерний) Плеяд, которые в Риме именовались Вергилиями. Например: «Между весенним равноденствием и восходом Вергилий пропалывают нивы, ... следует сажать маслины ... Между (утренным) восходом Вергилий и летним солнцестоянием вскапывать или пахать молодые виноградники ... Между летним солнцестоянием и восходом Пса (от 22 июня по 19 июля) большинство занято жатвой» **).

В свою очередь, по внешнему виду Солнца и Луны люди стремились предугадать погоду на ближайшие дни. И, вероятно, при этом они обнаружили, что солнечный диск не всегда безукоризненно чист ... Уже в IV в. до н. э. древнегреческий философ и естествоиспытатель Теофраст из Афин наблюдал на Солнце пятна. Об этом же писал в «Метаморфозах» римский поэт Овидий (43 г. до н. э.— 17 г. н. э.), упоминая о солнечных пятнах, которые в год смерти Юлия Цезаря можно было видеть на диске Солнца в течение нескольких дней:

« ... и лик опечаленный Феба
Мертвенный свет проливал на покоя лишенную Землю...
Ржавчиной темной тогда по утрам светоносец лазурный
Был закраплен ...».

Еще больше деталей на Солнце сумел разглядеть и рассказать о них в своих «Георгиках» римский поэт Вергилий (70—19 гг. до н. э.):

« ...мы часто видим,
Как по нему самому разливаются разные краски:
Цвет лазоревый — дождь предвещает, огненный — эвры.

*) Хрестоматия по античной литературе: Т. I.— М., 1965.— С. 68.

**) Варрон. Сельское хозяйство.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963.

Если же пятна начнут мешаться с огнем золотистым,
Все — ты увидишь — тогда закипит одновременно ветром
И облаками...» *).

Как полагают, «огонь золотистый» — это факелы, наблюдаемые вокруг солнечных пятен.

Древнейшая космология. Как видим, уже в глубокой древности люди постепенно приобретали определенные астрономические знания, учились использовать их для своих практических нужд. Вполне естественно, что проводя продолжительные наблюдения неба, люди стремились составить и определенные представления об окружающем их мире «в целом», о его строении, происхождении, установить место Земли в нем и роль, отведенную им, людям. Очевидно, что в то время ответы на все эти вопросы они могли дать лишь на основе своих непосредственных впечатлений, своих ощущений; прошло немало времени, пока выяснилось, что картина мира, построенная таким образом, является ложной.

Так, для древних людей было естественным считать, что Земля неподвижна. Они наблюдали, как Солнце и Луна, весь небосвод вращаются вокруг нее, и воспринимали это как вполне очевидный факт. Они не имели также оснований сомневаться в том, что Земля плоская. Наконец, логично было предположить, что она — центр всего мира. Со временем у людей сформировалось представление, что весь мир создан именно из-за них. Эта позиция называется *антропоцентризмом* (от греч. «антропос» — человек). И лишь впоследствии, как метко выразился выдающийся английский астрофизик Джеймс Джинс (1877—1946), «неумолимые факты свергли его (человека — И. К.) с того трона, который он строил себе в центре Вселенной. Отныне он должен смириться с положением жителя пылинки среди миров ...».

Но этой правды древние не знали. И на все перечисленные выше вопросы они находили самые наивнейшие ответы. Со временем эти примитивные взгляды на мир тесно переплелись с религиозными представлениями людей и стали тормозом в развитии науки. Сопоставление же этих примитивных космологических представлений с сегодняшней картиной мироздания дает возможность глубже прочувствовать, как далеко вперед шагнула в своем развитии наука о небе — астрономия.

Мы вновь в Междуречье. Это здесь зародились представления, что все на Земле — лишь отражение того, что существ-

*) Цитировано по статье: Соломатина Э. К. Развитие представлений о солнечных пятнах // ИАИ.— 1977.— Вып. XIII.— С. 276.

вует на небе, именно здесь сложились широко известные представления о строении мира.

Согласно шумерийской легенде, мир вначале существовал в виде «первичных вод», творцами которых были боги Апсу (бог Мирового океана), Мумму (бог мудрости) и Тиамат (богиня моря). Вскоре между упомянутыми богами-творцами и другими началась великая битва, в которой Апсу и Мумму погибли от руки бога моря и мудрости Эа, а бог Мардук, которого боги провозгласили своим царем, победил богиню Тиамат. После этого Мардук разрезал тело Тиамат на две части и сделал из них небо и землю. На небе он укрепил Солнце, Луну, планеты и звезды, на Земле же из глины, замешанной своей кровью, создал людей.

В древнем Вавилоне сформировались взгляды, согласно которым Земля имеет вид выпуклого круглого острова, плавающего во всемирном океане. На земную поверхность опирается небо — твердый свод (пустотелая полусфера из твердого камня), к которому прикреплены звезды и планеты и по которому совершает свою ежедневную прогулку Солнце. Утром оно восходит на небо через одни ворота, а вечером опускается под землю через другие. Небо отделяет «нижние» воды (т. е. океан, окружающий Землю) от «верхних», дождевых вод. Поэтому, думали древние вавилоняне, как только в небе открываются окна, на землю падает дождь ...

Само же небо будто бы состоит из трех «этажей», там живут боги. Аналогично из трех слоев должна была состоять и Земля: на верхнем жили люди, в среднем — бог Эа, в нижнем располагалось царство мертвых. Впоследствии некоторые элементы этой модели мира позаимствовали древние евреи, в частности, есть они и в Библии. Так, в «Книге Иова» говорится, что бог «распростер небеса, твердые, как литое зеркало» (Иов, 37, 18).

Древние египтяне представляли себе Землю в виде большой прямоугольной долины, простирающейся с севера на юг. Посередине долины будто бы протекает Нил. Окружают долину горы, там течет небесный Нил, по которому плавает челн бога Солнца. Плоское железное небо держится на четырех столбах ...

В древнем Китае считали, что Земля имеет форму плоского прямоугольника, над которым на столбах поддерживается круглое выпуклое небо. Согласно легенде озлобленный дракон согнул центральный столб, вследствие чего Земля наклонилась на восток, поэтому все реки в Китае текут на восток; небо же наклонилось на запад, и поэтому все светила движутся с востока на запад. По-видимому, древние пред-

ки китайцев не сразу поняли, что каждый день восходит одно и то же Солнце, поэтому день и Солнце они обозначили одним и тем же иероглифом «жи».

У персов и некоторых других народов Востока существовали представления о яйцеобразном строении мира: скорлупа изображала небосвод, белок — атмосферу, желток же — Землю. Согласно одному из древнеиндийских представлений земную полусферу поддерживают четыре слона,

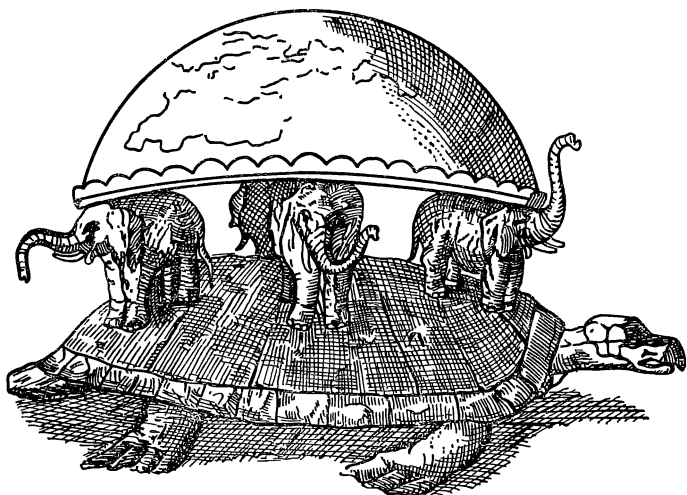


Рис. 4. Древнеиндийское представление о строении мира

стоящие на гигантской черепахе (рис. 4). Согласно другому первой из всех вещей была вода, которой было заполнено все мировое пространство. Через некоторое время вода заволновалась и стала пениться. Из пены появилось яйцо, которое раскололось, и из него вышел бог Брахма. Одна из двух половинок яйца стала небом, другая — Землей. Что же касается звезд, то в древнеиндийской священной книге Ваю-Пурама о них сказано так: «Ветер двигает звезды вокруг полюса, к которому они привязаны невидимыми для людей нитями»...

Если же говорить о космологии древних греков, то первой из известных попыток свести ее в единую систему является поэма Гесиода «Теогония». В ней говорится, что вначале существовал лишь вечный, бесконечный и темный Хаос. Из него возник весь мир и бессмертные боги. Из Хаоса произошла и богиня Земли Гея, а глубоко под землей родился Тартар — бездна, заполненная вечной тьмой. Из

Хаоса, источника жизни, родилась и могучая сила, все-оживляющая Любовь — Эрос. После этого начал твориться мир. Бесконечный Хаос породил вечный Мрак — Эреб и темную Ночь — Нюкту, от них родились вечный Свет — Эфир и светлый День — Гемера. Свет разлился по миру, после чего ночь и день начали сменять друг друга. Далее Земля породила бесконечное голубое небо (Урана), которое раскинулось над Землей. К нему устремились высокие горы, рожденные Землей, широко разлилось вечношумливое море...

Загадки древних камней. Представление о «тверди небесной», столь распространенное у многих народов древности, казалось, имело подтверждение: то в одном, то в другом месте на Землю падали иногда железные, но чаще каменные *метеориты*, как полагали — обломки «небесной тверди». И уже в доисторические времена возникла *литолатрия* — поклонение камням, *бетилам* (они назывались также «помазаные камни» или «одушевленные камни»), многие из которых и были метеоритами.

В истории греческой религии известно много примеров поклонения камням. Обработанные бетилы здесь именовались *палладиями* (посвященными богине Палладе), или *ксоанами*. В древней Греции широко распространенным было гадание по ксоанам: переноса их на носилках, истолковывали качание последних ...

Поклонялись бетилам, в частности метеоритам, и в древнем Риме. Так, выпавший в Галатии и служивший культу фригийской богини Луны и плодородия Кибеле метеорит массой около 204 г был перевезен в Рим, где был провозглашен государственным символом «великой матери богов» — Реи, причем были даже учреждены специальные празднества — мегалезии, а в 191 г. до н. э. на Палатинском холме был сооружен специальный храм для этого божества. Другой метеорит около 218 г. н. э. был перевезен императором Варием Авитом (Аврелием Антонином) из Эмеса в Рим, где он почитался как сирийский бог Солнца Элагабал.

Согласно легенде из небесного камня появился основатель одного из религиозных течений Митра. Индусы в виде камней почитали богиню Шишти, покровительницу детей, и бога Шиву. Но наибольшую известность получил метеорит Хаджар-эль-Асвад, которому до сих пор поклоняются мусульмане в Каабе — святилище Мекки *).

*) *Ковшун И. Н.* Развитие представлений о метеорных явлениях от античности до XIX в. // ИАИ.— 1977.— Вып. XIII.— С. 305.

Сегодня этот класс камней не представляет загадки — их природа и происхождение достаточно изучены. Но в различных местах нашей планеты имеются группы вертикально установленных камней, с каждым годом привлекающих к себе все большее внимание. Для их описания имеется и специальная терминология. Стоячие камни принято называть *менгирами*, сооружение из двух вертикальных плит, накрытое третьей, горизонтальной, — это *трилит*, или *долмен*, кольцо вертикально установленных камней — *кромлех*.

Наиболее известный из кромлехов — Стоунхендж, расположенный на юго-западе Англии, на равнине Солсбери, возраст которого оценивается в 4000 лет.

Разгадке «тайны Стоунхенджа» посвящено много статей и книг *), и вывод таков: это сооружение могло быть своеобразным храмом, ведь в нескольких местах там найдены остатки обгорелых человеческих костей, и следовательно, можно думать о ритуальных погребениях и жертвоприношениях. Но главное в другом. Сопоставление направлений из ряда точек сооружения на различные ориентиры указывает точки восхода и захода Солнца в различные времена года!

Отсылая читателя за подробностями к замечательным книгам Дж. Хокинса и Дж. Вуда, ограничимся замечанием, что подобные мегалитические сооружения найдены не только во многих местах северо-запада Европы, но и на территории СССР, в частности в Хакасии в долине реки Белый Июс **). Известны системы из нескольких храмов или стел (испещренных иероглифами каменных столбов), с помощью которых майя фиксировали направления на точки восхода Солнца в дни равноденствий, летнего и зимнего солнцестояний. А это уже далеко за океаном ...

Из всего сказанного видно, что уровень астрономических знаний в доисторическое время в отдельных пунктах Земли мог быть достаточно высоким, причем «огромный объем и поражающая нас точность наблюдений, проводившихся древними, намного превышали чисто хозяйственные потребности». Зачем же это? «Дело в том, что Солнце, Луна и планеты считались божествами, наблюдения за которыми обретали ритуальный смысл. Более того, считалось, что если движения небесных светил влияют на природу, вызывая, в частности, смену времен года, т. е. во многом определяют внешние обстоятельства жизни человека, то равным образом

*) Хокинс Дж., Уайт Дж. Разгадка тайны Стоунхенджа. — М.: Мир, 1973. Вуд Дж. Солнце, Луна и древние камни. — М.: Мир, 1981.

**) Ларичев В. Е. Древо познания. — М.: Политиздат, 1985.

они должны влиять и на самую человеческую жизнь. Периодические движения небесных светил, по сути, символизировали для первобытных людей предопределенность судьбы. Отсюда вытекало, что будущее человека, племени, народа можно прочесть в движении светил» ... Поэтому «игнорируя или недооценивая названные доводы, нельзя вполне понять появление памятников мегалитической культуры ...» *).

МИР ДРЕВНЕГРЕЧЕСКИХ ФИЛОСОФОВ

Вода, воздух или огонь? В VII—V вв. до н. э. Греция, состоявшая из отдельных городов-государств, находилась под культурным влиянием многих стран Востока. Здесь, в частности, было распространено египетское представление о Земле как протяженной низменности, окруженной горами, на которых и держится небосвод.

Однако для тех греков, которые привыкли путешествовать по безграничным морским просторам, такая картина мира, несомненно, казалась «тесной» и неприглядной. Именно в греческих колониях на западных берегах Малой Азии (Иония), на юге Италии и в Сицилии в VI в. до н. э. началось бурное развитие науки, в частности философии как учения о природе. Именно здесь на смену простому созерцанию явлений природы и их наивному истолкованию приходят попытки научно объяснить эти явления, разгадать истинную причину их возникновения.

Родиной древнегреческой философии была Иония с ее двумя крупнейшими городами — Милетом и Эфесом, а первым из выдающихся греческих философов и одним из первых астрономов был Фалес Милетский. Согласно космологическим представлениям Фалеса первоосновой всех вещей в природе является вода, из нее будто бы образовалась и Земля. Что же касается формы Земли, то, по мнению Фалеса, она представляет собой круглый диск, плавающий в реке Океан. Несколько позже, около 500 г. до н. э., первый греческий географ Гекатей Милетский привел даже диаметр этой плиты (в нашем измерении — около 8000 км).

Однако уже в то время у образованных греков, плававших по Средиземному и Черному морям, не могли не возникнуть сомнения в отношении справедливости такой картины мироздания. Ведь если бы Земля была плоской, то звездное небо должно было бы иметь практически одинако-

*) Казютинский В. В. — см. в кн.: *Вуд Дж.*, с. 267.

вый вид из любой ее точки. В действительности же наблюдатель, движущийся, например, на север, замечает, что некоторые хорошо известные ему звезды перестают скрываться за горизонт, тогда как в южной части неба отдельные звезды и созвездия вообще становятся невидимыми. Причину этого явления можно объяснить лишь тем, что Земля выгнута в направлении с севера на юг.

Именно к такому выводу пришел ученик Фалеса Анаксимандр (ок. 610—546 гг. до н. э.). По его мнению, Земля имеет форму цилиндра («подобна отрезку каменной колонны»), ось которого совпадает с направлением восток—запад, а высота составляет $\frac{1}{3}$ его диаметра. Согласно Анаксимандру первопричиной всего является не вода, а первичная «неопределенная материя» — «апейрон», которая бесконечна и вечна и существует в движении, переходя из одного состояния в другое. Эта неопределенная материя будто бы вначале выделила из себя противоположности — тепло и холод, благодаря которым и появились конкретные вещи мира. Прежде всего в результате взаимодействия тепла и холода образовалась вода. Ее высыхание обусловило возникновение огня, воздуха и земли. В частности, «при возникновении нашего мира из вечного начала выделилось детородное начало теплого и холодного, из него образовалась огненная сфера, охватившая воздух, окружающий Землю, подобно тому, как кора дерева». Когда огненная сфера разорвалась и замкнулась в несколько колец, возникли Солнце, Луна и звезды.

Анаксимандр утверждал, что таких миров, как наша Земля, во Вселенной может быть бесконечное множество. Согласно представлениям этого философа, Земля, находясь в пространстве, ничем и никем не поддерживается.

А вот как объяснял строение мира другой философ милетской школы Анаксимен (ок. 585 — ок. 525 гг. до н. э.). Первоосновой материи должен был быть воздух: «из него исходит все, в него возвращается назад все». При разрежении воздух становится огнем, при сгущении — облаками, водой, землей, камнями, из этих веществ и возникает все остальное. Анаксимен представлял себе небо в виде хрустального свода, к которому прикреплены звезды. Между небом и плоской Землей в воздухе будто бы плавают плоские диски Солнца, Луны и планет. Затмения происходят тогда, когда светило поворачивается к Земле темной стороной ...

В трудах некоторых древних философов сохранилось около 130 отрывков из работ выдающегося мыслителя, осно-

воположника диалектики Гераклита Эфесского (ок. 544 — ок. 470 гг. до н. э.). Это ему принадлежат слова: «Мир, единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, а был, есть и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим ...». Таким образом, сущностью взглядов Гераклита является учение о непрерывном развитии мира, основа которого — вечно живущий огонь. Что же касается конкретных космологических представлений Гераклита, то они до нас практически не дошли. Известно лишь, что он представлял Солнце гигантской чашей, в которой сосредоточиваются облака влажных испарений, способных самовозгораться. Затмения наблюдаются, когда чаша поворачивается к нам своей выпуклой стороной.

В VI в. до н. э. в греческой колонии на юге Италии возникла так называемая Пифагорейская школа, основателем которой был философ Пифагор (ок. 580—500 гг. до н. э.). Пифагорейцы учили, что первоосновой всего существующего и мерой всех вещей являются числа. Эту надуманную «гармонию чисел» они и стремились отыскать в природе (а точнее — навязать ей). Как считают, именно Пифагор — выдающийся математик — впервые высказал мысль о том, что Земля, как и другие небесные тела, имеет форму шара, который висит во Вселенной без всякой поддержки. Представление же о шарообразности небесных тел Пифагор почерпнул из наблюдений за изменением фаз Луны: ведь линия, отделяющая светлую и темную части ее поверхности, является кривой. А этого не было бы, если бы Луна была плоским диском. К аналогичному выводу о форме Земли можно было прийти, наблюдая, как исчезает за горизонтом корабль, вышедший из гавани: вначале исчезает корпус и лишь после этого паруса. Еще одним доказательством шарообразности Земли могла быть для Пифагора округлая форма земной тени, падающей на Луну при ее затмении.

Полагают, что именно Пифагор высказал мысль, будто каждая из семи планет (сюда причислены Солнце и Луна) расположена на своей сфере так, что при вращении этих сфер возникает гармоническая музыка. Расстояния же между сферами будто бы соответствовали музыкальным интервалам дорийского лада: от Земли до Луны — 1 тон, от Луны до Меркурия — $\frac{1}{2}$ тона, от Меркурия до Венеры — $\frac{1}{2}$ тона, от Венеры до Солнца — $1\frac{1}{2}$ тона, от Солнца до Марса — 1 тон, от Марса до Юпитера — $\frac{1}{2}$ тона, от Юпитера до Сатурна — $\frac{1}{2}$ тона и от Сатурна до сферы неподвижных звезд — $\frac{1}{2}$ тона. Интервалу в 1 тон будто бы соответствовало расстояние в 126 000 стадий. Стадия же (или ста-

дий) — широко использовавшаяся в Древней Греции и Египте единица длины; она равна расстоянию, проходимому человеком за время, на протяжении которого диск Солнца всеми своими точками восходит над горизонтом (или же скрывается за ним), — примерно две минуты. В различных местностях Греции длину стадии принимали различной — от 157,5 м до 185 м. Приняв это последнее значение, находим, что согласно древним грекам расстояние от Земли до Луны равно 23 310 км, т. е. приуменьшено почти в 21 раз, расстояние до Солнца всего будто бы около 82 000 км, а до

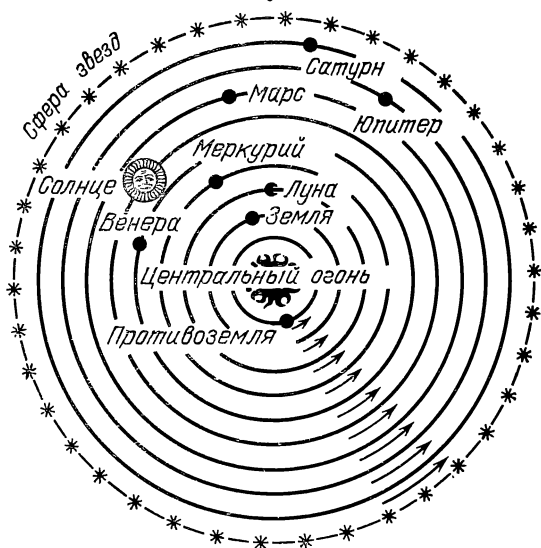


Рис. 5. Модель мира по Филолаю

«сферы неподвижных звезд» — около 140 000 км. Слишком тесен был этот мир пифагорейцев ...

Более подробную картину строения мира в свете пифагоровых идей начертил Филолай (ок. 470 — ок. 399 гг. до н. э.). Он высказал мнение, что в центре мира находится не Земля, а центральный огонь («хестиа») и что Земля, Луна, Солнце, планеты и сфера звезд вращаются вокруг него. При этом Земля будто бы вращается еще и вокруг своей оси таким образом, что в каждый момент времени центральный огонь мы видеть не можем. Само же Солнце — прозрачный, как стекло, шар, который отражает свет, падающий на него от центрального огня. Чтобы «подогнать» количество сфер до десяти (числа, по мнению пифагорейцев, священного), Филолай допускал, что вокруг центрального огня обрача-

ется еще и «противоземля», которую мы просто не можем видеть, так как она постоянно находится за центральным огнем (рис. 5). Примечательно, что еще в VI в. до н. э. пифагореец Гикетий высказал мысль: Земля, располагающаяся в центре мира, вращается в течение суток вокруг своей оси. Со временем таких же взглядов придерживался и философ Гераклид Понтийский (ок. 390 — ок. 310 гг. до н. э.), утверждая, что планеты Меркурий и Венера обращаются вокруг Солнца и вместе с ним вокруг Земли.

Как полагают, именно пифагорейцы присвоили планетам собственные названия: Меркурию — Стилбон (искристая), Венере — Фосфорос (светоносная), Марсу — Пироис (огнеподобная), Юпитеру — Фазтон (блистающая) и Сатурну — Фенон (светящаяся).

Мир состоит из атомов! Важное место среди древнегреческих философов занимают атомисты Анаксагор (ок. 500 — ок. 428 гг. до н. э.) и Демокрит (ок. 460 — ок. 370 гг. до н. э.). Первый утверждал, что все вещи состоят из первичных мельчайших и разнообразных частичек — «гомеомерий», зернышек, существующих вечно и не превращающихся друг в друга. Вначале будто мир пребывал в состоянии хаоса. Со временем Разум породил первичный вихрь, из которого и возник мир. По Анаксагору Солнце, Луна и другие небесные светила — это камни, некогда оторвавшиеся от Земли и находящиеся в раскаленном состоянии в результате своего быстрого движения. К тому же Луна полностью подобна Земле: на ней есть горы и долины, ее населяют живые существа. Метеориты же, в свою очередь, — обломки Солнца. За высказанные взгляды, за то, что посчитал Солнце не божеством, а всего лишь каменной глыбой, Анаксагор был обвинен в безбожии и приговорен к смертной казни, замененной высылкой из Афин.

Демокрит был одним из самых выдающихся философов-материалистов античного мира. Он много путешествовал, был в Вавилоне, Египте, Индии, Эфиопии. Как свидетельствует выдающийся древнеримский философ, писатель и политический деятель Марк Туллий Цицерон (106—43 гг. до н. э.), Демокрит «сам себя лишил зрения, так как считал, что раздумья и размышления разума при созерцании и осмысливании природы будут более оживленными, когда освободятся от развлечений зрения и препятствий глаз». Известно, что важнейшим сочинением Демокрита было «Мегас Диакосмос» («Великое строение мира»), о содержании которого можно лишь догадываться. Ведь злостное уничтожение сочинений Демокрита началось еще при его жизни

учениками философа Платона (427—347 гг. до н. э.) по приказу их учителя...

Первоосновой мира Демокрит считал бесконечное количество атомов и пустоту, в которой эти атомы движутся. Атомы же, по Демокриту, — это мельчайшие, невидимые глазом материальные и неделимые частицы. Они вечны и неизменны, бесконечно разнообразны по форме. Именно из них и состоят все вещи, все тела, в том числе и люди. В пустоте легкие атомы падают медленнее, тяжелые быстрее. Поэтому они догоняют друг друга, соударяются и соединяются друг с другом специальными крючками. Так вследствие сцепления атомов образуются целые вещи.

По Демокриту Вселенная состоит из бесконечного числа миров, которые образуются вследствие соударений атомов. Эти миры разнообразны по величине. В одних нет ни Солнца, ни Луны, в других они больше, нежели наши, в третьих их больше по количеству. Некоторые миры вообще лишены влаги, на них нет ни животных, ни растений. Одни миры лишь зарождаются, другие пребывают в своем расцвете, третьи уже разрушаются.

Демокрит высказал ряд гениальных догадок, подтвержденных лишь через много столетий. Он, в частности, утверждал, что по своим размерам Солнце во много раз больше Земли, что Луна светит отраженным солнечным светом, что Млечный Путь является скоплением огромного количества звезд.

Космологические взгляды Демокрита изложил философ Диоген Лаэртский (первая половина III в. до н. э.) в своей десяти томной книге «Биографии философов».

Столетием позже атомистические идеи Демокрита дальше развивал философ Эпикур (341—270 гг. до н. э.), взгляды которого подробно изложил римский философ Тит Лукреций Кар (ок. 99—55 гг. до н. э.) в своей поэме «О природе вещей». Как и Демокрит, Эпикур, а вслед за ним и Лукреций, считали, что единственной объективной реальностью являются подвижные материальные атомы и пустота. Именно непрерывное движение «первоначал вещей», их соударение и соединение и образуют неисчислимое количество миров. Неразрушимая же материя вечно превращается из одной формы в другую:

«Ты видишь отсюда,

Что из материи все вырастает своей и живет ей.

Мир бесконечен в пространстве:

Нет никакого конца ни с одной стороны у вселенной ...».

Взаимная совокупность «часто великих вещей» образует зачатки и моря, и земли, и небес, «и племени тварей живу-

щих». Сформировавшись, Земля породила жизнь, которая постепенно развивалась и разнообразилась. Так идея о закономерном развитии природы без вмешательства сверхъестественных сил была высказана отдельными греческими философами еще за две тысячи лет до нашего времени.

При этом, увы, Лукреций возвратился к представлениям о плоской Земле и резко выступал против существования антиподов, против относительности понятий «верх» и «низ» ...

Вопреки Демокриту Платон утверждал, что действительный мир составляют идеи, «духовные сущности», в то время как видимый мир является лишь их внешним проявлением. Все звезды для Платона были «божественными сущностями», с телом и душой; их видимая форма состояла будто бы в основном из огня, для того чтобы они выглядели яркими и прекрасными, а для подобия с Всецелым они делались шарообразными.

Система хрустальных сфер. Как полагал Платон, Вселенная — это единая, вечная, живая и совершенная сфера, в центре которой находится Земля. В своем труде (схолии) «Тимей» Платон говорит, что демиург (творец) «Земле ... определил вращаться вокруг оси, проходящей через Вселенную; он ее сделал стражем и творцом ночи и дня...» (Сочинения. — 1981. — Т. 3(1). — С. 480). В другом сочинении («Государство») Платон описывает восемь сфер, на которых укреплены планеты и звезды и цвет каждой сферы соответствует цвету «ее» планеты. Интервалы между сферами в целом составляют октаву; на каждой из сфер сидит сирена и поет в определенной тональности... Вращаясь, каждая из сфер, тем не менее, медленно поворачивается в направлении, противоположном вращению целого. Примечательно, что скорости вращения сфер Солнца, Меркурия и Венеры у Платона равны между собой. В «Тимее» об этом сказано так: «Луну он поместил на ближайшей к Земле орбите, на второй орбите над Землей он поместил Солнце; за ним — утреннюю звезду и звезду, посвященную Гермесу, — на орбитах со скоростями, равными скорости Солнца, но с противоположными силами (т. е. направлениями), из-за чего обе они попеременно догоняют Солнце, а затем оно их догоняет». И далее: «Движение же других люди не постигли, за исключением немногих частных..., и они едва ли знают, что время определяется по перемещению тел, которые так недостижимы, а их движения столь удивительно запутаны»...

У Платона впервые приведены названия планет по именам богов, тождественных вавилонским, — звезды Гермеса, Афродиты, Ареса, Зевса и Кронаса.

Платон категорически утверждал, что движение небесных тел является круговым, равномерным и исключительно правильным. И он поставил перед математиками такую задачу: найти, при помощи каких равномерных и правильных круговых движений можно «спасти явления, которые проявляют планеты». Разработку модели, которая давала бы возможность рассчитать («механически воспроизвести») движение каждой из планет на небесной сфере, возможно, впервые выполнил ученик Платона Евдокс (ок. 408 — ок. 355 гг. до н. э.).

«Установив» неподвижно Землю в центре мира, Евдокс предположил, что движение каждой планеты регулируется несколькими сферами, «вложенными» одна в другую. Одна из них (внешняя) осуществляет якобы один оборот вокруг оси за сутки с востока на запад. Ось другой сферы наклонена к оси первой сферы под некоторым углом (для Солнца — $23,5^\circ$), сама же сфера вращается с запада на восток (для Солнца ее период вращения равен году). Для Луны была введена еще третья сфера, чтобы объяснить ее отклонения от эклиптики (третья сфера была и у Солнца, но понять ее назначение невозможно). Чтобы описать отклонения планет от эклиптики и их попятное движение, Евдокс к двум уже упомянутым добавил еще две сферы — третью и четвертую. Ось вращения третьей сферы лежала в плоскости эклиптики, а ось четвертой составляла с ней небольшой угол, подобранный для каждой из планет в отдельности. Обе эти сферы вращались с одинаковой скоростью, но в противоположных направлениях. Планета же была прикреплена к экватору самой внутренней, четвертой сферы (рис. 6). Период их обращения принимался равным синодическому периоду соответствующей планеты. В итоге планета описывала на небе фигуру типа лежащей на боку восьмерки — *гипопеду* (дословно «путы лошади»). Остается сказать, что период вращения второй сферы равен времени, за которое планета делает полный оборот на эклиптике.

Сведения о теории Евдокса содержатся в комментариях ученого V в. н. э. Симплиция, но они неполны: есть данные о периодах вращения сфер, однако отсутствуют данные об углах наклонов осей сфер. Для Юпитера и Сатурна, приняв наклон осей четвертой и третьей сфер соответственно в 13 и 6° , удастся получить довольно близкие к наблюдаемым дуги попятного движения, для остальных планет этого сделать невозможно. Симплиций упоминает, что известный астроном Каллипп (между 370 и 300 гг. до н. э.) прибавил к четырем сферам Марса и Венеры еще пятую, в этом случае

задача решается, но как это сделал Каллипп — неизвестно.

Итак, с помощью вращения 27 сфер Евдокс объяснял все видимые движения светил. Но его модель противоречила наблюдениям: ведь видимый блеск планет, в особенности Венеры и Марса, существенно изменяется, а это естественнее объяснить тем, что непрерывно изменяется со временем расстояние до той или другой планеты... «Усовершенствование»

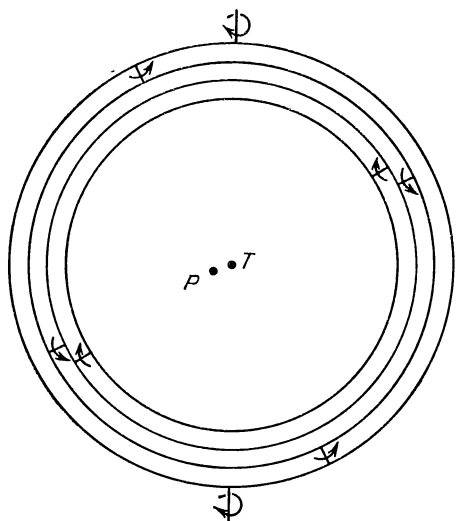


Рис. 6. Система хрустальных сфер Евдокса, T — Земля, P — планета (в проекции на картинную плоскость)

этой системы мира осуществил Аристотель, хотя изменений в блеске планет и он еще не принял во внимание.

Аристотель (384—322 гг. до н. э.) был выдающимся философом античного мира, ученым-энциклопедистом, который обобщил научные достижения своих предшественников, свел их в единую систему и существенно продвинул вперед. Однако, выдвинув правильный тезис, что наука должна опираться на эксперимент и наблюдения, он все же не пошел по пути Демокрита, а стремился примирить материализм с идеализмом. Так, он считал материю хаотичным, сырым и инертным материалом, который непрерывно изменяется под действием активного начала — «формы».

Аристотель считал, что изменения в мире происходят в результате борьбы противоположных качеств — тепла и холода, сухости и влажности. Попарно соединяясь, они якобы образуют первичные элементы: теплый и сухой огонь, теплый и влажный воздух, холодную и влажную воду, холодную и сухую землю. Из них далее и формируются все

вещи в мире. Ранее об этих четырех составляющих элементах всех предметов говорил Эмпедокл (ок. 490 — ок. 430 гг. до н. э.).

По Аристотелю две стихии — вода и земля — естественным образом стремятся двигаться к центру мира («вниз»), в то время как огонь и воздух движутся «вверх», к периферии, и тем скорее, чем более они приближаются к своему «естественному месту». Поэтому в центре мира и размещена Земля, над ней расположены вода, воздух и огонь. Следовательно, по Аристотелю Вселенная ограничена в пространстве, хотя ее движение вечно; она не имеет ни начала, ни конца. Однако это якобы возможно лишь тогда, когда существует еще и другая, неизменяемая и неуничтожаемая форма материи — небесная «пятая сущность» («квинтэссенция»), которую Аристотель называл *эфиром*. Именно для эфира, из которого якобы состоят все небесные тела, круговое движение — это естественное состояние. «Зона эфира» должна была начинаться около Луны и простираться вверх, в то время как ниже Луны размещен мир четырех элементов. В верхние слои этого мира, где смешиваются воздух и огонь, снизу поднимается пар. Воспламеняясь и сгорая, он создает впечатление падающей звезды или кометы.

Вот как описывает свое понимание мироздания сам Аристотель: «Солнце и планеты обращаются вокруг Земли, находящейся неподвижно в центре мира... Солнце не состоит из огня: оно есть огромное скопление эфира, теплота Солнца причиняется действием его на эфир во время обращения вокруг Земли. Кометы суть скоропреходящие явления, которые быстро рождаются в атмосфере и столь же быстро исчезают. Млечный Путь есть не что иное, как испарения, воспламененные быстрым вращением звезд вокруг Земли... Все тяжелые тела стремятся к центру Земли, а так как всякое тело стремится к центру Вселенной, то и Земля должна находиться неподвижно в этом центре».

Строя свою систему мира, Аристотель использовал представления Евдокса о концентрических сферах, на которых размещены планеты и которые вращаются вокруг Земли. Первопричиной этого движения является будто бы «перводвигатель» — особая сфера, расположенная за сферой неподвижных звезд и вынуждающая двигаться все остальные. Поэтому Аристотель считал, что действие этих трех сфер должно компенсироваться дополнительными тремя внутренними сферами, принадлежащими этой же самой планете, так что на следующую планету (кроме последней — Луны) действует только суточное вращение. Но по этой модели у

каждой из планет лишь одна сфера вращается в «нормальном» направлении, с востока на запад, а остальные три вращаются в противоположную сторону. Поэтому в системе мира Аристотеля движения небесных светил описывались при помощи 55 твердых хрустальных сферических оболочек. Со временем в его системе мира выделили восемь концентрических слоев (небес), передающих свое движение друг другу. В каждом таком слое насчитывалось по семь сфер, приводящих в движение данную планету.

Рассматривая вопрос о расстояниях до отдельных небесных тел, Аристотель пришел к выводу, что планеты находятся от Земли дальше Луны и Солнца, а расстояние до

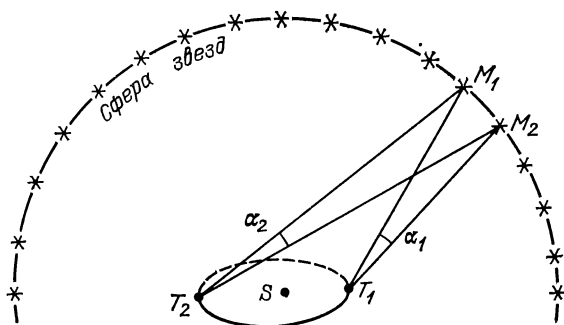


Рис. 7. Изменение углового расстояния между парой расположенных на хрустальной сфере звезд в процессе годичного движения Земли

сферы звезд по крайней мере в девять раз больше расстояния от Земли до Солнца...

Самым серьезным образом и всесторонне Аристотель рассмотрел вопрос о форме Земли и Луны. На основании приведенных выше аргументов (фазы Луны, форма тени Земли и т. д.) он доказал, что как Земля, так и Луна имеют форму шара.

Аристотелю были известны соображения о том, что не Солнце движется вокруг Земли, а Земля вместе с другими планетами обращается вокруг Солнца. Но против последнего он выдвинул серьезный научный аргумент: если бы Земля перемещалась в пространстве, то это движение приводило бы к регулярному изменению угловых расстояний между двумя произвольно взятыми парами звезд (рис. 7), чего не заметил никто из известных ему астрономов. И лишь через 2150 лет после Аристотеля годовое параллактическое движение звезд было обнаружено...

Коперник античного мира. Первым, кто поставил перед собой цель измерить расстояние до небесных светил, был греческий ученый Аристарх Самосский (ок. 310 — ок. 250 гг. до н. э.). Родился он на острове Самос и некоторое время проживал в Александрии, которая была тогда столицей Египта и важным научным центром. Следует лишь напомнить, что александрийская библиотека насчитывала около 700 000 рукописных книг! Именно здесь развитие естественных наук происходило на базе строгих математических методов и наблюдений.

Есть основания полагать, что Аристарх был знаком с успехами вавилонской астрономии. Именно в это время, около 282 г. до н. э., на греческий остров Кос переселился вавилонский жрец Берос, который организовал там астрономическую обсерваторию и написал трехтомную книгу с изложением вавилонской истории и астрономии. Конечно, следует иметь в виду, что хотя древнеавилонские астрономы уже умели предвидеть положение планет на небе, они совсем не интересовались ни механизмом их движения, ни вопросами о расстояниях и размерах светил.

Если же говорить о древнегреческих философах, то все количественные данные о масштабах мира, указанные в их трудах, были, конечно же, просто выдуманными и безосновательными, хотя в их высказываниях и проскальзывали весьма удачные догадки. Например, упоминавшийся выше Филолай утверждал, что расстояния небесных тел от центрального огня возрастают в геометрической прогрессии, так что каждое следующее светило расположено втрое дальше от него, чем предыдущее. Скажи он «вдвое», и за две тысячи лет предвосхитил бы правило Тициуса — Боде (с. 203)...

Несомненно, много греческих философов до Аристарха любовались Луной, наблюдали ее перемещение среди звезд. Но лишь Аристарх догадался, что после некоторых измерений и расчетов становится возможным установить расстояния в системе Солнце — Земля — Луна. Это он и сделал в труде «О величинах и расстояниях Солнца и Луны» (единственном дошедшем до нас).

Прежде всего Аристарх формулирует следующие исходные положения: «1) Луна заимствует свет от Солнца, 2) Земля по отношению к лунной сфере является точкой и центром, 3) когда Луна является нам рассеченной пополам, то большой круг, разделяющий темную и светлую части Луны, лежит в плоскости, проходящей через наш глаз, 4) когда Луна

является нам рассеченной пополам, то ее расстояние от Солнца меньше четверти окружности без тридцатой части этой четверти, 5) ширина земной тени вмещает две Луны и 6) Луна стягивает пятнадцатую часть знака зодиака».

Первые три утверждения не требуют объяснений. Что же касается четвертого, то оно означает следующее: тридцатая часть четверти круга — это 3° ($=90^\circ : 30$). Очевидно, что на основании собственных наблюдений Аристарх пришел к выводу, что угловое расстояние от Солнца до Луны, когда

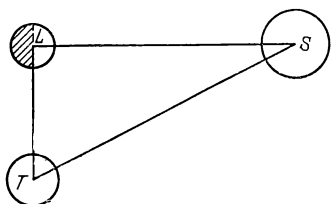


Рис. 8. «Треугольник Аристарха»

она находится в первой четверти, составляет 87° (рис. 8). В этот момент в системе Земля — Луна — Солнце угол SLT будет прямым, а угол LST равен 3° ($=90^\circ - 87^\circ$).

Аристарх продолжает: «Отсюда можно вывести, что расстояние от Земли до Солнца больше расстояния до Луны

более, нежели в восемнадцать, но менее, чем в двадцать раз — на основании предположения о Луне, рассеченной пополам; что такое же отношение имеет диаметр Солнца к диаметру Луны; что диаметр Солнца к диаметру Земли имеет отношение больше чем 19 к 3, но меньше чем 43 к 6 — на основании найденного для расстояний отношения, сделанного предположения относительно тени, а также допущения, что Луна стягивает пятнадцатую часть знака зодиака».

На основании указанных выше данных сегодня школьник легко установит, во сколько же раз Луна ближе к Земле, нежели Солнце. Для этого из треугольника TLS ему необходимо найти отношения сторон TL и TS . Очевидно,

$$\frac{TL}{TS} = \sin 3^\circ = 0,0523 = \frac{1}{19,1},$$

Иначе говоря, если и в самом деле в первой четверти Луна размещена на угловом расстоянии 87° от Солнца, то расстояние до нее составляет $1/19$ расстояния до Солнца.

Во времена Аристарха тригонометрия находилась, как это принято говорить, в зачаточном состоянии. Поэтому он получил указанный выше результат путем геометрических построений.

Аналогичным путем Аристарх приходит также к выводу, что «диаметр Солнца более чем в 18 раз и менее чем в 20 раз больше диаметра Луны», что «диаметр Луны менее

двух сорок пятых, но более одной тридцатой части расстояния, на которое центр Луны удален от нашего глаза» и что «диаметр Солнца к диаметру Земли имеет отношение большее, чем 19 к 3, но меньшее, чем 43 к 6».

Можно посочувствовать ученым древности и средневековья, ведь до 1585 г. (!) они не знали, что вместо такого сравнения целых чисел (а их было нелегко подобрать) можно просто записать число с десятичной дробью ...

В целом, если обозначить через R_{\oplus} радиус Земли, то из вычислений Аристарха следует, что

1) радиус Солнца $R_{\odot} \approx 7R_{\oplus}$,

2) радиус Луны $R_{\zeta} \approx \frac{7}{19} R_{\oplus}$,

3) расстояние от Земли до Луны $r_{\zeta} \approx 19R_{\oplus}$,

4) расстояние от Земли до Солнца $r_{\odot} \approx 19r_{\zeta} \approx 361R_{\oplus}$ *).

Это был первый в истории астрономии труд, в котором расстояния между небесными телами были определены на основании наблюдений. Правда, сам результат измерений был очень неточен. Ведь угловое расстояние Луны от Солнца в момент первой четверти меньше 90° не на 3° , а всего на $9'$ (причем во времена Аристарха еще не было принято делить круг на градусы). Поэтому и Солнце находится от Земли не в 19, а в 400 раз дальше, нежели Луна. Дело в том, что установить момент, когда мы видим освещенной ровно половину Луны, вообще очень трудно даже сейчас, пользуясь современными телескопами ...

Но здесь более важно другое. На основании своих вычислений Аристарх нашел, что «Солнце имеет к Земле отношение большее, чем 6859 к 27, но меньшее, чем 79 507 к 216». Речь здесь идет о сравнении объемов Солнца и Земли: объем Солнца по Аристарху в 343 больше. И, по-видимому, именно эти вычисления привели его позже к выводу, что Солнце, как большее тело, размещено в центре мира и что Земля вместе с другими планетами обращается вокруг него.

Вот что писал об этой первой гелиоцентрической системе мира выдающийся ученый Архимед (ок. 287—212 гг. до н. э.) в своем труде «Псаммит» («Исчисление песчинок»): «... по представлениям некоторых астрономов, мир имеет форму шара, центр которого совпадает с центром Земли, а радиус равен длине прямой, соединяющей центры Земли и Солнца. Но Аристарх Самосский в своих «Предположениях», написанных им против астрономов, отвергая это представ-

*) Веселовский И. Н. Аристарх Самосский — Коперник античного мира // ИАИ.— 1961.— Вып. VII.— С. 44.

ление, приходит к заключению, что мир гораздо больших размеров, чем только что указано. Он полагает, что неподвижные звезды и Солнце не меняют своего места в пространстве, что Земля движется по окружности вокруг Солнца, расположенного в ее центре, и что центр сферы неподвижных звезд совпадает с центром Солнца, а размер этой сферы таков, что окружность, описываемая, по его предположению, Землей, находится к расстоянию неподвижных звезд в таком же отношении, в каком центр шара находится к его поверхности ...».

К сожалению, упомянутые «Предположения» Аристарха до нас не дошли. Поэтому мы практически ничего больше не знаем о тех доказательствах, с помощью которых Аристарх, этот Коперник античного мира, обосновал правильность гелиоцентрической модели мира...

Если же говорить о расстоянии от Земли до Солнца, то, как мы уже видели, Аристарх установил, будто оно в 19 раз превышает расстояние от Земли до Луны. Это число астрономы не подвергали сомнению на протяжении около 1800 лет!

И, наконец, расстояние от Земли до Луны Аристарх установил, допуская, что угловой диаметр Луны (как и Солнца) составляет 2° (именно столько составляет $1/15$ часть знака зодиака, так как 12 зодиакальных созвездий вместе описывают вокруг Земли пояс протяженностью 360°). На самом же деле угловой диаметр Луны в четыре раза меньше.

Трудно сказать, почему Аристарх в этом, явно раннем, труде принял такое значение. Ведь в то время астрономы уже умели определять видимый диаметр Солнца. В частности, вавилонские жрецы делали это очень простым способом. С помощью водяных часов (*клепсидры*) они определяли промежуток времени, проходящий от момента касания горизонта нижнего края Солнца до момента, когда за горизонт прячется его верхний край. Очевидно, что угловой диаметр Солнца будет составлять такую часть от 360° , какую от 24 часов, в течение которых небосвод делает полный оборот, составляет измеренный отрезок времени. Вавилонские астрономы установили, что заход Солнца продолжается 2 минуты, т. е. $1/720$ часть суток. Следовательно, видимый угловой диаметр Солнца составляет $360^\circ/720 = 1/2^\circ$.

В «Псаммите» Архимед ссылается на Аристарха, по мнению которого будто бы «видимые размеры Солнца составляют $1/720$ часть его орбиты». Несомненно, Аристарх знал и истинную величину углового диаметра Луны. Однако неизвестно, осуществлял ли он на этом основании новые расчеты расстояния до Луны и Солнца...

Как видно из сказанного выше, естественной единицей при измерении расстояний до Луны и Солнца является радиус Земли. Посмотрим теперь, что было известно о его величине во времена Аристарха...

Первые землемеры. То, что Земля является шаром, убедительно обосновал Аристотель, поскольку, как он говорил, «в противоположном случае во время лунных затмений мы не видели бы на Луне такого четкого круглого сегмента ... А поскольку лунное затмение образуется земной тенью, то и Земля должна иметь вид шара. Это вытекает также и из явлений, которые изображают звезды над горизонтом и из которых следует, кроме того, что земной шар не может быть очень большим. Так, достаточно лишь немного сместиться в направлении на север или на юг, чтобы круг горизонта значительно изменился, и звезды, которые раньше размещались над головой, отдалились бы от своего прежнего места... Поэтому можно думать, что местность вокруг Геракловых столбов (Гибралтар — *И. К.*) соединяется с Индийской страной, и, таким образом, существует лишь одно море. Поэтому математики, которые высчитывали окружность Земли, считают его равным приблизительно 400 тысячам стадий, а из этого мы делаем вывод, что Земля не только имеет сферическую форму, но и что ее объем незначителен по сравнению с величиной звезд».

Таким образом, уже Аристотелю была известна длина большой окружности, опоясывающей нашу планету, $S = 400\,000$ стадий. А так как $S = 2\pi R_{\oplus}$, то отсюда определить можно и радиус Земли R_{\oplus} . Приняв для стадии ее наименьшее значение 157,5 м, находим $S = 63\,000$ км и $R_{\oplus} = 10\,032$ км. Как видно, даже в этом случае радиус Земли оказывается преувеличенным почти в 1,6 раза. Но это, по сравнению с более ранними догадками, все же неплохой результат!

Имен математиков, впервые установивших (хотя и приближенно) величину радиуса Земли, мы не знаем. Возможно, среди них был Пифагор или его ученики, поскольку эта проблема является, по существу, несложной геометрической задачей. В самом деле, пусть наблюдатель находился вначале в пункте *A* и обнаружил, что определенная звезда проходит здесь через зенит. Пусть далее наблюдатель перемещается строго на север (вдоль меридиана). Пройдя расстояние d , он заметит, что то же светило уже проходит через меридиан на угловом расстоянии z от зенита (рис. 9). Напрашивается вывод, что если бы наблюдатель совершил путешествие вокруг земного шара, пройдя путь $S = 2\pi R_{\oplus}$, т. е. описал относительно центра Земли дугу в 360° и возвратился снова в

точку A , то картина прохождения избранной звезды через зенит восстановилась бы. На этом основании нетрудно составить такую пропорцию: длина земной окружности S будет во столько раз больше длины дуги d , во сколько раз полный угол 360° больше угла z . Таким образом,

$$S = \frac{360^\circ}{z} d.$$

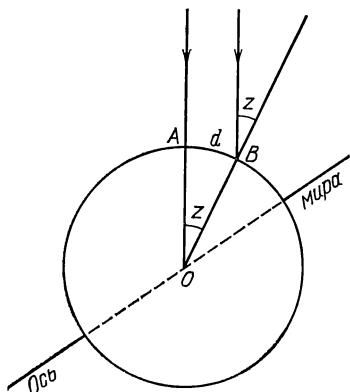


Рис. 9. К определению радиуса Земли

В том факте, что Аристотель приводит число, по которому радиус Земли в полтора раза превышает его истинное значение, нет ничего удивительного. Ведь для точного измерения угловых расстояний звезд от зенита в то время еще не было надежных инструментов. К тому же само расстояние d между пунктами A и B могло быть определено неточно. Ведь для того,

чтобы зенитное расстояние увеличилось всего на 1° , наблюдатель должен сместиться вдоль меридиана на 111 км.

Получить более точные размеры нашей планеты удалось древнегреческому математику и астроному Эратосфену (ок. 276 — ок. 194 гг. до н. э.). Эратосфен обнаружил, что в полдень самого длинного дня лета, когда Солнце в небе находится в наивысшем положении и его лучи в г. Сиене (теперь Асуан) падают вертикально, освещая дно глубоких колодцев, в Александрии в это же время зенитное расстояние Солнца составляет $1/50$ полного круга (т. е. $7^\circ 12'$). Расстояние между Сиеной и Александрией оценивалось в 5000 египетских стадий. На основании приведенных выше рассуждений Эратосфен установил, что длина окружности меридиана составляет 250 000 стадий. Если стадия соответствовала 157,5 м, то это составляло 39 500 км, а радиус Земли должен был равняться 6290 км. Таким образом, погрешность измерения в данном случае составляла бы всего 1,3 %.

Для измерения зенитного расстояния Солнца Эратосфен установил на городской площади в Александрии угломерный прибор (солнечные часы) *скафис*, принцип работы которого был очень прост. В центре чаши, имеющей форму полусферы, вертикально устанавливали заостренный стержень. На внутренней поверхности чаши, куда от него падала

ть, были нанесены горизонтальные окружности, соответствующие определенным высотам Солнца над горизонтом. Отклонения же тени от направления «север — юг» давали возможность измерять время.

По-видимому, с помощью того же скафиса Эратосфен установил также, что угол наклона плоскости эклиптики к плоскости экватора составляет $\varepsilon = 23^{\circ}51'$. Этот вывод был сделан на том основании, что разность между высотами Солнца в меридиане во время летнего и зимнего солнцестояний составляет $11/83$ полной окружности, т. е. $47^{\circ}42'$. А это и является удвоенным значением угла ε .

Система мира Архимеда. Архимед, которого римский историк Тит Ливий (59 г. до н. э. — 17 г. н. э.) назвал «единственным в своем роде созерцателем неба и звезд», родился в Сиракузах на острове Сицилия, а учился в Александрии, где познакомился с астрономами Кононом и Эратосфеном. Эти сведения можно найти в уже упоминавшемся «Псаммите». Архимед провел подсчет числа песчинок во Вселенной и получил результат 10^{63} . Архимед создал систему мира с указанием конкретных расстояний до планет. Сведения об этой системе мира Архимеда (точнее, о расстояниях до орбит планет, из которых следуют определенные выводы о ней) содержатся в сочинении римского епископа Ипполита (первая половина III в. н. э.), а в меньшей степени — в комментариях римского писателя V в. Макробия. Ипполит в «Опровержении всех ересей» пишет следующее:

«Расстояние от поверхности Земли до лунной орбиты сам... Аристарх оценивает в своем сочинении в... стадий, Архимед же в 554 мирады 4130 единиц стадий; от лунной до солнечной орбиты стадий 5026 мирад 2065 единиц, от нее до орбиты Венеры стадий 2027 мирад 2065 единиц, от нее до орбиты Меркурия стадий 5081 мирада 7165 единиц, от нее до орбиты Марса стадий 4054 мирад 1108 единиц, от нее до орбиты Юпитера стадий 2027 мирад 5065 единиц, от нее до орбиты Сатурна стадий 4037 мирад 2065 единиц, от нее же до зодиака и самой последней окружности стадий 2008 мирад 4005 единиц. Таковы переданные Архимедом расстояния орбит друг от друга и глубины сфер; периметр же зодиака он принимал стадий 4 вторых числа 4731 мирада. таким образом, получается, что расстояние от центра Земли до самой крайней поверхности будет шестой частью упомянутого числа, расстояние же от поверхности Земли, на которой мы живем, до зодиака получится, если шестую часть упомянутого числа уменьшить на 4 мирады стадий, которые представляют расстояние от центра Земли до ее поверхности.

От орбиты Сатурна до Земли, как он говорит, будет вторых чисел одна единица 2160 мириад 8259 единиц, от Меркурия до Земли 5268 мириад 8259 единиц, от Венеры до Земли 5081 мириада 5160 единиц ... так вот расстояния и глубины сфер Архимед дает такими».

Здесь мириада — 10 000, «вторыми числами» Архимед называл десятки тысяч мириад.

Здесь же Ипполит говорит о том, что изложенные Архимедом числа не находятся в созвучных отношениях, «то есть в так называемых платоновских двойных и тройных», а поэтому, дескать, «они не могут сохранить гармоничного строения вселенной».

Макробий о том же пишет более скупое: «Также и Архимед считал, что он определил число стадий, на которое от поверхности Земли удалена Луна, а от Луны — Меркурий, от Меркурия — Венера, от Венеры — Солнце, ... все же расстояние от Сатурна до самого звездonosного неба он, как думал, измерил только рассуждением. Однако это архимедово измерение отвергнуто платониками как не сохраняющее двойных и тройных интервалов».

На основе противопоставления действий — «определил» и «измерил рассуждением» — можно думать, что расстояния до планет Архимед вычислил из наблюдений. Кстати, указанная в тексте Ипполита операция получения «шестой части числа» означает деление длины окружности на 2π , чтобы получить радиус сферы звезд (более точного значения числа π , чем $\pi=3$, тогда еще не знали).

Беда всех древних текстов в том, что они со временем сами по себе подвергаются порче (а ведь от Архимеда до Ипполита прошло более 400 лет!). К тому же зачастую выборку чисел из них делают люди, мало сведущие в изложенном материале. Ошибаются и переписчики...

Исходя из простейших логических соображений, недавно С. В. Житомирский выполнил реконструкцию числовых данных Архимеда *). И — взору читателя предстает стройная гео-гелиоцентрическая модель мира, в которой Меркурий, Венера и Марс обращаются вокруг Солнца, которое вместе с ними, а также Юпитер и Сатурн, движется вокруг Земли (рис. 10). При этом относительные радиусы орбит Меркурия, Венеры и Марса довольно хорошо совпадают с их истинными значениями!

*) Житомирский С. В. *Астрономические работы Архимеда* // ИАИ,— 1977.— Вып. XIII — С. 319—337; *Античные представления о размерах мира* // ИАИ.— 1983.— Вып. XVI.— С. 291—326.

Необходимость реконструкции видна из следующего. Сначала Ипполит указывает числа «до орбиты», скажем, Венеры, немногим же ниже даются отдельно расстояния «от Меркурия до Земли» и «от Венеры до Земли», причем, как нетрудно убедиться, они не совпадают с предыдущими.

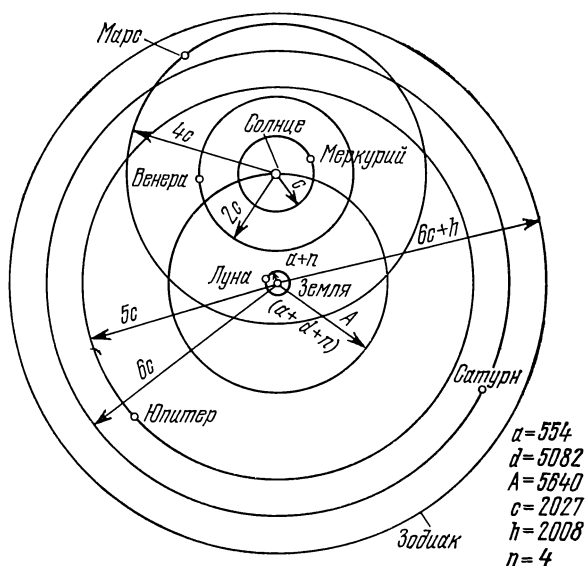


Рис. 10. Реконструкция гео-гелиоцентрической системы мира Архимеда

А ведь в геоцентрической системе расстояние до Меркурия (также до Венеры и Марса) просто равно радиусу орбиты планеты ...

Реконструированные расстояния выглядят так: от поверхности Земли до Луны $a = 554$ мр (для сокращения буквами «мр» обозначены мириады стадий, числа единиц стадий округлены), от лунной до солнечной орбиты $d = 5082$ мр, поэтому расстояние от центра Земли до Солнца $A = a + d + n = 5640$ мр ($n = 4$ мр — радиус Земли), дальше от Солнца до орбиты Меркурия $c = 2027$ мр, от нее до орбиты Венеры также c , от орбиты Венеры до орбиты Марса $2c$, дальше радиус орбиты Юпитера (предположительно) $5c$ и Сатурна $6c = 12\ 162$ мр — число, указанное Ипполитом. От орбиты Сатурна до зодиака $h = 2008$ мр и для согласования с указанным у Ипполита числом «периметра зодиака» следует читать «полупериметр». В этом одно из возможных доказательств правильности реконструкции.

Далее легко убедиться, что предположительное расстояние от центра Земли до Солнца (A), расстояние «от Меркурия до Земли» (число $l=5269$ мр) и число c — расстояние от Солнца до Меркурия с высокой точностью подчиняются теореме Пифагора: $\sqrt{5640^2 - 2027^2} = 5264$! Но отношение $l/A = 5268/5640 = 0,934$ — это

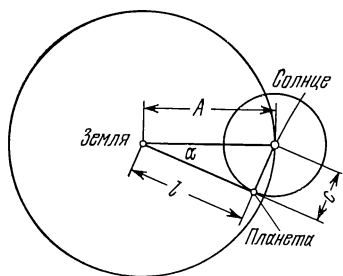


Рис. 11. К определению Архимедом расстояния до Меркурия

косинус угла α , соответствующего средней наибольшей элонгации Меркурия: $\arccos 0,934 = 21^\circ 02'$ (рис. 11). Становится понятным, почему это число вообще фигурирует в тексте: оно указывает среднее значение элонгации планеты.

Аналогичным образом, по видимому, был определен и радиус орбиты Венеры. В случае же Марса, обращающегося

вокруг Солнца, задача решается также сравнительно легко (рис. 12). Для этого необходимо зафиксировать число дней N , истекших от противостояния Марса до квадратуры. Зная синодический период обращения планеты $S=780$ сут

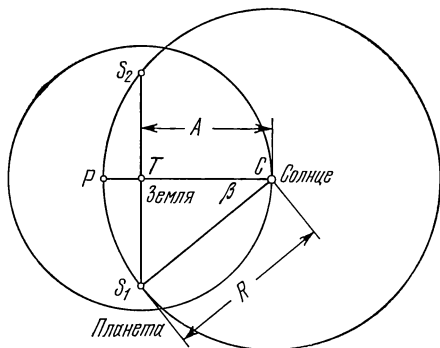


Рис. 12. Решение задачи о расстоянии до Марса в системе мира Архимеда

и полагая, что планета движется по круговой орбите равномерно, находим угол $\beta = \frac{360^\circ}{S} N$, после чего имеем

$$R = \frac{A}{\cos \beta}.$$

Примечательно, что относительные расстояния от Солнца до Меркурия, Венеры и Марса — c/A , $2c/A$, $4c/A$, равные соответственно 0,36, 0,72 и 1,44, довольно близки к их истинным значениям (0,39, 0,72 и 1,52). В абсолютных же еди-

ницах при длине стадии 177,5 м в мире Архимеда имеем: расстояние от центра Земли до Луны равно 990 450 км — почти в 2,6 раза больше, а от Земли до Солнца — 10 011 000 км, в 15 раз меньше истинного. Радиус сферы звезд всего в 2,5 раза больше расстояния от Земли до Солнца.

В «Псаммите» Архимед сообщает, что он измерил видимый угловой диаметр Солнца, который лежит в пределах между $1/164$ и $1/200$ частями прямого угла. Приняв среднее значение $1/180$ прямого угла или $30'$, нетрудно найти, при известных уже расстояниях до Солнца и Луны (угловой диаметр которой такой же), их линейные размеры: диаметр Солнца 49,2 мр, Луны 4,8 мр, т. е. Луна будто бы в 10,2 раза меньше Солнца.

Из всего сказанного здесь видно, что Архимед был не просто «созерцателем неба и звезд», а искусным наблюдателем и глубоким мыслителем. И приходится сожалеть, что его астрономические труды практически не дошли до нас ...

О «небесном глобусе» Архимеда. На протяжении нескольких столетий после смерти Архимед оставался известным и как создатель удивительного «самодвижущегося прибора» — механического «небесного глобуса», с помощью которого демонстрировались условия видимости светил, затмения Солнца и Луны. Вот как писал об этом Цицерон в трактате «О государстве»: «... сплошная сфера без пустот была изобретена давно и такую сферу впервые выточил Фалес Милетский, а затем Евдокс Книдский, по словам, ученик Платона, начертал на ней положение созвездий и звезд, расположенных на небе ..., спустя много лет Арат, руководясь не знанием астрономии, а, так сказать, поэтическим дарованием, воспел в стихах все устройство сферы и положение светил на ней, взятое им у Евдокса. Но ... такая сфера, на которой были бы представлены движения солнца, луны и пяти звезд, называемых странствующими и блуждающими, не могла быть создана в виде сплошного тела; изобретение Архимеда изумительно именно тем, что он придумал, каким образом при несходных движениях, во время одного оборота сохранить неодинаковые и различные пути. Когда Галл приводил эту сферу в движение, происходило так, что на этом шаре из бронзы луна сменяла солнце в течение стольких же оборотов, во сколько дней она сменяла его на самом небе, вследствие чего и на небе сферы происходило такое же затмение солнца, и луна вступала в ту же межу, где была тень земли, когда солнце из области ...» *).

*) Цицерон. Диалоги.— М.: Наука, 1966.— С. 14.

И дальше, увы, часть текста трактата утеряна ... Как отмечалось выше, в системе мира Архимеда планеты (по крайней мере, Меркурий, Венера и Марс) обращались вокруг Солнца. Поэтому моделирование петлеобразных видимых движений нижних планет (Меркурия и Венеры) выполняется «само собой». О том же, как Архимеду удавалось изображать (если это вообще достигалось) петлеобразные движения верхних планет (Марса, Юпитера и Сатурна), приходится лишь гадать ...

О модели Архимеда Цицерон еще раз упоминает в трактате «О природе богов» и в «Тускуланских беседах». Из текста следует, что после Архимеда такой же небесный глобус сконструировал и Посидоний: «Если бы кто-нибудь привез в Скифию или Британию тот шар (sphaera), что недавно изготовил наш друг Посидоний, шар, отдельные обороты которого воспроизводят то, что происходит на небе с Солнцем, Луной и пятью планетами в разные дни и ночи, то кто в этих варварских странах усомнился бы, что этот шар — произведение совершенного рассудка?» *).

Вглядываясь в это чудо техники, зритель неминуемо ставил себе и дальнейшие вопросы, как это видно из «Первой книги против физиков» представителя античного скептицизма Секста Эмпирика (II—III вв. н. э.): «Самодвижущиеся приборы удивительнее тех, которые не таковы. Когда мы смотрим на Архимедову сферу, мы сильно изумляемся, видя, как движутся Солнце, Луна и прочие звезды. Конечно, нас поражает не материал и не движение частей механизма, но его творец и движущие причины. ... Согласно же высшей точке зрения, удивительнее всего ... оказывается природа Солнца, Луны и звезд, и, прежде всего, самого мира, которая и есть причина всего этого»...**)

ОН ЗАЛОЖИЛ ФУНДАМЕНТ

Как открыть прецессию? Сегодня все единодушны в том, что благодаря трудам древнегреческого астронома Гиппарха (ок. 185—125 гг. до н. э.) астрономия начала оформляться в точную науку. Гиппарх первым начал систематические астрономические наблюдения и их всесторонний математический анализ, он разработал теорию движения Солнца и Луны, метод предсказания (с точностью до одно-

*) Цицерон. Философские трактаты. — М.: Наука, 1985. — С. 129.

**) Секст Эмпирик. Сочинения: Т. I. — М.: Мысль, 1976. — С. 264.

го — двух часов) затмений, заложил основы сферической астрономии и тригонометрии.

О жизни Гиппарха известно очень мало. Родился он в Никее (теперь г. Изник в Турции), некоторое время был в Александрии, а работал на острове Родос, где построил астрономическую обсерваторию.

Прежде всего, Гиппарх установил, что следует различать *звёздный год* как промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца вблизи определенной звезды и *тропический год* — промежуток времени от одного весеннего равноденствия до другого. Сравнивая момент летнего солнцестояния, наблюдавшегося Аристархом в 280 г. до н. э., со своими наблюдениями в 135 г. до н. э., Гиппарх сделал вывод, что продолжительность тропического года равна $365\frac{1}{4}$ — $1/300$ суток или $365^{\circ}5'55''16^{\circ}$, т. е. он короче звездного на 20 минут. Это объясняется *прецессией* — перемещением точки весеннего равноденствия навстречу Солнцу. Открытие прецессии и было важнейшим из всего сделанного Гиппархом.

Естественно, может возникнуть сомнение в том, как могли установить передвижение «невидимой» точки пересечения эклиптики с небесным экватором за год на очень малую величину в те далекие времена ... А между тем все решается «очень просто». Достаточно лишь принять во внимание два факта. Во-первых, угловое расстояние Солнца от точки весеннего равноденствия (*эклиптическую долготу* Солнца) можно установить, измерив его высоту над горизонтом в момент прохождения через меридиан, по которой сама долгота вычисляется путем несложных расчетов или находится по заранее составленным таблицам. Во-вторых, в середине лунного затмения, когда Луна находится на небесной сфере точно напротив Солнца, ее долгота от точки весеннего равноденствия на 180° больше долготы Солнца.

Но ведь очень часто в моменты лунных затмений рядом с Луной оказываются яркие звезды! И достаточно измерить их угловые расстояния от центра диска Луны, чтобы таким образом определить их эклиптические долготы. Измерить и записать! Догадаться, что это со временем будет необходимо другим астрономам в их поисках законов мироздания ...

Именно так за 169 лет до наблюдений Гиппарха астрономы Аристилл и Тимохарис зафиксировали положение 18 звезд на небе. И вот, наблюдая «свое» затмение Луны, Гиппарх обнаружил, что «в его время Спика опережала осеннее равноденствие на 6° , а во времена Тимохариса — на 8° ». Иначе говоря, перемещаясь навстречу Солнцу, точка

осеннего (как и весеннего) равноденствия за 169 лет сместилась в направлении звезды Спика (α Девы) на 2° , т. е. на четыре диаметра диска Луны. Измерения эти были проведены, конечно, с невысокой точностью, так как определены лишь градусы. И все же можно было оценить, что в среднем за год смещение составляет $2^\circ : 169 = 43''$.

В действительности же годовая прецессия составляет $50,26''$. Поэтому в наше время Спика находится уже далеко позади точки осеннего равноденствия, которая, как мы знаем теперь, перемещается вдоль эклиптики на 1° за каждые 72 года.

Теория движения Солнца. Уже задолго до Гиппарха вавилонские и греческие астрономы и среди них Каллипп обнаружили различную продолжительность времен года. Гиппарх получил более точные значения: весна (отсчитанная от перехода Солнца через точку весеннего равноденствия до летнего солнцестояния) продолжается $94\frac{1}{2}$ дня,

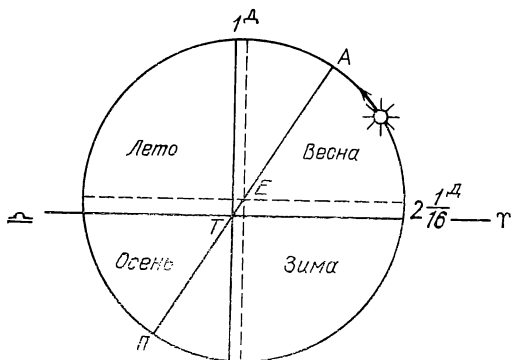


Рис. 13. Установленное Гиппархом различие в продолжительности сезонов года и найденное им направление линии апсид

лето — $92\frac{1}{2}$ дня, что в сумме составляет 187 суток, тогда как между осенним и весенним равноденствиями остается $178\frac{1}{4}$ дня (истинные значения четырех сезонов года — 94,1, 92,2, 88,6 и 90,4 суток). А это значит, что весной Солнце на небесной сфере движется медленнее, чем в любое другое время года, тогда как осенью быстрее всего.

Сказанное можно представить графически (рис. 13). Можно говорить, что Солнце движется равномерно по окружности с центром в E , однако Земля T сдвинута в квадрант «осень». По отношению к точке T такая окружность будет *эксцентром*, понятие о котором ввел еще до Гиппарха Аполлоний Пергский (ок. 262 — ок. 200 гг. до н. э.).

Долготы же отсчитываются по другой окружности, центр которой совпадает с T . Ближайшая к Земле точка Π орбиты Солнца (в геоцентрической модели — любой планеты) называется *перигеем*, наиболее удаленная (A) — *апогеем* (греч. «пери» — около, «апо» — от). Линия $А\Pi$ называется *линией апсид* (греч. «апсис» — свод, вершина). И, наконец, отношение $TE/EA = e$ есть *эксцентриситет эксцента*, угол же $\angle T A \Pi$ (он обозначается также Π) есть *долгота апогея*.

Исходя из продолжительности сезонов, Гиппарх определил основные параметры эксцента Солнца — эксцентриситет $e = 1/24$ — и долготу апогея $\Pi = 65^\circ 30'$. После этого он смог составить таблицу, по которой можно было установить положение Солнца на небе на каждый день.

Гиппарх проанализировал и другую возможность объяснения неравномерного годового движения Солнца по эллиптике — комбинацией *эпицикла* (греч. «эпи» — на и «киклос» — круг) и *деферента* (лат. *deferens* — несущий). Ее сущность становится понятной, если рассмотреть такую «механическую модель»: вращение параллелограмма вокруг одной из его сторон.

Предположим, что стороны параллелограмма $TNPO$ (рис. 14) являются стержнями, соединенными шарнирно, так что каждая из сторон может поворачиваться по отношению к соседней. Закрепим теперь сторону TO неподвижно на плоскости и, взявшись за вершину N , начнем поворачивать параллелограмм вокруг точки T (не поднимая его над плоскостью рисунка!). Очевидно, что при таком поворачивании противоположные стороны параллелограмма будут оставаться взаимно параллельными, точка P будет описывать окружность относительно вершины O , точка N — относительно T , а, кроме того, точка P будет описывать окружность относительно N . При этом, если параллелограмм как единое целое поворачивается *п р о т и в* часовой стрелки,

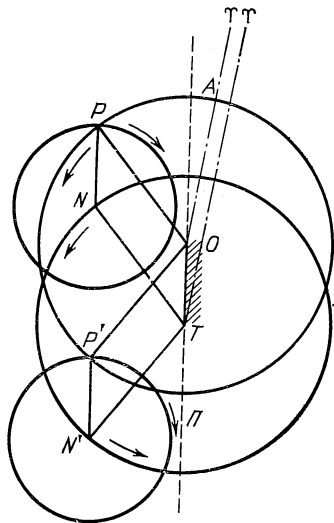


Рис. 14. К объяснению тождественности систем «эксцентр» и «эпицикл — деферент»
(при $\vec{\sigma} = -\vec{\omega}$)

то точка P будет описывать окружность относительно точки N , двигаясь в противоположном направлении, т. е. по часовой стрелке, и за один оборот параллелограмма совершает один оборот вокруг N .

Окружность, которую точка N описывает вокруг T , как раз и принято называть деферентом; окружность, которую описывает точка P в ее относительном движении вокруг N , называется эпициклом; окружность, которую описывает точка P вокруг O , как мы уже знаем, называется эксцентром. Здесь точка T играет роль центра мира, точка P изображает истинное Солнце (далее мы скажем — любую планету), точка N — «среднее солнце» («среднюю планету»). Напомним, что по представлениям древнегреческих философов круговое движение обязательно должно быть равномерным, т. е. все названные точки движутся с постоянной угловой скоростью.

Из рис. 14 следует такой вывод: «Если средняя планета N вращается вокруг центра мира T в прямом направлении (против часовой стрелки) с постоянной угловой скоростью, а планета P вращается в то же самое время с той же угловой скоростью в обратном направлении, то движение планеты P относительно центра T будет таким же, как если бы она вращалась с той же самой скоростью и в прямом направлении по эксцентру, радиус которого равен радиусу деферента, а центр O смещен от центра T на отрезок OT , равный радиусу эпицикла NP ». Это так называемая теорема Аполлония Пергского; она была известна Гиппарху, который избрал для объяснения движения Солнца (и Луны) гипотезу эксцентра, «поскольку она достигает цели с помощью лишь одного движения». Однако разработка системы деферент — эпицикл позволила позже Птолемею представить с помощью комбинаций этих окружностей все сложности в движениях планет ...

Как отмечалось, Гиппарх определил эксцентриситет эксцентра Солнца ϵ в виде отношения $\epsilon = OT/OA = PN/NT$, т. е. его можно рассматривать как отношение радиуса эпицикла к радиусу деферента. Упомянутое выше годичное неравномерное движение Солнца по эклиптике (и аналогичное движение Луны и планет) древние астрономы называли «первым неравенством». Как видим, его вполне можно моделировать одним из двух упомянутых здесь способов.

Движение Луны. Здесь прежде всего следует упомянуть о том, что Гиппарх с высокой точностью определил продолжительность синодического месяца. Но сначала — о его предшественниках в этом вопросе.

В 432 г. до н. э. греческий астроном Метон установил, что 19 тропических лет составляют 235 синодических месяцев, и это равно 6940 суткам. Отсюда продолжительность года равна $6940/19 = 365^d 6^h 19^m$, а продолжительность синодического месяца $6940/235 = 29^d 12^h 46^m$ — на 2^m больше истинного значения. При составлении лунно-солнечного календаря Метон в 19-летнем цикле использовал 125 *полных* месяцев (по 30 дней) и 110 *пустых* календарных месяцев (по 29 суток). В итоге и получалось 6940 суток.

Позже Каллипп пришел к выводу, что согласие найденных из расчетов календарных единиц с их астрономическими прообразами будет лучше, если из четырех метоновых циклов исключить одни сутки, приняв, что 76 лет равны 27 759 суткам. Отсюда длина года равна $365\frac{1}{4}$ суток, а синодического месяца — $27\,759/940$ дней $= 29^d 12^h 44^m 25^s$, а это всего на 22^s больше истинного значения.

Однако открыв прецессию и установив, что продолжительность тропического года меньше 365,25 суток, Гиппарх внес поправку и в каллиппов лунно-солнечный цикл. Он пришел к выводу, что из четырех каллипповых периодов ($4 \times 76 = 304$ года) следует исключить одни сутки. В этом промежутке времени, следовательно, должно насчитываться $27\,759 \times 4 - 1 = 111\,035$ дней или $940 \times 4 = 3760$ лунных месяцев. Отсюда и следует, что

$$1 \text{ солнечный год} = \frac{111\,035^d}{304} = 365^d 5^h 55^m 16^s,$$

$$1 \text{ синодический месяц} = \frac{111\,035^d}{3760} = 29^d 12^h 44^m 2,5^s.$$

Так было получено значение синодического месяца, всего на 0,3 с меньше его современного значения ...

Далее Гиппарх установил, что путь Луны на небесной сфере наклонен к эклиптике под углом 5° и что Луна по своей орбите, с точки зрения земного наблюдателя, движется неравномерно: на протяжении месяца она уходит вперед или отстает от расчетного среднего движения на немногим более 6° ! Гиппарх принял, что, как и Солнце, Луна движется по эксцентру, плоскость которого наклонена к эклиптике под углом 5° и который пересекается с нею в двух точках — *узлах*; тот из них, в котором Луна переходит в северную полусферу относительно эклиптики, называется *восходящим узлом*, а противоположный — *нисходящим*. Естественно, что на лунном эксцентре имеется ближайшая к Земле точка — *перигей* и наиболее удаленная от нее — *апогей*. Угло-

вая скорость движения Луны в перигее имеет наибольшее значение, а в апогее — наименьшее.

Древние астрономы возвращение Луны в тот уже узел называли «возвращением широты», а возвращение к наибольшей скорости — «возвращением аномалии». На основании наблюдений своих и «древних астрономов» Гиппарх установил, что $126\,007$ дней $+ 1$ час $= 4267$ синодическим периодам $= 4573$ возвращениям аномалии $= 4612$ обращениям (по отношению к звездам) без $7\frac{1}{2}^\circ$, что почти в точности равно 345 обращениям Солнца. Кроме того, 5458 синодических периодов составляют 5923 возвращения широты. Отсюда, кроме уже приведенного выше (почти с той же точностью) значения синодического месяца, следует и период обращения Луны относительно звезд — $27^{\text{д}}7^{\text{ч}}43^{\text{м}}13,1^{\text{с}}$, что всего на $1,7^\circ$ больше истинного значения. Так как за 4612 обращений Луна проходит через перигей 4573 раза, т. е. на 39 раз меньше, то Гиппарх сделал вывод, что перигей перемещается в том же направлении, что и Луна, завершая обращение за 8,85 года.

Из приведенных здесь чисел нетрудно получить, что 5458 синодических периодов соответствуют 5899,27 обращения Луны относительно звезд. Как видно, за эти 161 177,96 дня произошло на 23,73 возвращения к широте больше, чем возвращений к той же звезде. Так Гиппарх получил, что узлы лунной орбиты перемещаются навстречу Луне, делая оборот за 6792 суток (истинное значение $6798^{\text{д}} \approx 18,61$ года).

Итак, по Гиппарху, центр эксцента Луны описывал вокруг Земли круг почти за 9 лет, плоскость же эксцента, сохраняя наклон к эклиптике, «отступала назад», обеспечивая наблюдаемое движение узлов. Этим было достигнуто многое в описании движения Луны, однако на самом деле оно настолько сложно, что посредством одного эксцента его представить просто нельзя ...

Расстояние и параллакс Луны. Гиппарх пересмотрел задачу об установлении расстояния до Луны и решил ее с высокой для того времени точностью. Сделано это было следующим образом.

Гиппарху было известно, что угловой радиус Луны составляет $16'$, а радиус земной тени на расстоянии Луны $40'$ (т. е. он в $8/3$ раза больше). Последнее можно установить, фиксируя продолжительность полного лунного затмения: Луна перемещается на небе со средней скоростью $0,5^\circ$ в час, а время ее полного пребывания в тени Земли немногим меньше двух часов. Отсюда следует, что видимый диск Луны укладывается в сечении земной тени почти три раза.

А теперь убедимся в том, что такая серьезная задача, как установление расстояния до Луны, имеет очень простое геометрическое решение. Пусть (рис. 15) точки S , T и M изображают соответственно центры Солнца, Земли и Луны, а $FM=R_T$ — это радиус земной тени на орбите Луны. По-

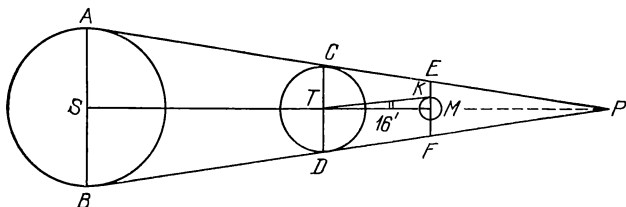


Рис. 15. Подобные треугольники, при помощи которых Гиппарх установил расстояние от Земли до Луны

скольку равнобедренные треугольники EFP , CDP и ABP подобны, можно составить такое соотношение:

$$\frac{DT-FM}{BS-DT} = \frac{TM}{ST}. \quad (1.1)$$

Так как видимые угловые радиусы Луны и Солнца равны, то расстояние до Солнца во столько раз больше, во сколько его радиус R_{\odot} больше радиуса Луны R_{ζ} . Математически это запишется в таком виде:

$$\frac{ST}{TM} = \frac{R_{\odot}}{R_{\zeta}} = x. \quad (1.2)$$

Пользуясь этим соотношением, можно после несложных преобразований записать равенство (1.1) так:

$$R_{\zeta} + R_T = \left(1 + \frac{1}{x}\right) R_{\oplus}. \quad (1.3)$$

Как уже указывалось, радиус земной тени $R_T = \frac{8}{3} R_{\zeta}$. Поэтому из последнего уравнения следует, что

$$R_{\zeta} = \frac{3}{11} \left(1 + \frac{1}{x}\right) R_{\oplus}. \quad (1.4)$$

Поскольку величина x значительно превышает единицу (по Аристарху $x \approx 19$), вторым слагаемым в скобках можно пренебречь. В итоге находим, что $R_{\zeta} \approx \frac{3}{11} R_{\oplus}$, а это практически совпадает с современными данными о размерах Луны.

Так как линейный и угловой радиусы Луны известны, то нетрудно определить и само расстояние от Земли до

Луны. Действительно, из треугольника $ТМК$ имеем

$$\frac{KM}{TM} = \operatorname{tg} 16', \quad TM = \frac{R_{\odot}}{\operatorname{tg} 16'},$$

а поскольку $\operatorname{tg} 16' = 0,0046$, то $TM = 218R_{\odot}$ или же $TM = 59 R_{\oplus}$.

Конечно, Гиппарх, закладывавший основы тригонометрии, тригонометрической функции «тангенс» еще не знал, она была введена гораздо позже, но для расстояния от Земли до Луны он получил то же значение $59 R_{\oplus}$. Ведь при малых

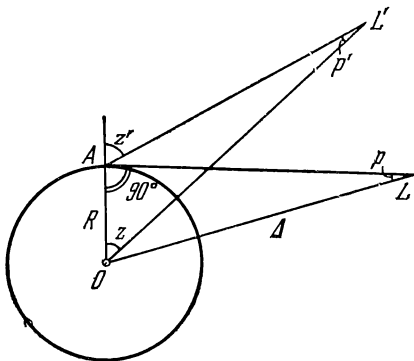


Рис. 16. Суточный параллакс светила; параллактическое смещение p тем больше, чем меньше расстояние Δ до светила

углах α имеем $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha$, а с синусами Гиппарх «умел обращаться»! Отсюда его вывод, сформулированный примерно так: «поскольку угловой радиус Луны равен $16'$, то расстояние до нее примерно в 220 раз больше ее радиуса».

Полагают, что Гиппарх, занявшись разработкой метода предвычисления затмений, впервые обратил внимание на необходимость учета параллактического смещения Луны. *Суточным параллаксом* p называется угол, под которым наблюдатель увидел бы со светила радиус Земли. Когда светило находится на горизонте, этот угол достигает наибольшего значения. Наблюдателю, расположенному в точке A на поверхности Земли, благодаря суточному параллаксу светило кажется ниже, чем это было бы при наблюдениях из центра Земли (рис. 16).

У Луны горизонтальный параллакс p_{\odot} равен $57'$. Его величину Гиппарх определил, по-видимому, из таких соображений. В момент, когда при полном лунном затмении в тень Земли входит ровно половина диска Луны (рис. 17), между углами ρ_{\odot} и ρ_{τ} — угловыми радиусами Солнца и тени Земли на расстоянии лунной орбиты и p_{\odot} и p_{\odot} — параллаксами

Солнца и Луны существует зависимость

$$p_{\odot} + p_{\zeta} = p_{\odot} + p_{\tau}.$$

Так как параллакс Солнца древнегреческие астрономы, в том числе Гиппарх, из-за его малости измерить не могли, то при $p_{\odot} \approx 0$ лунный параллакс приближенно измеряется

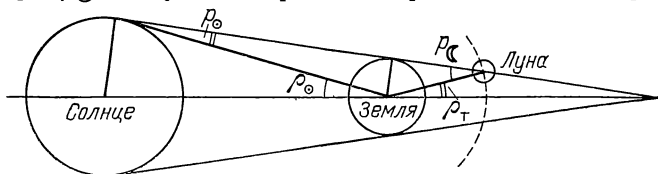


Рис. 17. К определению Гиппархом горизонтального параллакса Луны

суммой видимых радиусов Солнца и земной тени. Гиппарх нашел, что $p_{\zeta} \approx 1^{\circ}$. После этого нетрудно было определить расстояние до Луны. Приняв $p_{\zeta} = 1^{\circ}$, находим

$$r_{\zeta} = \frac{R_{\oplus}}{\sin 1^{\circ}} = \frac{R_{\oplus}}{0,0175} \approx 57 R_{\oplus},$$

что практически совпадает с результатом, полученным ранее.

В каталоге — величины звезд. Как сообщает римский писатель Плиний Старший (23—79 гг. н. э.), Гиппарх «открыл новую звезду и другую звезду, которая появилась в то время». По другим данным, он в 134 г. до н. э. заметил вспышку новой звезды в созвездии Скорпиона. Это и натолкнуло Гиппарха на мысль, что в звездном мире, возможно, происходят определенные изменения, которые являются очень медленными, чтобы их можно было обнаружить на протяжении нескольких поколений. Надеясь, что все же это в будущем можно будет установить, он составил каталог звезд, в который вошло 850 объектов. Для каждой звезды была указана ее *долгота*, измеренная вдоль эклиптики от точки весеннего равноденствия против суточного движения небесной сферы до *круга широты*, проходящего от полюса эклиптики через звезду, и *широта*, измеренная от эклиптики вдоль круга широты до звезды *). Кроме того, была указана звездная величина звезды *m* (это обозначение, принятое в дальнейшем, — первая буква латинского слова *magnitude* — величина). Гиппарх разделил звезды на шесть классов таким образом, что самые яркие отнес к первой, а

*) Точнее, разделив эклиптику на 12 частей по числу зодиакальных созвездий, древние астрономы указывали «знак зодиака» и долготу светила, отсчитанную от «начала знака».

самые слабые — к шестой звездной величине. Кстати, поскольку в то время полагали, что все звезды находятся на одинаковом расстоянии от Земли, то считалось, что чем больше диаметр звезды, тем соответственно она ярче ...

Здесь уместно отметить, что именно древние греки выделили на звездном небе отдельные яркие группы звезд — созвездия, которые в основном сохранены и сейчас. Произошло это постепенно. Так, в поэме «Работы и дни» Гесиода упоминаются всего две группы звезд — Плеяды и Орион. Гомер прибавил к ним еще Гиады, Боотеса (Волопаса) и Медведицу. Евдокс, как это видно из стихотворной поэмы Арата «Феномены» (III в. до н. э.), выделил на небе уже 45 созвездий. И вот как указывал Гиппарх ту или другую звезду: «Та, которая на правом плече Персея», «Та, которая на голове Водолея» и т. д. ...

Французский историк астрономии Жан Батист Деламбр (1749—1822) писал о Гиппархе: «Когда рассмотришь все, изобретенное или усовершенствованное Гиппархом, и поразмыслишь над множеством его трудов и массой содержащихся в них вычислений, то поневоле причислишь его к удивительнейшим мужам древности и назовешь его величайшим из них ...». Все здесь истинно, но ... единственным сохранившимся сочинением Гиппарха является комментарий к поэме Арата и ее источнику (работе Евдокса). О всех трудах Гиппарха мы знаем из «Альмагеста», в котором Птолемей «на каждом шагу» выражает Гиппарху свое восхищение.

Но как во времена Гиппарха представляли себе эти «изменения в мире звезд»? По крайней мере, один из вариантов этого изложен в трактате Цицерона «О природе богов»: «А природа звезд огненная, поэтому они питаются испарениями земли, моря и прочих вод. Эти испарения вызываются солнцем из согретой земли и из вод. Напившись ими и восстановив себя, звезды и весь эфир изливают их обратно и вновь извлекают их оттуда, так что почти ничего не пропадает, или очень мало, из того, что потребляет огонь звезд и пламя эфира. Из этого следует, по мнению наших, что в конце концов весь мир воспламенится, после того как будет уничтожена вся влага, когда ни земля не сможет питаться, ни воздуху не из чего будет восстановить себя, ведь когда истощится вся вода, то и воздух не сможет образоваться. Итак, ничего не останется, кроме огня. Но от него-то, живого существа и бога, и произойдет восстановление мира, и возродится его красота» *) ...

*) Цицерон. Философские трактаты. — М.: Наука, 1985. — С. 140.

О первых четырех книгах. «Что я смертен, я знаю, и что дни мои сочтены; но когда я в мыслях неустанно и жадно выслеживаю орбиты созвездий, тогда я больше не касаюсь ногами Земли: за столом Зевса наслаждаюсь амброзией, пищей богов».

Так звучит эпитафия к книге Клавдия Птолемея, которую он сам назвал «Математический синтаксеос библиа 13» — «Математический трактат по астрономии в 13 книгах». Но уже вскоре эту книгу начали называть «Мегале синтаксеос» («Великое построение») и «Мэгисте» («Величайшее»). Добавив к последнему названию артикль «аль», арабские астрономы «передали» европейцам (это произошло лишь в конце XII в.!) ее современное название «Альмагест».

Впервые типографским способом «Альмагест» был опубликован на латинском языке в Венеции (1515 г.) как перевод с арабского текста, а в 1528 г. там же осуществлено издание перевода с греческих рукописей. На греческом языке «Альмагест» был напечатан в г. Базеле (1538 г.) и Копенгагене (1898 и 1903 гг.) и на немецком языке — в г. Лейпциге (1912 г. и 1963 г.). Перевод «Альмагеста» на русский язык осуществлен И. Н. Веселовским и, будем надеяться, он вскоре будет опубликован.

Об авторе «Альмагеста» — книги, которая была своеобразной энциклопедией античной астрономии, — мы знаем очень мало. Известно лишь, что он родился в Египте, что в 127—141 гг. н. э. проводил наблюдения в Александрии, а умер около 168 г. н. э.

Следует сказать, что в середине II в. до н. э. Греция попала в зависимость от Рима, а в 30-х годах I в. до н. э. та же участь постигла и Египет. Но Александрия некоторое время еще оставалась крупным научным центром.

«Альмагест» состоит из 13 книг, а его объем в немецком издании 1912 г. составляет 908 страниц. В первой книге изложены основные принципы, на которых основываются все дальнейшие выкладки и построения. Исходные утверждения состоят в том, что «небосвод имеет шарообразную форму и вращается, как шар», «Земля является шаром и расположена в центре мира», «Земля является точкой по сравнению с расстоянием до неподвижных звезд» и что «не имея никакого движения, земля не меняет места своего расположения».

Свои утверждения Птолемей обосновывает, исходя из основных положений аристотелевой философии. Не назы-

вая имени Аристарха, Птолемей спорит с теми, «кто считает небесную сферу покоящейся, тогда как Землю заставляет вращаться вокруг своей оси с запада на восток, совершая одно обращение в сутки». Это вращательное движение Земли, дескать, было бы очень стремительным, а его скорость чрезмерной, так как за 24 часа необходимо было бы описать всю окружность Земли. Из-за этого будто бы тела не могли бы беспрепятственно падать на Землю, да и все, что не прикреплено к ней прочно, должно было бы отставать от движения Земли, двигаться в противоположную сторону — на запад. А этого, мол, мы не наблюдаем.

Сегодня мы знаем, что Птолемей в данном случае сильно переоценивал роль центробежной силы, возникающей при вращении любого тела. Однако следует сказать, что в подтверждение своей геоцентрической системы мира он приводил именно физические, а не какие-нибудь общеполитические рассуждения.

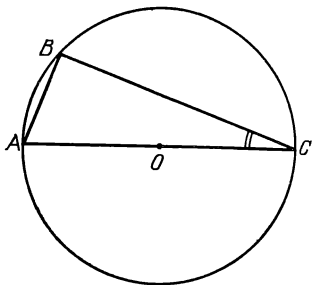


Рис. 18. Зарождение тригонометрии: величина угла C определяется длиной хорды AB

Значительная часть первой и второй книг посвящена элементам сферической астрономии. Здесь, в частности, Птолемей привел теоремы о плоских и сферических треугольниках, впервые описал метод измерения дуг (углов) по величинам

стягивающих их хорд (прообраз современных синусов) и составил соответствующую таблицу. Расчет хорд Птолемей осуществлял следующим образом: в окружность вписывал прямоугольный треугольник, гипотенузой которого был диаметр (рис. 18). Очевидно, что при передвижении вершины прямого угла вдоль дуги окружности этот угол всегда остается прямым, величина же одного из двух других растет от 0° до 90° (Птолемей считал, что прямой угол содержит 180° , и следовательно, величина остальных углов изменялась от 0° до 180°), а длина стороны, противоположной этому острому углу (т. е. хорды, стягивающей соответствующую ему дугу), — от нуля до величины диаметра окружности. Поскольку греки в то время не знали десятичных дробей, а применяли шестидесятеричную систему, было удобно измерять длину диаметра каким-нибудь большим числом. Птолемей принял его равным 120. Тогда, в частности, для дуги 90° длина хорды записывалась так: $84^p 51' 10''$,

т. е. $84+51/60+10/3600$ *). Чтобы перейти к современным обозначениям, разделим указанный угол на 2, а длину хорды на 120^p , в результате чего получим $\sin 45^\circ = 0,7071$.

Здесь же Птолемей обсуждает методы расчета угла наклона эклиптики к горизонту, моментов и продолжительности восхода некоторых зодиакальных созвездий в зависимости от географической широты наблюдателя, понятие о которой, кстати, также ввел он сам. Отдельные главы содержат информацию «О том, как вычисляется, где, когда и сколько раз Солнце бывает прямо над головой» и «О том, как на основании изложенного определяются отношения гномонов к полуденным теням во времена равноденствий и солнцеворотов».

В третьей книге Птолемей излагает теорию видимого годичного движения Солнца, «без которой, в свою очередь, невозможно полностью охватить всё, касающееся Луны». В первой главе «О продолжительности года» Птолемей сравнивает даты равноденствия, наблюдавшиеся им самим, с соответствующими наблюдениями Гиппарха, осуществленными на 285 лет раньше. Это и дало ему возможность установить, что «за 300 лет возвращение Солнца к точке весеннего равноденствия происходит на день раньше, чем должно быть, если год равен $365\frac{1}{4}$ дня». Отсюда следовало, что продолжительность тропического года составляет 365 дней 5 часов 55 минут 12 секунд — на 6 минут больше истинного **).

В четвертой книге рассматривается продолжительность синодического месяца, излагается теория движения Луны. В пятой идет речь об устройстве астролябии, об особенностях движения Луны, далее — «Определение расстояния Луны», «О величинах видимых диаметров Солнца, Луны и земной тени в сизигиях***), «О расстоянии Солнца и о том, что определяется вместе с ним», «О величинах Солнца, Луны и Земли» и о значениях и определениях параллаксов Солнца и Луны. В шестой книге изложена теория солнечных и лунных затмений. В седьмой и восьмой книгах дан каталог 1022 звезд. Здесь же Птолемей приводит свои результаты

*) Обозначение p происходит от слова *parts* — часть (имеется в виду количество частей, которых в диаметре круга насчитывается 120); число $84^p51'10''$ записывалось еще и так: 84; 51,10.

**) В XVIII в. было установлено, что в определении дня равноденствия Птолемей ошибся на один день, что и стало причиной отмеченной неточности, хотя именно на такую продолжительность года указывал Гиппарх ...

***) *Сизигиями* называются новолуние и полнолуние.

определения значения прецессии, причем указывает число, точно совпадающее с гиппарховым: точка весеннего равноденствия перемещается навстречу Солнцу на 1° за сто лет; здесь же он дает описание Млечного Пути и посвящает целую главу устройству небесного глобуса.

В остальных пяти книгах изложена теория планетных движений.

Кроме указанных неточностей в определении продолжительности тропического года и прецессии, обращает на себя внимание и тот факт, что координаты звезд в каталоге Птолемея очень точно совпадают с соответствующими их значениями по каталогу Гиппарха, если учесть заниженное (!) значение годичной прецессии ($36''$). Это дало повод многим астрономам XVIII—XIX вв. утверждать, что сам Птолемей вообще наблюдений не проводил, а лишь пересчитал данные Гиппарха на свое время или же осуществлял эти наблюдения очень грубо *).

Конечно, вполне можно допустить, что, имея полученные Гиппархом данные о продолжительности года (как и о значении прецессии), Птолемей (или его помощник) рассчитал даты солнцестояний и равноденствий (соответственно — координаты звезд) и выдал их за наблюденные (иначе говоря, произвел наблюдения крайне грубо, ориентируясь на эти расчеты). Но ведь главное, чем прославился Птолемей, — это его модель движения планет, позволявшая, как-никак, делать предвычисления положений планет на десятки лет вперед! И здесь, раньше чем утверждать, что Птолемей «сфабриковал все наблюдения», следовало бы доказать, что у него для каждой из планет уже были необходимые параметры задачи: отношения размеров радиуса эпицикла и деферента, угловых скоростей движения планеты по эпициклу и центра эпицикла по деференту и т. д. Без них ведь фабрикация положений планет в принципе невозможна! Остается непонятным удивление Р. Ньютона тем, что «наблюдавшаяся долгота совпадает с вычисленной лучше $1'$ ».

*) *Ньютон Р.* Преступление Клавдия Птолемея. — М.: Наука, 1985. Здесь мы встречаемся со стремлением доказать, будто практически все наблюдения, на основе которых Птолемей строил свою теорию движения Солнца, Луны и планет, подделаны. В заключение же упомянутой книги Р. Ньютон делает даже вывод, что «Альмагест» ... «нанес астрономии больше вреда, чем любая когда-либо написанная работа, и было бы намного лучше для астрономии, если бы этой книги вообще не существовало», и что поэтому «величайшим астрономом античности Птолемей не является», наоборот, он ... «самый удачливый обманщик в истории науки».

Но иначе ведь и быть не может, если только теория построена на основе этих наблюдений.

Несомненно, что книга Р. Ньютона сыграет большую положительную роль в изучении античной астрономии (для этого необходимо скорейшее издание «Альмагеста» на русском языке), и начать здесь, видимо, следует с вопроса о том, под силу ли было вообще одному человеку в середине II в. н. э. самому и без ошибок (этих нежелательных спутников почти каждого научного исследования) выполнить весь изложенный в «Альмагесте» объем работы. Ведь не исключено, что мы, умудренные 2000-летним опытом развития астрономии, имея в своем распоряжении мощные телескопы с высокоточными координатно-измерительными машинами и производящие миллион операций в секунду ЭВМ, напрасно укоряем в ошибках (тем более — обвиняем в сознательных подделках) человека, измерявшего углы с помощью трех линеек и проводившего расчеты, пользуясь, образно говоря, всего лишь горстью камешков ...

Нельзя, скажем, не отметить тот факт, что в движении Луны Птолемей открыл (а это требовало продолжительных наблюдений и притом довольно точных!) так называемое неравенство *эвекции*. Он установил, что положение Луны на небесной сфере отклоняется от рассчитанного после учета (!) «первого неравенства»: в первой четверти Луна уходит вперед на $76''$, в третьей она на столько же отстает.

Вне всякого сомнения Птолемея можно назвать одним из самых выдающихся математиков древнего мира. Ведь лишь гиганту была под силу столь огромная и кропотливая работа — синтез всех достижений астрономии и построение на этой основе стройной геометрической модели мира. И, как отметил А. Паннекук, «Математическое сочинение» было карнавальным шествием геометрии, праздником глубочайшего создания человеческого ума в представлении вселенной ... Труд Птолемея предстает перед нами как величественный памятник науки античной древности» *).

Элементы теории. В третьей книге «Альмагеста» Птолемей рассматривает задачу о движении Солнца по эклиптике. Вслед за Гиппархом он рассматривает возможность представления этого движения эксцентром или комбинацией эпицикла и деферента и останавливается на первом, учитывая, что гипотеза эксцентра проще, так как она достигает цели с помощью лишь одного движения. Здесь же даны таблицы для определения положения Солнца на эклиптике.

*) Паннекук А. История астрономии, с. 173—174.

Сущность расчета заключается в следующем. Пусть O (рис. 19) — центр эксцентра, T — положение Земли, P — Солнце, A — апогей его орбиты, $O\Upsilon$ и $T\Upsilon$ — направление на точку весеннего равноденствия, от которого отсчитывается долгота апогея Π , средняя долгота Солнца $\bar{\lambda}$ и его истинная долгота λ . Очевидно, что $\lambda = \Pi + M - x$, где M — по Птолемею — аномалия, $x = M - v$ — уравнение центра, или *простаферезис*. Здесь $M = \frac{360^\circ}{T} (t - t_0)$, где t_0 — время прохождения Солнца через апогей, T — тропический год.

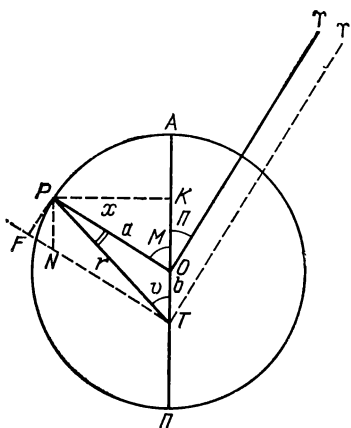


Рис. 19. К определению «первого неравенства», численное значение которого было основным элементом солнечных таблиц на протяжении почти 2000 лет

Из треугольников PKO , PKT , PFT и PFN нетрудно получить в аналитическом виде зависимости x , v и расстояния до Солнца r от M и значения эксцентриситета $\varepsilon = OT/OR$. Мы ограничимся здесь замечанием, что при найденном Гиппархом значении эксцентриситета $\varepsilon = 1/24 = 0,0417$ наибольшее значение уравнения центра достигается при $M = 90^\circ$, и оно равно $2^\circ 23'$: на столько Солнце, двигаясь от апогея к перигею, отстает в своем движении от «среднего Солнца» и, наоборот, обгоняет его при движении от перигея к апогею.

Решение задачи о движении Луны, полученное Птолемею, рассмотрено ниже. Здесь же остановимся на кинематике эпициклов, столь удачно использованной им для построения геоцентрической модели мира. Но сначала напомним, что, как и Солнце, планеты движутся примерно вдоль эклиптики неравномерно, и в этом проявляется «первое неравенство» их движения. Неравномерность же в движении планет по сравнению с Солнцем была названа «вторым неравенством». Так, для одной группы планет (Марс, Юпитер, Сатурн) характерно то, что в процессе своего движения вдоль эклиптики они отстают от Солнца, т. е. Солнце их догоняет и обгоняет, несмотря на то, что они, как и Солнце, перемещаются среди звезд с запада на восток. Напомним также, что момент, когда Солнце и планета оказываются на одной линии с наблюдателем, причем расположены по одну

сторону от него, называется *соединением* планеты с Солнцем, а момент, когда Солнце и планета расположены по разные стороны от наблюдателя, — *противостоянием*. Именно находясь в противоположной к Солнцу части неба, планета останавливается, движется в обратном, к западу, направлении, снова останавливается, после чего продолжает свое движение среди звезд с запада на восток. В момент противостояния планета находится в середине дуги попятного движения (см. рис. 2).

Планеты второй группы (Меркурий и Венера) ведут себя совсем иначе: они то обгоняют Солнце, двигаясь на восток, и тогда они видны вечером, то останавливаются и начинают обратное движение, исчезают в лучах Солнца (*нижнее соединение* планеты с Солнцем), после чего появляются на небе утром. Угловое расстояние планеты от Солнца увеличивается до наибольшего значения (эта наибольшая элонгация для Меркурия составляет $18\text{--}28^\circ$, для Венеры $43\text{--}48^\circ$), после чего происходит сближение планеты с Солнцем и ее *верхнее соединение* с ним, а затем появление планеты на вечернем небе.

Как уже отмечалось, промежуток времени, на протяжении которого планета по отношению к Солнцу занимает то же положение на небе, называется синодическим периодом движения планеты.

Задачей теории и было разработать метод, с помощью которого можно было бы вычислять долготы планет с учетом «первого» и «второго» неравенств. Решить ее Птолемею удалось с помощью комбинаций деферентов и эпициклов, причем для планет необходимо было вводить два отдельных параметра: угловую скорость движения центра эпицикла по деференту ω и угловую скорость движения планеты в эпицикле σ . Третьим параметром задачи было отношение радиуса эпицикла b к радиусу деферента a , $\delta = b/a$.

Используя систему эпицикл — деферент, нетрудно получить в проекции на небесную сферу петлеобразное движение планеты. Пусть в определенный момент времени планета находится на эпицикле в точке P_1 (рис. 20), а центр эпицикла — на деференте в точке N_1 . В процессе равномерного кругового движения обеих точек — планеты с угловой скоростью σ вокруг точки N и самой точки N (ее принято называть «средней планетой») как центра эпицикла с угловой скоростью ω вокруг Земли — планета опишет петлю, которую наблюдатель видит в проекции на небесную сферу.

Причина образования петли очевидна: в точке P_1 движения по эпициклу и по деференту направлены в одну сто-

рону — справа налево. Описав дугу в 180° , планета движется по эпициклу слева направо. Поскольку же угловая скорость σ больше, чем ω , направление видимого движения в

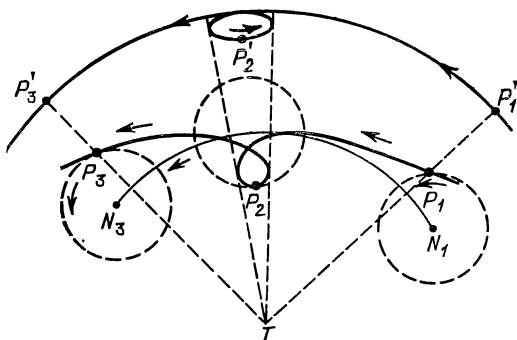


Рис. 20. К объяснению петлеобразного движения планет в системе мира Птолемея

положении, близком к P_2 , изменяется — планета здесь движется с востока на запад.

Так при помощи эпициклов Птолемею удалось учесть «второе неравенство» в движении планет. Что же касается «первого неравенства», то для его учета он разработал теорию «биссекции эксцентриситета», т. е. его равного деления.

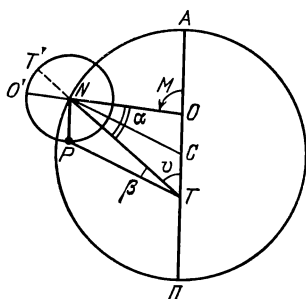


Рис. 21. К определению долготы планеты λ

Эту теорию известный советский историк астрономии Н. И. Идельсон (1885—1951) назвал шедевром античной науки. Сущность ее заключается в следующем *).

Пусть (рис. 21), как и раньше, T — центр эклиптики, в котором находится наблюдатель, O — центр равномерного движения, причем $OT = \varepsilon a$. Птолемей разделил отрезок OT пополам и далее рассматривал движение «средней планеты» (т. е. цент-

ра эпицикла) по окружности с центром в точке C . Но принималось, что движение «средней планеты» будет равномерным не относительно точки C , а относительно точки O , т. е. постоянная угловая скорость вводилась лишь для на-

*) Идельсон Н. И. Этюды по истории небесной механики. — М.: Наука, 1975. — С. 124—204.

правления ON . Позже европейские астрономы (при составлении «Альфонсинских таблиц», см. раздел «Канун революции») называли точку O *эквантом* (так же была названа и окружность с центром в точке O).

Вычисление долготы планеты λ проводилось в таком порядке: предварительно задавался момент t_0 перехода центра эпицикла через точку A (апогей), в это время истинная планета P также находилась на линии TA (!). Далее для каждого последующего момента t рассчитывался угол равномерного отклонения M от апогея: $M = \omega(t - t_0)$. Одновременно рассчитывался и угол, на который за это же время передвинулась планета по эпициклу, а в итоге — угол β , под которым из точки T виден радиус эпицикла NP . Долгота определялась суммированием (см. также рис. 19):

$$\lambda = P + M - \alpha + \beta.$$

Благодаря «биссекции эксцентриситета» Птолемей сумел в три раза уменьшить погрешность в определении уравнения центра x , при этом также была существенно повышена точность в определении относительного расстояния до планеты (значения r/a). В итоге Птолемей полностью отошел от догмы равномерных круговых движений ...

«Тонкости» птолемеевой модели. Прежде всего, поведем речь о Луне. Как уже отмечалось, в движении Луны Птолемей открыл эвекцию: в *квадратурах* (в первой и третьей четверти) она передвигается на небе, отклоняясь более чем на два своих диаметра от расчетного положения, если при вычислениях учитывалось лишь «первое неравенство». Моделируя движение Луны системой эпицикл — деферент, можно предположить, что в квадратурах она находится ближе к наблюдателю, который и видит ее эпицикл под большим углом. Птолемею следовало учесть открытое Гиппархом вращение линии апсид и тот факт, что Луна возвращается к апогею (и тогда ее скорость имеет наименьшее значение) за $T_a = 27,555$ суток; этот промежуток времени назван *аномалистическим месяцем*.

В теории Птолемея Луна движется по эпициклу радиусом $b = 5^{1/6} R_{\oplus}$ по часовой стрелке и делает полный оборот на нем за T_a , «средняя Луна» движется по деференту радиусом $A = 48^{5/6} R_{\oplus}$ против часовой стрелки с периодом, равным синодическому месяцу. Центр же деферента находится на расстоянии $s = 10^{1/6} R_{\oplus}$ от Земли и вращается вокруг нее с тем же периодом по часовой стрелке (рис. 22). Таким образом, наибольшее расстояние до Луны в сизигиях, когда к тому же Луна находится в апогее, равно $A + s + b = 64^{1/6} R_{\oplus}$,

в квадратурах же оно может быть в пределах от $A-s+b=43\frac{1}{6}R_{\oplus}$ до $A-s-b=33\frac{1}{2}R_{\oplus}$, т. е. может быть почти вдвое меньше, чем в сизигии. Но Птолемею, очевидно, важно было дать метод расчета положения Луны на небе. Поэтому он лишь между прочим указал, что когда Луна находится ближе, то наблюдатель не может охватить взором всей величины ее диаметра.

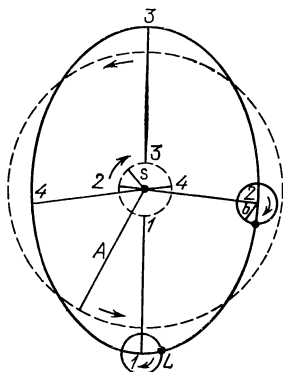


Рис. 22. Движение Луны по Птолемею

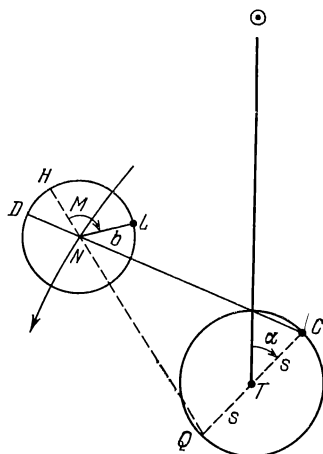


Рис. 23. Отсчет аномалии M в системе Птолемея

К тому же, как установил Птолемей, аномалию M , которой определяется положение Луны на эпицикле, следует отсчитывать от переменного апогея — от точки H , определяемой направлением от точки Q , находящейся (рис. 23) на диаметрально противоположной стороне окружности, описываемой центром деферента C .

Не менее сложна и теория движения планет. Как отметил Птолемей, Гиппарх в свое время «ограничился лишь тем, что собрал наблюдения для их будущего использования и доказал при их помощи, что гипотезы современных ему астрономов могут быть согласованы с этими наблюдениями». Можно вспомнить также высказывание древнегреческого писателя Плутарха (ок. 46 — ок. 126 гг. н. э.): «До сих пор движения светил преобладали над знаниями математиков» ...

Излагая собственную теорию планет, Птолемей в девятой книге «Альмагеста» рассмотрел прежде всего вопрос «о порядке сфер (т. е. орбит) Солнца, Луны и остальных пяти блуждающих светил». Здесь он высказал утверждения, «относительно которых согласны и все древние астрономы»,

а именно: 1) все планетные сферы расположены ближе к Земле, чем сфера неподвижных звезд, но дальше, нежели сфера Луны, и 2) три сферы — Сатурна, Юпитера и Марса (из которых первая наибольшая, а каждая последующая меньше предыдущей) — лежат за сферой Солнца. Сферы Меркурия и Венеры Птолемей расположил ниже Солнца, поскольку оно «отделяет те из них, которые приходят в противостояние, от тех, которые этого положения не достигают, оставаясь всегда вблизи Солнца».

Для определения угловых скоростей движения планет на эпициклах и скоростей движения центров эпициклов («средних планет») по деферентам Птолемей провел продолжительные наблюдения планет, используя такие промежутки времени, за которые планета, сделав определенное количество оборотов по отношению к Солнцу, возвращалась в то же созвездие (возможно, он в какой-то мере использовал результаты Менелая, автора книги «Сферика», о котором известно, что он в 98 г. н. э. проводил астрономические наблюдения в Риме). В результате Птолемей получил соотношения между числом синодических периодов обращения планет S (обозначены с. п.), годов и дней (г., дн.) и количество полных циклов перемещений планеты среди звезд, т. е. ее обращений (об.):

$$\text{Сатурн} \quad 57 \text{ с. п.} = 59 \text{ г.} + 1\frac{3}{4} \text{ дн.} = 2 \text{ об.} + 1^{\circ}43',$$

$$\text{Юпитер} \quad 65 \text{ с. п.} = 71 \text{ г.} - 4\frac{9}{10} \text{ дн.} = 6 \text{ об.} - 4^{\circ}50',$$

$$\text{Марс} \quad 37 \text{ с. п.} = 79 \text{ г.} + 3\frac{13}{60} \text{ дн.} = 42 \text{ об.} + 3^{\circ}10',$$

$$\text{Венера} \quad 5 \text{ с. п.} = 8 \text{ г.} - 2\frac{3}{10} \text{ дн.} = 8 \text{ об.} - 2^{\circ}15',$$

$$\text{Меркурий} \quad 145 \text{ с. п.} = 46 \text{ г.} + 1\frac{1}{30} \text{ дн.} = 46 \text{ об.} + 1^{\circ}.$$

Знак «плюс» означает, что, скажем, для Сатурна 58-е от начала счета противостояние наступило на 1,75 суток позже и на $1^{\circ}43'$ к востоку от исходного, 1-го в счете. Отсюда, кстати, следует, что планета Венера спустя восемь лет практически полностью повторяет свой путь на небе «двумя днями раньше и на 2° западнее, чем в предыдущем цикле».

Если здесь пренебречь небольшими слагаемыми (сутками и градусами), то для верхних планет — Сатурна, Юпитера и Марса — получаем их синодические периоды $S = 59/57$, $71/65$ и $79/37$ года соответственно, т. е. 378,07;

398,97 и 779,86 суток. Этими значениями и определяется скорость движения планет по эпициклам ($\sigma=0,952^\circ$, $0,902^\circ$ и $0,462^\circ$ в сутки). Для нижних планет — Венеры и Меркурия — $S=8/5$ и $46/145$ года или соответственно 583,9 и 116 суток, так что скорости их перемещения на эпициклах $\sigma=0,617^\circ$ и $3,1^\circ$ в сутки.

Птолемей приводит эти значения (см.: *Handbuch der Astronomie.* — Leipzig, 1913. — Bd. II. — S. 101) с точностью «до сексты градуса» (например, для Сатурна $\sigma=0^\circ 57' 7'' 43''' 41'''' 43'''''' 40''''''''$!).

В модели мира Птолемея есть такие особенности (рис. 24):

1) Каждая из верхних планет находится на эпицикле в том же направлении относительно центра эпицикла, в каком относительно наблюдателя находится Солнце. Это значит, что радиус-векторы эпициклов Марса, Юпитера и Сатурна всегда параллельны между собой. Отсюда следует,

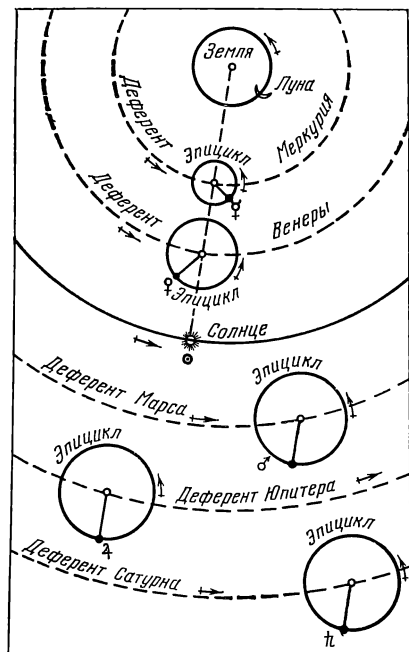


Рис. 24. Система мира по Птолемею

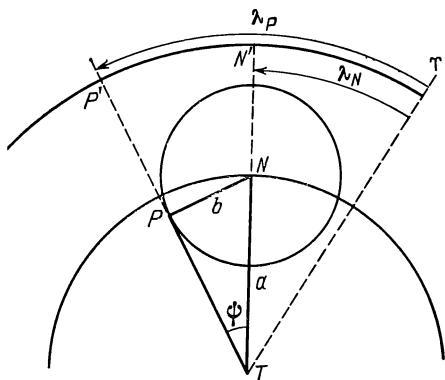
что, находясь в соединении с Солнцем, планета проходит через апогей, а в противостоянии — через перигей своей орбиты. В том и другом случае истинная планета P проецируется на небесную сферу в ту же точку, что и центр эпицикла («средняя планета») N . Поэтому, разделив число годов, за которое та или другая планета вернулась к той же фазе, скажем, противостоянию, на число полных оборотов, находим периоды обращений «средних планет» (точки N , центра эпицикла планеты) на деферентах: $T=59/2$, $71/6$ и $79/42$ года для Сатурна, Юпитера и Марса соответственно. Им соответствуют средние угловые скорости точки N на деференте $\omega=0,033$; $0,083$ и $0,524^\circ$ в сутки или соответственно $12,18$; $30,34$ и $191,35^\circ$ в год. Птолемей, как и раньше, дает эти величины с точностью до шестой и даже до восьмой 60-й части градуса!

2) Центры эпициклов нижних планет всегда находятся на прямой, соединяющей наблюдателя с Солнцем. Иначе говоря, угловая скорость движения средней нижней планеты ω такая же, как и у Солнца; обозначим ее через μ .

Примечательно, что для каждой из верхних планет выполняется соотношение $\omega + \sigma = \mu$.

Посмотрим теперь, как были установлены для каждой из планет значения $\delta = b/a$. Как уже отмечалось, для верхних планет в момент противостояний положения на небе истинной и средней планеты совпадают. Угловая скорость ω средней планеты N известна. Это дает возможность рассчитать ее эклиптическую долготу λ для произвольного момента времени t : $\lambda_N = \lambda_0 + \omega t$. Одновременно проводятся измерения долготы λ_P истинной планеты P для установления момента, когда угловое расстояние между истинной планетой P и центром ее эпицикла будет наибольшим: $\lambda_P - \lambda_N = \psi$. В этом положении направления от планеты P на

Рис. 25. К установлению Птолемеем отношения δ радиуса эпицикла к радиусу деферента для верхней планеты



точку N и на Землю (точка T) образуют прямой угол (рис. 25). Если угол ψ известен, то из треугольника PNT находим, что $b/a = \delta = \sin \psi$. В частности, для Сатурна $\psi = 6^\circ 12'$ и $\delta = 0,108$, для Юпитера $\psi = 11^\circ 5'$ и $\delta = 0,192$, для Марса $\psi = 41^\circ 12'$ и $\delta = 0,658$. Для нижних планет — Меркурия и Венеры — значения δ находятся вообще просто по наибольшей элонгации планеты, и соответственно имеем $\delta = 0,376$ и $0,720$.

Направление линии апсид, т. е. ориентация деферента как эксцентра в пространстве, определяется путем многократного измерения угла ψ , когда планета проецируется на различные участки неба. Очевидно, что когда она вблизи апогея, этот угол будет наименьшим, около перигея — наи-

большим. По величине ускорения в движении средней планеты относительно точки T устанавливается и значение эксцентриситета планеты ε (здесь отметим, что оно вдвое больше введенной позже кеплеровской характеристики эллиптической орбиты: $\varepsilon = 2e$, так как, грубо говоря, им определяется расстояние между фокусами эллипса).

Любознательному читателю предлагаем проверить эффективность разработанного Птолемеем метода: графическим путем определить положение любой из планет для наперед заданной даты при известных начальных параметрах задачи — скажем, долготе планеты в соединении (рис. 26). В «нулевом приближении» можно принять, что

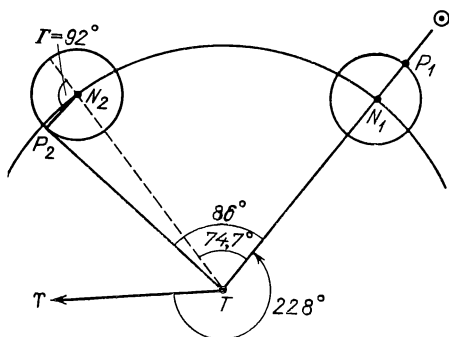


Рис. 26. Графическое определение положения планеты Юпитер на небе по методу Птолемея: соединение Юпитера с Солнцем произошло 13 ноября 1982 г., $\lambda_J^0 = \lambda_{\odot}^0 \approx 228^\circ$; 1 мая 1985 г. ($\Delta t = 900$ д) долгота планеты $\lambda \approx 314^\circ$, планета находилась в созвездии Козерога

эксцентриситет орбиты средней планеты равен нулю (т. е. совместить точки T и O на рис. 21). Очевидно, что, если расчет ведется на Δt суток вперед, то необходимо найти угол $\Gamma = \sigma \Delta t$, на который сместится от апогея планета P на эпицикле, и угол $M = \omega \Delta t$ — смещение точки N на деференте, причем полные углы в 360° следует исключить. Отложив сначала угол M , соответствующий положению средней планеты N_2 на момент времени t , рисуем с сохранением относительного масштаба эпицикл и на нем откладываем угол Γ — фиксируем положение планеты P_2 . Продолжение линии TP_2 до пересечения с эклиптической и укажет долготу планеты.

Отметим, что Птолемей учел отклонения планет от эклиптики в процессе их движения среди звезд. Для Марса, Юпитера и Сатурна он ввел углы наклона деферента к эклиптике и эпицикла к деференту. Для Меркурия и Венеры было введено колебание вверх и вниз при помощи небольших вертикальных кругов. Описывая же движение Мерку-

рия, Птолемей пришел к выводу, что деферент этой планеты является овалом, а Земля расположена на большой оси за его центром.

Из-за перемещения планеты по эпициклу расстояние до нее и направление на нее, измеренные от точки весеннего

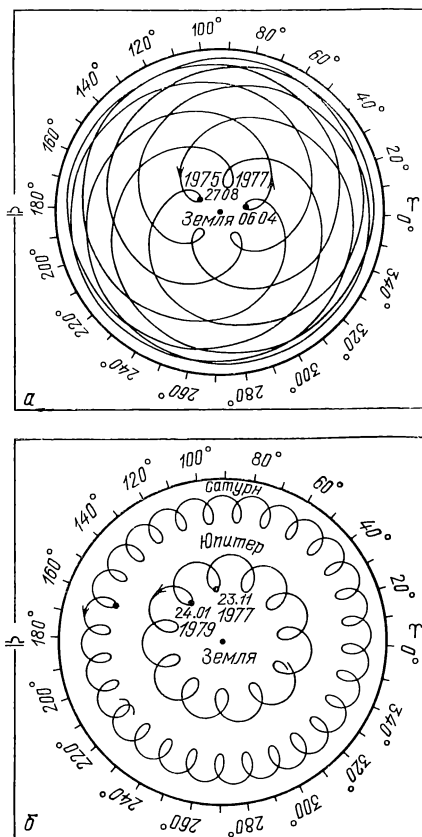


Рис. 27. Движение планет относительно Земли: Венеры (а), Юпитера и Сатурна (б); картина движения Венеры на небе повторяется через 8 лет (см. с. 63), и в тех же точках планета была 25.08.1983 и 03.04.1985 гг.; положение Сатурна отмечено на 01.03.1979 г.

равноденствия, непрерывно изменяются. Изображая эти изменения графически с учетом всего сказанного о величинах ω , σ и δ , получаем гипоциклоиду (рис. 27). Очевидно, что это отображение истинного движения планеты, как ее на самом деле видит наблюдатель с Земли. Конечно, здесь

возникает вопрос: как можно получить правильный результат в предвычислении положений планеты на небе, исходя из ошибочного представления о том, что Земля неподвижна и находится в центре мира. Но дело-то в том, что каждое движение относительно (рис. 28). Эпицикл той или другой планеты и есть отображение истинного движения Земли.

В последней, тринадцатой книге Птолемей говорит: «Пусть никто, глядя на несовершенство наших человеческих изобретений, не считает предложенные здесь гипотезы

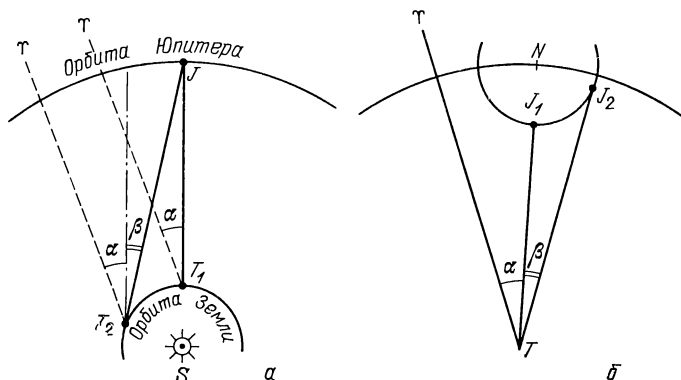


Рис. 28. Относительность движения на примере Юпитера: смещение Земли на орбите от T_1 к T_2 (а) приводит к тому же наблюдаемому эффекту, что и передвижение Юпитера на эпицикле от точки J_1 к J_2 (б): угловое расстояние планеты от точки γ увеличивается на угол β

слишком искусственными. Мы не должны сравнивать человеческое с божественным... Просто небесные явления нельзя рассматривать с точки зрения того, что мы называем простым или сложным, так как у нас — все произвольно и переменено, а у небесных естеств — все строго и неизменно, так что их движения по орбитам нельзя представлять себе вынужденными и трудными...».

...Римский философ Сенека (ок. 3 г. до н. э. — 65 г. н. э.) сформулировал важный для науки вопрос так: «Важно было бы исследовать, мир ли вращается вокруг Земли, которая остается неподвижной, или Земля вертится, тогда как мир стоит. Находятся люди, которые утверждают, что нас несет природа, а мы того совершенно не замечаем, что восход и закат светил происходит не от движения неба, а от того, что мы сами то восходим, то заходим относительно их восхождения на небесном своде. Эта задача достойна наших размышлений, ибо мы должны знать, в каком состоянии мы находимся: обречла ли судьба нашу Землю на

вечный покой, или же, наоборот, она одарила Землю быстрым движением; заставили ли боги все небесные тела двигаться вокруг нас, или же мы сами около них вращаемся». Мы уже видели, как ответил на этот вопрос Птолемей. И, кажется, в последующие 1000 лет лишь индийский астроном Ариабхата (476—?) высказал догадку, что вращение небес — явление кажущееся, что оно обусловлено вращением Земли вокруг своей оси. Да еще «под занавес» первого тысячелетия несколько астрономов из стран ислама будут думать так же...

«Телескопы» времен Птолемея. В «Альмагесте» Птолемей описывает несколько приборов, с помощью которых он и другие древние астрономы проводили наблюдения — определение угловых расстояний между светилами. Прежде всего это «полуденный круг», с помощью которого измерялся наклон эклиптики к экватору и определялось положение Солнца на эклиптике. Прибор состоял из металлического кольца произвольного радиуса, разделенного на 360° и устанавливаемого на надежной подставке вертикально в плоскости меридиана. К этому кольцу прикреплялось меньшее кольцо, на котором в диаметрально противоположных точках устанавливались визирные площадки. При наведении на Солнце верхняя площадка отбрасывала тень на нижнюю, а имеющиеся указатели позволяли отсчитывать угол на шкале большого кольца.

Если в центре «полуденного круга» установить острие перпендикулярно к плоскости круга, то тень от острия будет падать на северную, нижнюю часть проградуированного кольца. Иначе говоря, для измерений достаточно нанести градусные деления лишь на одну четверть кольца. В этом и состоит принцип работы *квадранта*, также описанного Птолемеем. Плита с проградуированной четвертью круга устанавливалась в меридиональной плоскости. Высоту Солнца над горизонтом в полдень указывала падающая на шкалу тень от острия. Известно, что со временем квадрант стал одним из самых надежных угломерных инструментов. Его «укрепляли» на стене, ориентированной строго в направлении с севера на юг, или на столбе. Тогда же важнейшими деталями квадранта стали два визира: один располагался в центре дуги, другой (с указателем) скользил вдоль нее (рис. 29).

Для измерения эклиптических координат Луны и звезд Птолемей сконструировал прибор *астролабон*, который со временем был назван *армиллярной сферой*, или армиллой. Важнейшей частью этого прибора (рис. 30) были два взаим-

но перпендикулярных и неподвижно скрепленных кольца. Первое из них изображало эклиптику, второе — *круг солнцестояний*, проходящий через точки эклиптики, в которых Солнце находится в дни летнего и зимнего солнцестояний. В середине этих колец размещалось подвижное кольцо, которое могло поворачиваться вокруг двух штифтов,

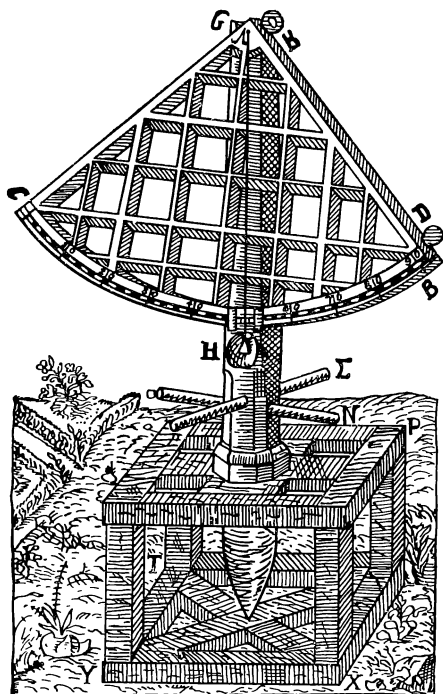


Рис. 29. Квадрант

закрепленных в полюсах эклиптики. Угол отклонения этого кольца (долгота) отсчитывался вдоль кольца эклиптики. По внутренней поверхности подвижного кольца скользило плотно пригнанное и проградуированное «кольцо широты», на котором были укреплены два визира. С их помощью кольца долгот и широт и ориентировались на определенное небесное светило.

Для измерения высоты Луны над горизонтом (или, что то же самое, ее углового расстояния от зенита) Птолемей использовал «параллактический инструмент» — прибор из трех реек. Одна из них устанавливалась вертикально. На

другой, которая одним концом закреплялась в верхней части первой рейки, были укреплены два визира, с помощью которых эта рейка направлялась на Луну. На третьей рейке, одним концом прикрепленной к нижней части первой,

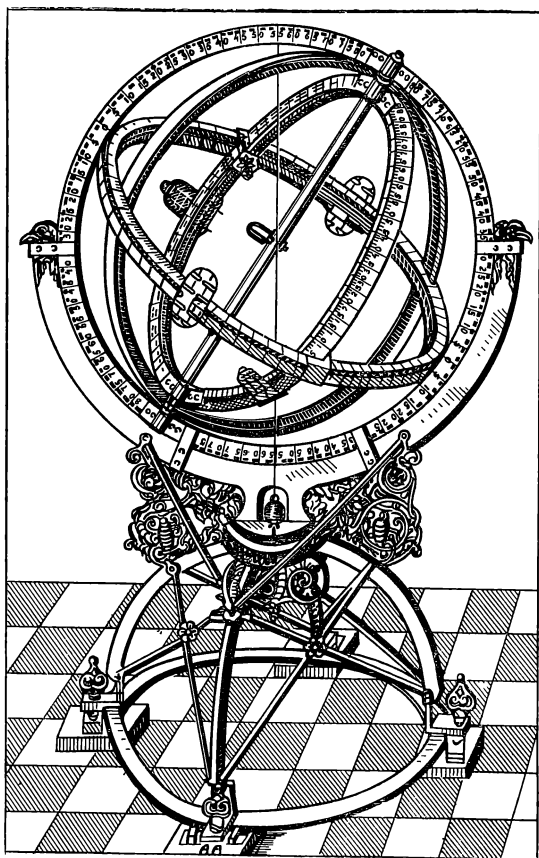


Рис. 30. Армиллярная сфера

была нанесена шкала, по которой и определялась хорда угла, соответствовавшего зенитному расстоянию Луны (рис. 31). Позже этот инструмент (так называемый *трикветрум*) широко использовался астрономами Западной Европы.

Вспомним и еще об одном угломерном приборе тех времен — астробии, хотя Птолемей в «Альмагесте» о ней не

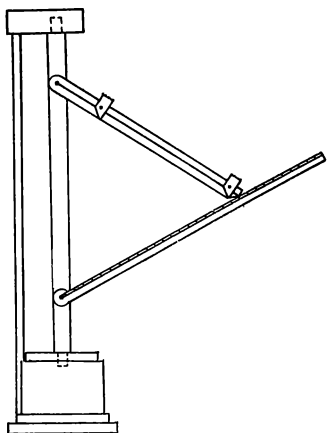


Рис. 31. Трикветрум

нацеливал линейку на небесное светило, третий определял на лимбе высоту светила над горизонтом. Этим

упоминает. *Астролябия* (рис. 32) — это металлический круг (его диаметр иногда превышал 50 см), на краю которого устанавливалось неподвижное проградуированное кольцо (лимб). К оси инструмента прикреплялась планка (алидада), на которой были установлены визиры (диоптры). Измерение высоты светила над горизонтом выполнялось тремя наблюдателями: один держал астролябию в вертикальном положении, поддерживая ее за приделанную к кругу проушину, второй

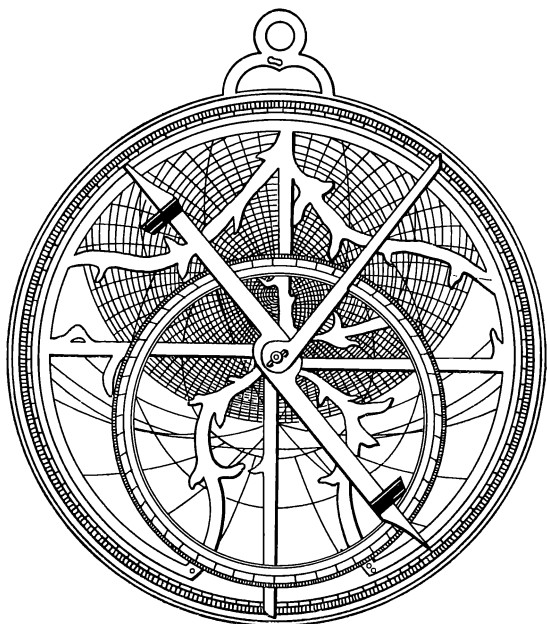


Рис. 32. Астролябия

прибором устанавливали широту места с точностью до нескольких минут дуги.

КОНТРАСТЫ СРЕДНЕВЕКОВОЙ ЕВРОПЫ

Упадок античной культуры. После захватывающего расцвета античной культуры на европейском континенте наступил длительный период некоторого застоя, а в ряде случаев и регресса — отрезок времени более чем в 1000 лет, который принято называть средневековьем. Ему предшествовало разделение Римской империи на Западную и Восточную (395 г.) и гибель Западной империи под ударами германских племен — готов и вандалов. И за эти более чем 1000 лет не было сделано ни одного существенного астрономического открытия...

Упадку науки, в частности естествознания, в определенной степени содействовало также и распространение христианства, в 313 г. ставшего в Римской империи государственной религией. В концентрированном виде отношение христианства к науке сформулировал еще в начале III в. н. э. христианский богослов из Карфагена Тертулиан (ок. 160 — ок. 220). Поставив вопросы: «Что есть общее у философа с христианином, у ученика Греции с учеником неба?» и «Что общее между Афинами и Иерусалимом, между Академией и церковью?», он ответил на них так: «Нам после Христа не нужна никакая тяга к знаниям, после евангелия нам не нужны никакие исследования». Аналогично высказался об ученых и раннехристианский историк Евсевий (ок. 263 — ок. 340): «Мы так низко ценим то, чем они увлекаются, совсем не из-за незнания предмета, а потому, что мы пренебрегаем их бесполезным трудом, обращая наши души к предметам более возвышенным». Все усилия христиан должны были направляться на подготовку к потусторонней жизни...

Правда, в таком выдающемся научном центре, как Александрия, огонь науки погас не сразу. Под влиянием античной философии отдельные представители александрийской богословской школы высказывали утверждения о неисчислимости населенных миров, о шарообразности Земли и т. д. В частности, один из «отцов церкви» Ориген (185—254) придерживался взгляда, что Земля является одним из миллионов подобных ей миров, что Вселенная время от времени обновляется разрушением и зарождением материальных миров.

Конечно, определенный интерес к астрономии сохранялся, в частности, из-за увлечения астрологией, которое в Римской империи накануне ее краха усилилось. Например, в Александрии, бывшей столице эллинистического Египта,

а позже главном городе римской провинции, в 146 г., к 60-летию императора Антонина Пия (138—161) было даже выпущено 12 медных монет с изображениями на их оборотных сторонах созвездий Зодиака совместно с мифологическими изображениями семи планет. В г. Помпеи найдены изображения семи богов — «опекунов» дней недели.

Имел определенный резонанс и «Альмагест» Птолемея. Так, известно, что ок. 250 г. н. э. он при сасанидском правителе Шапуре I был переведен на язык пехлеви, имелся его перевод и на сирийский язык. Комментатор «Альмагеста» Теон Александрийский (IV в.) создал теорию *трепидации*, согласно которой прецессионное перемещение точки весеннего равноденствия — это не равномерно-поступательное, а циклическое движение: с передвижениями на несколько градусов вперед, остановками и обратным движением. Вот к чему привела малая точность птолемеевых наблюдений неподвижных звезд и Солнца (с. 56)...

Примечательно, что поборником гелиоцентрических взглядов был римский император Юлиан Отступник (ок. 331—363). В своем сочинении «К владыке Солнцу» он писал: «Планеты кружатся вокруг него [Солнца] как вокруг своего владыки». Вскоре император Валент (328—378) в 373 г. отдал приказ — сжечь все нехристианские книги... В V в. Маркиан Феликс Капелла из Карфагена, один из последних ученых «дохристианского мира язычества» написал «высокопарной и нечистой латынью» книгу в стихах «Сатирикон», бывшую энциклопедией науки своего времени. В ней, среди прочего, пропагандировалась мысль о движении Меркурия и Венеры вокруг Солнца. Но уничтожение «языческих» книг все продолжалось. Мы вспомним еще, что в Риме по распоряжению папы Григория I (590—604) была сожжена библиотека при храме Аполлона Палатинского, в которой находились рукописи редчайших трудов многих древних философов...

«Рецидив детства». Образно говоря, представления о плоской Земле зародились в эпоху детства человечества. И произошло это совершенно закономерно. Но мы уже видели, как греческие философы сумели преподнести научные доказательства того, что Земля является шаром, сумели установить ее размеры, определить, пусть и неточно, расстояния до Солнца и Луны. Так за несколько столетий до нашей эры был заложен фундамент науки о Вселенной.

Но вот новые поколения людей, охваченных религиозным фанатизмом, безо всякого сожаления растаскивают подмостки, разрушают начатое строительство. То тут, то

там во взглядах на окружающий мир встречаются... рецидивы детства. В частности, на много лет (вплоть до IX в.) были «воскрешены» представления о плоской Земле. Так, христианский писатель и теолог Люций Целий Фирмиан, названный Лактанцием (ок. 250 — ок. 320), в трактате «О ложной мудрости» высмеивал древних философов, утверждавших, что Земля имеет форму шара. Вот как «убедительно» звучат его «доказательства»: «Что сказать о людях, допускающих существование антиподов и помещающих каких-то людей под нашими ногами? Можно ли быть настолько ограниченным, чтобы думать, будто есть люди, у которых ноги выше головы, что существуют страны, где все стоит вверх дном, где плоды висят снизу вверх, верхушки деревьев стремятся вниз, дождь, снег и град падают снизу вверх?.. Подобные заблуждения встречаются у людей, полагающих, что Земля кругла». Константинопольский епископ Иоанн Златоуст (ок. 347—407) повторял те же взгляды, говоря, что он готов вступить в спор с каждым, кто осмелится утверждать, что Земля шарообразна и что она не подобна палатке или шатру.

Справедливости ради следует отметить, что некоторые из «отцов церкви» были высокообразованными людьми. Так, современник Иоанна Златоуста Василий, епископ Кесарийский (ок. 330—379), в своих трудах правильно объясняет смену фаз Луны, Солнце же у него «велико и до бесконечности больше, нежели каким представляется». Знает он и причину приливов и отливов: «С переменами Луны согласны... обратные течения еврипов, прилив и отлив в ... океане..., в точности следующие времени лунных кругообращений». А вот его рассуждения о форме Земли: «Писавшие о мире... рассуждали, что она... шар ... Но я не соглашусь признать наше повествование о миротворении стоящим меньшего уважения потому единственно, что раб божий Моисей не рассуждал о фигурах, не сказал, что окружность Земли имеет 180 000 стадий, не вымерил, на сколько простирается ... земная тень ... и как эта тень, падая на Луну, производит затмения». Отсюда и вывод: «Нас не интересует, является Земля шаром, цилиндром, либо диском, или же она вогнута посредине подобно вееру»...

В это же время блаженный Августин (354—430) провозгласил, что главной целью людского разума является познание бога и собственной души, а исследования окружающего мира ради него самого осудил как грех напрасной любознательности. Августин полностью разделял взгляды Лактанция в отношении формы Земли,

И вот в 535 г. александрийский монах Косма Индикоплевст, который ранее был купцом и путешественником и побывал в Индии, написал труд «Христианская топография Вселенной, основанная на свидетельствах святого письма, в котором христианам нельзя сомневаться». В этой книге Косма утверждал, что «нельзя верить светской науке, которая считает, будто с помощью разума можно познать вселенную», высмеивает мысль о шарообразности Земли и предлагает собственную модель мира: «Мы скажем

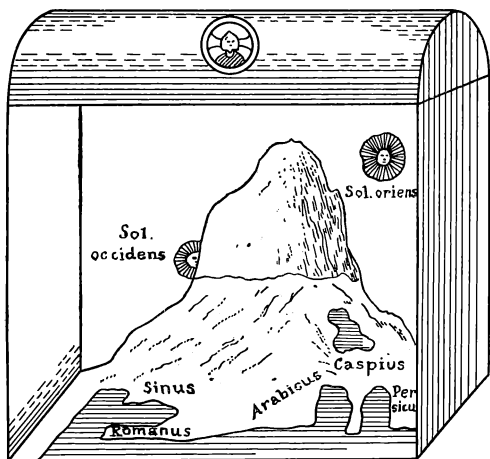


Рис. 33. Строение мира согласно Косме Индикоплевсту

вместе с пророком Исайей, что небо имеет форму свода; вместе с Иовом скажем, что оно соединено с Землей, а вместе с Моисеем, что Земля больше в длину, нежели в ширину».

По Косме Земля имеет форму прямоугольника (рис. 33), у которого большие стороны в два раза длиннее малых и посередине которого расположен город Иерусалим. За океаном, окружающим Землю, размещен еще один материк, в восточной части которого был когда-то земной рай. Небесный свод поддерживается четырьмя отвесными стенами. На севере Земли возвышается огромная гора, за которую заходят Солнце, Луна и звезды на определенную часть суток. «Все светила,— говорит он,— созданы для того, чтобы управлять днями и ночами, месяцами и годами, перемещаются не в результате движения неба, а под действием божественных сил и мироносителей. Бог создал ангелов, чтобы они служили ему, и одним приказал двигать воздух,

другим Солнце, третьим Луну, четвертым звезды, некоторым велел нагромождать облака и готовить дождь». Поистине, более наивного представления и не придумаешь...

Византийская космология. Как уже отмечалось, Византийская империя просуществовала более 1000 лет. Так неужто главным ее достижением в области космологических воззрений была эта, к тому же заимствованная, система Космы Индикоплевста? Конечно же, нет. Беда просто в том, что византийская наука вообще и астрономические и космологические взгляды конца первого и начала второго тысячелетия пока изучены еще крайне недостаточно *). Если же присмотреться к ним повнимательнее, то вполне может оказаться, что широкому распространению «Христианская топография» обязана не своими представлениями о мироздании, а всего лишь «из-за живого интереса средневекового читателя к ярким миниатюрам, украшающим древнейшие списки этого сочинения».

И в данном случае, по-видимому, многое безвозвратно потеряно в огне, когда «воинство» четвертого крестового похода в 1204 г. захватило Константинополь (так же, как в 1109 г. крестоносцы сожгли в Триполи более 100 000 научных трудов исламских авторов)...

Известно, однако, что в первой половине VIII в. Иоанн Дамаскин (680—760) создал энциклопедический труд «Источник знания», в котором было дано систематическое изложение философско-логических понятий, космологических, психологических и других сведений на основе лучших сочинений античных и александрийских ученых. Дамаскин игнорировал «Топографию» Космы. У него Земля окружена тремя небесами: первое, самое высокое и неподвижное — эмпирейское, второе — хрустальное, третье — твердь, делящаяся на пояс неподвижных звезд и пояс планет. Планетное же небо делится на семь кругов по числу планет.

Известно также, что византийский патриарх Фотий (ок. 820—ок. 891) называл измышления Космы «нелепостями», считая шарообразность Земли доказанной. При Фотии был создан первый библиографический труд средневековья — «Библиотека Фотия», а несколько позднее (ок. 1000 г.) — широко известный энциклопедический словарь «Лексикон Свида».

Большой интерес к астрономии и астрологии проявлял Лев Математик (805—870), армянин по происхождению,

*) *Гаврюшин Н. К.* Византийская космология в XI веке // ИАИ.— 1983.— Вып. XVI.— С. 327—338.

бывший в 840—843 гг. митрополитом г. Фессалоники. Этот выдающийся византийский философ и ученый явился одним из основоположников светского направления в византийской науке. После реорганизации Константинопольского университета Лев Математик в 863 г. был назначен его ректором и профессором философии и математики. Он известен еще и тем, что конструировал поющих механических птиц и рычащих львов ... Не исключено, конечно, что Льву Математику (или, как его еще называли, Философу) был известен «Альмагест», — ведь до наших дней сохранилось несколько списков сочинений Птолемея, относящихся к IX в. Сочинения же самого Льва Математика до нас не дошли.

На XI в. приходятся годы жизни и творчества выдающегося византийского писателя Михаила Пселла (1018—ок. 1097) и его современника, ученого-энциклопедиста, исполняющего обязанности главного церемониймейстера императорского двора Симеона Сета (Сифа). Из анализа некоторых сочинений упомянутых ученых Н. К. Гаврюшин сделал такой вывод: «Сочинения Михаила Пселла и Симеона Сета свидетельствуют отнюдь не о разрыве с античной научной традицией, но скорее об обратном — о стремлении византийских мыслителей с предельной полнотой освоить и использовать классическое наследие, найти ему подобающее место в системе нового мировоззрения».

В самом деле, Михаил Пселл и Симеон Сет приводят многочисленные (известные со времен Аристотеля) доказательства сферичности Земли, длину окружности Земли — 250 000 стадий, отношение радиусов Солнца, Земли и Луны «согласно опытейшему в астрономии Аристарху», сведения о точках и линиях небесной сферы, о сменах времен года, о лунных и солнечных затмениях — согласно «мудрейшему Птолемею». В отношении же природы комет, Солнца и звезд они следуют Аристотелю. Примечательно, однако, что Симеон Сет отвергает распространившееся было среди греческих натурфилософов учение об одушевленности светил, подчеркивая, что «движение их является физическим, а не психическим».

УСПЕХИ АСТРОНОМОВ СТРАН ИСЛАМА

Новые очаги культуры. Издавна Аравийский полуостров населяли племена, которые со временем получили название арабов. Объединенные общей религией — исламом, которую основал Мухаммед (ок. 570—632), арабы с середины

VII в. начали захват окружающих территорий. В течение ста лет они завоевали Сирию, Иран, Египет, Северную Африку, Пиренейский полуостров и Среднюю Азию. Вначале завоеватели уничтожали памятники науки и культуры покоренных народов. Но очень скоро положение изменилось: они начали усваивать местную культуру, а столица арабского государства Багдад стала центром научной деятельности. В частности, здесь уже в 829 г. (а несколько позже — и в других городах) была создана астрономическая обсерватория.

В странах ислама были основаны университеты: в 755 г. — в Кордове, в 795 г. — в Багдаде, в 972 г. — в Каире. В течение IX в. на арабский язык были переведены труды Аристотеля и других древнегреческих философов, а также «Альмагест» Птолемея.

Вскоре появились «Зиджи» — оригинальные труды исламских астрономов, составленные на основе наблюдений, проведенных в крупных обсерваториях. Это были астрономические таблицы, пользуясь которыми, можно было рассчитать положение планет на небесной сфере. Обязательной составной частью зиджа был свод правил, использованных при составлении таблиц, и правила пользования ими. Порядок расположения материала и характер таблиц во всех зиджах одинаков: 1) о календарях, 2) о движении планет, 3) об определении времени и 4) «об остальных знаниях» (об астрологии). Всего астрономы стран ислама создали несколько тысяч зиджей, учебников, комментариев к зиджам и просто трактатов по астрономии. В зидже помещался также каталог звезд.

В начале IX в. больших успехов добились астрономы Багдада и Дамаска. Так, в 827 г. в долине Сеннаар (Месопотамия) ими при помощи измерительного шнура была измерена дуга меридиана, а наблюдения зенитных расстояний звезд по методу Эратосфена на концах дуги меридиана привели к установлению длины его окружности в 40 700 км в современном исчислении. Тогда же по измерениям долготы Регула после сравнения результата с данными Гиппарха было получено новое значение постоянной прецессии, 1° за 66 лет. Арабские астрономы также обнаружили, что угол наклона эклиптики к экватору несколько меньше значения, которое дал Птолемей, а апогей солнечной орбиты переместился по сравнению с данными «Альмагеста». Имен этих астрономов, начавших свою работу во времена правления халифа аль-Маммуна (813—833), мы почти не знаем. Известно, однако, имя одного из первых переводчиков тру-

да Птолемея на арабский язык: им был Ибн Юсуф (786—833); это он назвал книгу «Китаб аль-маджисти» — «Величайшее сочинение», откуда и пошло привычное для нас название «Альмагест».

А вот несколько астрономов, трудившихся в Багдаде во второй половине IX в., стали позже известны и в Европе. Один из них, Ахмед аль-Фаргани, — Альфраганус, автор «Элементов астрологии». Сабит ибн Корра (836—901) к восьми сферам Птолемея прибавил девятую — «перводвигатель», он же осуществил исключительно точный и квалифицированный перевод «Альмагеста» с греческого языка на арабский (Ибн Юсуф сделал перевод с сирийского языка). В трактатах «О солнечном годе» и «О движении восьмой сферы» Сабит Ибн Корра изложил результаты своих определений параметров орбиты Солнца, привел новое значение прецессии — $49^{\circ}39''$ (т. е. $49,65''$) за год или 1° в 72,5 года. Из анализа наблюдений Гиппарха и Птолемея Ибн Корра впервые сделал вывод, что наблюдения последнего, относящиеся к видимому движению Солнца, были проведены с низкой точностью. Много усилий он приложил для того, чтобы разработать новую теорию трепидации, в которой прецессионное движение не является равномерным, а представляет собой периодическое колебательное движение с амплитудой 4° и периодом в 4000 лет.

Большую известность в Западной Европе получили труды Абу Абдаллаха Мухаммада ибн Джабир аль-Баттани (ок. 850—929). Этот ученый с высокой точностью определил длину тропического года, величину эксцентриситета солнечной орбиты, открыл перемещение солнечного апогея относительно звезд. «Астрономические таблицы», содержавшие и координаты 533 звезд, были изданы в 1537 г. в Нюрнберге и в 1645 г. в Болонье. Аль-Баттани утверждал, что наука звезд следует сразу же за религией, так как является наиболее благородной и совершенной из наук, украшающей ум и формирующей интеллект...

Шедевром средневековой наблюдательной астрономии называли «Книгу неподвижных звезд» выдающегося астронома Абд ар-Рахмана ас-Суфи (903—986). На материале собственных наблюдений ас-Суфи (это прозвище означает «мудрец») проверил и уточнил каталог звезд Птолемея, исправил погрешности, допущенные его арабскими предшественниками; указанные в каталоге ас-Суфи звездные величины звезд были результатом его оригинальных наблюдений. В упомянутом труде ас-Суфи подробно и систематически изложил сведения о древнеарабской астрономии, передал

названия созвездий и звезд, использовавшихся арабами доисламского периода, в том числе 28 «стоянок Луны» (маназил), по которым они определяли положение Луны на небе в любой день месяца. В частности, о звездах из созвездия Водолея ас-Суфи пишет: «Арабы называют 2-ю и 3-ю, которые находятся на правом плече, Счастьем Владыки или Государства. Они называют 4-ю и 5-ю, которые расположены на левом плече, вместе с 28-й, которая находится на хвосте Козерога, Счастьем Счастий; это двадцать четвертая стоянка Луны... когда они восходят, начинаются дожди, а

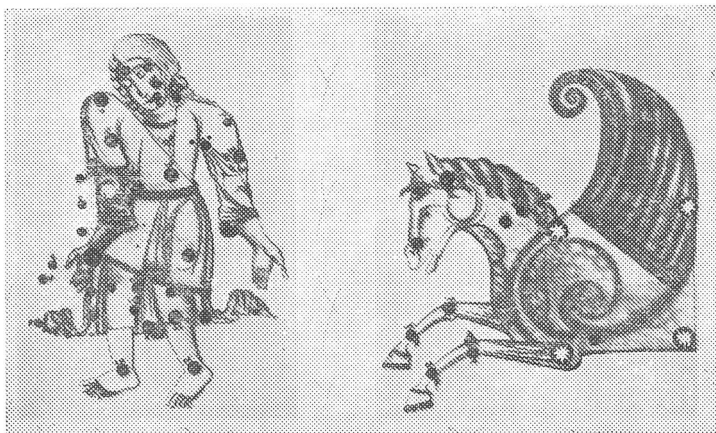


Рис. 34. Изображение созвездий Девы и Пегаса в одной из копий рукописи ас-Суфи

когда заходят, прекращаются нездоровые ветры, увеличивается плодородие и падает роса». Для облегчения при отождествлениях звезд книга ас-Суфи была искусно иллюстрирована (рис. 34).

Начала сферической тригонометрии. В XIII главе первой книги «Альмагеста» Птолемей приводит доказательство нескольких теорем плоской и сферической тригонометрии. Среди них — теорема для «полного четырехсторонника» $ABCD$, известная как теорема Менелая (рис. 35):

$$\frac{\text{хорда } (2 CE)}{\text{хорда } (2 AE)} = \frac{\text{хорда } (2 CG)}{\text{хорда } (2 DG)} \cdot \frac{\text{хорда } (2 DB)}{\text{хорда } (2 AB)},$$

причем все стороны «четырехсторонника» являются дугами больших кругов. Главным образом на основе этого соотно-

шения Птолемей и проводил все свои вычисления. Позже индийские математики заменили хорды синусами, и теорема Менелая приобрела вид

$$\frac{\sin CE}{\sin AE} = \frac{\sin CG}{\sin DG} \cdot \frac{\sin DB}{\sin AB}.$$

Уроженец Хорезма, долгое время живший в Багдаде Мухаммад ибн Муса ал-Хорезми (ок. 783 — после 847),

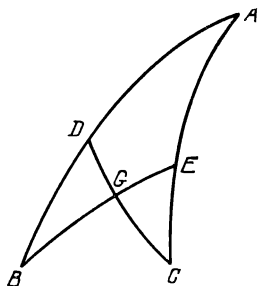


Рис. 35. Четырехсторонник, для которого была известна широко использовавшаяся Птолемеем теорема Менелая

автор сочинения (847 г.) «Китаб аль-джабр ва-л-мукабала» («Книга противоположения и восстановления», т. е. перенесения отрицательного члена из одной части уравнения в другую и приведения подобных; отсюда «алгебра») впервые в математике стран ислама использовал тригонометрическую функцию синус и составил таблицы синусов через 1° аргумента. Работавшему же вместе с ним в Багдаде ал-Хабашу ал-Хасибу уже были известны тангенс («первая», или «обращенная» тень — ведь функция «в явном виде» присутствует в задаче о длине тени гномона) и котангенс («вторая», или «плоская» тень), он же ввел и понятие косеканса («диаметра тени» — гипотенузы прямоугольного треугольника, катетами которого являются высота гномона и длина тени).

И вот, наконец, пришла пора заменить теорему о полном четырехстороннике формулой для сферического треугольника ABC со сторонами a, b, c , противолежащими соответственно углам A, B, C :

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}.$$

Эта теорема синусов была независимо доказана тремя учеными: спор о приоритете долго вели Ибн Ирак (ок. 961—ок. 1036), Абу-л-Вафа ал-Бузджани (940—998) и Абу Махмуд ал-Худжанди (ум. ок. 1000 г.). В то же время была уста-

новлена и теорема тангенсов,

$$\operatorname{tg} b = \sin a \cdot \sin B,$$

а в целом родилась сферическая тригонометрия как наука о решении сферических треугольников.

Основы плоской и сферической тригонометрии ал-Бузджани изложил в своем фундаментальном труде «Книга извлечения дуг». Он составил таблицы синусов и тангенсов через каждые $10'$. В «Усовершенствованном зидже» он, кстати, дает величину прецессии 1° за 70 лет и 4 месяца. Его ученик Ибн Юнис (950—1009), работая в Каирской обсерватории, составил «Гакемитские таблицы» — таблицы положений Солнца, Луны и планет, которые пользовались популярностью в течение двух веков.

Абу Райхан Бируни. Выдающийся мыслитель, подлинный энциклопедист, изумляющий всех широтой своих научных интересов, Абу Райхан Бируни (Беруни) родился в 973 г. в предместье г. Кят (сейчас г. Бируни), бывшего в то время столицей Хорезма, крупным культурным центром Средней Азии. Его учителем был другой выдающийся хорезмиец Ибн Ирак. В 16 лет Бируни уже производил самостоятельные астрономические наблюдения, а в возрасте 21 года с помощью сконструированного им самим инструмента Бируни определил наклон эклиптики к экватору: $\epsilon = 23^\circ 33' 45''$. Еще год спустя он, едва ли не первым в мире, строит земной глобус (точнее, полуглобус) диаметром 5 м. В 995 г. Хорезм был razорен завоевателями, и Бируни, покинув родину, некоторое время пребывал в г. Рей, недалеко от современного Тегерана. Около 1004 г. он вернулся в новую столицу Хорезма Гургандж, где вел активную научную деятельность вплоть до 1017 г., когда Хорезм перешел под власть Махмуда Газнави. В итоге Бируни попал в столицу нового государства — Газну.

Сопровождая Махмуда Газнави в его походе в Индию, Бируни в итоге пробыл в этой стране долгое время, изучил санскрит и перевел на него, в частности, «Начала» Евклида и «Альмагест» Птолемея, выполнил также несколько переводов с санскрита на арабский язык. Итогом же его пребывания там была фундаментальная книга «Индия», в которой Бируни рассказал об индийской истории, философии, науке, обычаях, религии и этническом составе населения. Увы, «Махмуд уничтожил процветание индийцев и совершил в их стране такие чудеса, из-за которых они словно превратились в развеянный прах и разнесшуюся молву»...

В 1030 г. Махмуд Газнави умер, власть в государстве перешла к его сыну Мас'уду, правившему по 1041 г. Как раз тогда, с 1031 по 1037 г., Бируни создает свой «Канон Мас'уда» — подлинную энциклопедию астрономии. Достаточно сказать, что спустя двести лет, в XIII в., знаменитый арабский географ Якут писал, что «Канон Мас'уда» стер следы всех книг по астрономии и математике, а автор его превзошел Птолемея *).

Труды Бируни — 150 различных названий, из них более 30 по астрономии — сейчас в основном уже доступны каждому: 1-й том — «Памятники минувших поколений» — издан в Ташкенте еще в 1957 г., 5-й том в двух частях — «Канон Мас'уда» — там же в 1973 г. (ч. 1) и 1976 г. (ч. 2). Состоит «Канон» из одиннадцати книг. В книгах I и II Бируни подробно излагает календарные системы, использовавшиеся различными народами, приводит хронологические таблицы. В книге III даны важнейшие тригонометрические теоремы и их доказательства, описываются методы построения правильных многоугольников и др. В книге IV изложены основы сферической астрономии. Здесь Бируни приводит значение определенного им наклона экватора к эклиптике $\epsilon = 23^{\circ}34'0''$ (истинное значение в то время было $23^{\circ}34'45''$). В книге V изложены различные вопросы геодезии и математической географии. В частности, здесь приводятся результаты Бируни по определению радиуса Земли (см. ниже). Далее, в книге VI обсуждается движение Солнца, в частности «О том, что апогей Солнца подвижен», и делается вывод, что он передвигается на один градус примерно за 60 лет. В книге VII изложена теория движения Луны, в книге VIII — теория затмений и отдельно (это было крайне важно для исповедующих ислам!) «О наблюдении молодого месяца». В книге IX даны сведения о неподвижных звездах, приведен каталог 1029 звезд с их координатами и звездными величинами по Птолемею и ас-Суфи. Прецессию Бируни определил в $54''10'''$ за год или 1° в 69 лет. В книге X изложена теория планетных движений, в книге XI — «искусство приговоров звезд», т. е. элементы астрологии.

В целом «Канон Мас'уда» построен по образцу «Альмагеста» и в духе геоцентризма. Бируни, конечно, знал о взглядах «пифагорейцев» и, признавая в принципе возможность вращения Земли вокруг оси, даже рассчитал скорость движения точки экватора и получил «3778 локтей за

*) *Сираджинов С. Х., Матвиевская Г. П.* Абу Райхан Беруни и его математические труды. — М.: Просвещение, 1978. — С. 31.

4 секунды часа», что при длине локтя в 49,43 см дает 466 м/с. По-видимому, это значение показалось Бируни очень большим, да и общие физические представления того времени, вероятно, казались ему вполне совместимыми с представлением о неподвижности Земли. Во всяком случае, в «Каноне Мас'уда» он рассуждает в духе геоцентризма. Но сам же Бируни упоминает, что «видел одного из выдающихся ученых в области астрономии, который был склонен защищать эту точку зрения». Возможно, это был Абу Са'ид ас-Сиджизи, у которого Бируни видел «челночную астролябию», основанную на моделировании вращения Земли.

Как сообщает Бируни, в его время в вопросе о размерах Земли были «большие расхождения во мнениях». Поэтому «группа ведущих данного искусства» определила, что «на один градус... приходится $56\frac{2}{3}$ мили». При длине мили в 1,973 км это дает 111,804 км на 1° дуги земного меридиана. Бируни пишет: «Моим огромным желанием было самому выполнить все это ... я нашел в земле индийцев гору, возвышающуюся над пустыней ... я измерил с вершины этой горы [угол к линии], где на взгляд небо встречается с Землей ... и я нашел, что [горизонт] понижается ... немного меньше, чем на треть с четвертью градуса, и принял эту величину за $34'$. Я определил высоту горы, наблюдая высоту ее вершины с двух мест ... и нашел, что она равна 652 с половиной одной десятой локтя». Далее решение сводится к соотношению

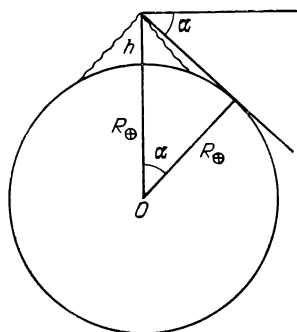


Рис. 36. К определению радиуса Земли методом измерения угла понижения горизонта

$$R_{\oplus} = \frac{h \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}, \quad (1.5)$$

где h — высота горы, α — угол понижения горизонта (рис. 36). Так, Бируни нашел для 1° дуги $56,1$ мили = $110,685$ км, радиус же Земли $R_{\oplus} = 6345$ км.

Радиусы планет и радиусы планетных сфер, определенные Бируни в «Каноне Мас'уда», приведены в табл. 1.

Насколько известно, Бируни первым построил неподвижный (настенный) квадрант радиусом 7,5 м, на котором проводил точные (до $2'$) наблюдения Солнца и планет. В те-

чение 400 лет этот инструмент оставался крупнейшим в мире. Умер Бируни 11 декабря 1048 г.

Здесь уместно отметить, что мусульманские астрономы придавали особенное значение вопросу о точности наблюдений. Иногда наблюдения записывались в протокол, засвидетельствованный общей присягой нескольких астрономов

Т а б л и ц а 1

Радиусы планет и планетных сфер по Бируни
(в единицах радиуса Земли $R_{\oplus}=1$)

Светило	Радиус светила	Радиус сферы	Светило	Радиус светила	Радиус сферы
Луна	0,273	64	Марс	0,113	8 843
Меркурий	0,15	170	Юпитер	0,188	14 109
Венера	0,225	1134	Сатурн	0,125	19 696
Солнце	2,25	1233			

и юристов. Вероятно, это делалось в случаях, когда результаты наблюдений предполагалось использовать для календарных расчетов или для астрологических предсказаний.

От Кордовы до Самарканда. В X—XII вв. значительных успехов достигли астрономы, работавшие в магометанской части Испании. Известно, что около 970 г. в г. Кордове была организована академия с большой библиотекой. В частности, астроном аз-Заркали, известный под именем Арзахеля (1029—1087), усовершенствовал астролябию и опубликовал «Толедские таблицы» положений планет.

В то время арабские астрономы уже пришли к выводу, что теория Птолемея плохо согласуется с наблюдениями. Известный философ Мухаммед ибн Рушд, или Аверроэс (1126—1198), и его сторонники пришли к выводу, что движение вокруг любого центра возможно лишь в том случае, если в центре находится какое-либо неподвижное тело, а не воображаемая движущаяся точка. Еврейский ученый Мозес бен Маймон, или Маймонид (1135—1204), как и марокканский астроном аль-Битруджи (ум. ок. 1204 г.) отвергали теорию эпициклов. Аль-Битруджи в «Принципах астрономии» пытался возвратиться к идеям Евдокса, полагая, что все небесные тела обращаются вокруг Земли, но движутся они с востока на запад с различными скоростями. Быстрее всего — за сутки — вращается сфера звезд. Что же касает-

ся других, то их движение тем медленнее, чем ближе к Земле расположена планета.

В середине XIII в. Испания была освобождена от арабов, а библиотека Кордовы сожжена. Кстати, это было едва ли не правилом — сжигать все мусульманские библиотеки! Так, известно, что в одной Гренаде тогда было сожжено 24 000 книг...

В 1258 г. сын Чингис-хана Хулагу буквально стер с лица земли Багдад (опять же были преданы огню ценнейшие рукописи), но создал крупный научный центр и астрономическую обсерваторию в г. Марага (теперь — Иранский Азербайджан). Строительство обсерватории и наблюдения на ней проводились под руководством Насирэддина ат-Туси (1201—1274). Примечателен разговор между ат-Туси и Хулагу, решивший вопрос об ассигновании крупной суммы в 20 000 динаров на это строительство. Хулагу спросил: «Разве наука о звездах так полезна, что стоит тратить огромную сумму на обсерватории?» В ответ ат-Туси сказал: «Позвольте поступить так: пусть в полной тайне кто-нибудь поднимется на эту гору и спустит оттуда большой пустой таз, но чтобы об этом никто не знал». Таз произвел большой шум, среди войска поднялась паника, Хулагу-хан и ат-Туси оставались спокойными. После этого ат-Туси сказал хану: «Мы знаем причину шума, а войска не знают; мы спокойны, а они волнуются. Так же, если будем знать причины небесных явлений, мы будем спокойны на земле»...

Среди многочисленных инструментов обсерватории, которая располагалась на высоте более 1600 м над уровнем моря, главным был квадрант радиусом $3\frac{1}{4}$ м. Число сотрудников обсерватории, среди которых были выдающиеся астрономы, достигало 100. Итогом 12-летних наблюдений марагинских астрономов был «Зидж Ильхани» — «Ильханские таблицы», использовавшиеся в дальнейшем на протяжении многих лет для составления ежегодных календарей. Здесь же было дано наиболее точное значение прецессии — $51,4''$ в год.

Из всего сказанного ранее о системе мира Птолемея видно, что ее создатель отошел от основного принципа, «завещанного» Платоном, — принципа равномерных круговых движений: движение «средней планеты» по деференту для находящегося в центре мира наблюдателя не является равномерным. И как только трудности с согласованием сделанных на протяжении более чем тысячелетий наблюдений планет в рамках теории Птолемея стали очевидными, астрономы стран ислама — и в том числе ученые марагинской

обсерватории — сделали попытки перейти к новым моделям мира. Они, как уже было сказано, отвергали эпициклы, стремились возродить систему гомоцентрических сфер Евдокса ... Насирэдину же удалось построить модель такого движения, в котором условие его равномерности выполнялось при удовлетворительном согласии с данными наблюдений. Достигнуто это было опять-таки определенной комбинацией круговых движений. Сама же модель изложена ее автором в «Памятке по астрономии».

Составным элементом теории является следующая «лемма ат-Туси». Пусть круг диаметра $OC=d$ катится с угловой скоростью ω по окружности большого круга диаметра $AB=2d$, касаясь его внутренним образом и обращаясь в то же время вокруг собственного центра с угловой скоростью 2ω в направлении, противоположном направлению качения. Тогда произвольная точка окружности малого круга,

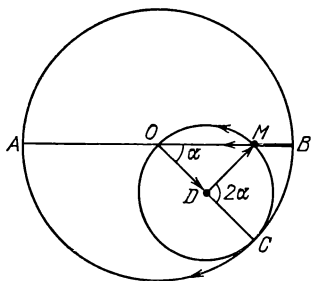


Рис. 37. «Пара Туси»: из вращательного движения двух окружностей можно получить поступательное движение точки M вдоль диаметра; это эквивалентно вращению двух векторов равной длины с угловыми скоростями $\vec{\omega}$ и $-\vec{2\omega}$ длина результирующего вектора изменяется по закону $\vec{OM} = \vec{OB} \cos \omega t$

перемещаясь от своего начального положения — точки касания, будет совершать прямолинейное движение вдоль диаметра большого круга (рис. 37).

Как видно, из сложения двух круговых движений ат-Туси получает прямолинейное движение. В терминологии векторного исчисления и теории механизмов оно описывается парой векторов равной длины, вращающихся с постоянной скоростью, причем скорость второго вектора вдвое больше скорости первого и направлена в противоположную сторону. Конец же второго вектора совершает простое гармоническое колебание, так что длина результирующего вектора периодически изменяется от нуля до $2d$. Позже «пару Туси» использовал Коперник для описания движения Меркурия. Это, кстати, частный случай гипоциклоид: при соотношении между радиусами большого и малого кругов $R=nr$ имеем гипоциклоиды с заострениями, если n — целое

число, самопересекающиеся эпициклоиды, если n дробное, и незамыкающиеся эпициклоиды, если n иррациональное.

Читателю, интересующемуся этим вопросом, можно посоветовать ряд книг и статей, где проводится соответствующий анализ *). Действительно, «пара Туси» обеспечивает изменение длины результирующего вектора, т. е. построение эксцентра. Однако для объяснения неравномерного движения планет ат-Туси все же сохранил эквант в смысле «выравнивающей точки». Следующий шаг вперед (если это было движение вперед...) сделал Ибн аш-Шатир (1304—1376), представивший движение Луны с помощью деферента и двух эпициклов. Позже такая модель была подробно разработана Николаем Коперником (см. далее рис. 41); знал ли он о работе аш-Шатира, неизвестно.

Но своей моделью ат-Туси сделал все же очень многое: он впервые как бы перечеркнул противопоставление двух видов движения — «совершенного» кругового и «местного» прямолинейного...

И, наконец, выдающимся научным астрономическим центром во времена 40-летнего правления внука Тимура Улугбека (1394—1449) был Самарканд. Здесь в 1424 г. была построена крупнейшая в мире астрономическая обсерватория. Ее трехэтажное здание высотой 30 м размещалось на холме высотой 21 м. Основным инструментом здесь был мраморный секстант радиусом 40 м, который на 10 м углублялся в подземелье (рис. 38). Поскольку одному градусу здесь соответствовала дуга длиной 70,2 см, этот прибор давал возможность производить наблюдения Солнца с точностью до 1". Итогом работы Улугбека и его сотрудников были «Новые астрономические таблицы», в которых помещены введение (теория) и собственно таблицы. Введение состояло из четырех частей: изложения методов летосчисления, практической астрономии, изложения теории планет и, наконец, астрологии.

Анализ данных Улугбека о продолжительности звездного года и годичного движения планет показывает, что его численные результаты очень близки к современным. Среди таблиц был помещен также каталог, охватывающий 1018 звезд. Анализируя все эти наблюдения, французский уче-

*) *Рамазанова С. А.* Восточные средневековые теории движения Луны и планет // Математика и астрономия в трудах ученых Средневекового Востока.— Ташкент: Фан, 1977.— С. 97—107; *Григорьян А. Т., Розжанская М. М.* Механика и астрономия на средневековом Востоке.— М.: Наука, 1980; *Мамедбейли Г. Д.* Основатель Марагинской обсерватории Насирэддин Туси.— Баку: Изд-во АН АзербСССР, 1961.

ный Пьер Симон Лаплас (1749—1827) назвал Улугбека «самым выдающимся наблюдателем»...

Особый интерес вызывают взгляды ученых Самаркандской обсерватории по вопросу о месте Земли в мире. Так,

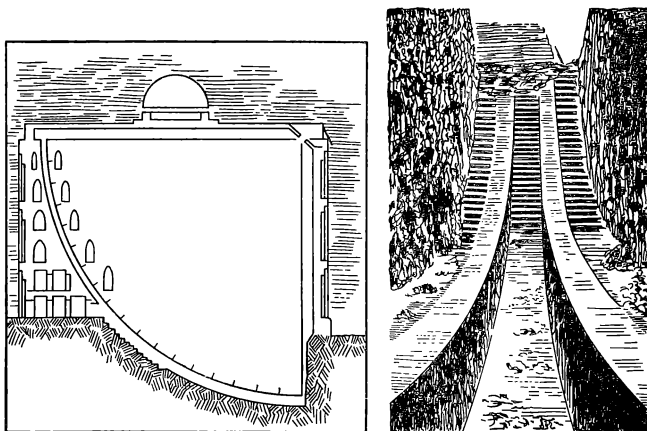


Рис. 38. Самаркандская обсерватория

Казы-Заде ар-Руми в своем произведении «Шарх Джагми-ни» (1412 г.) писал: «...некоторые ученые считают, что Солнце находится в середине орбит планет. Та планета, которая движется медленнее, чем другая, дальше удалена от Солнца. Ее расстояние будет больше. Наиболее медленно движущаяся планета находится на наибольшем расстоянии от Солнца». И в другом месте: «Земля неподвижна. Центр ее совпадает с центром вселенной. Такая гипотеза наиболее вероятна. Но есть другая гипотеза ... Раз каждое тяжелое тело (где бы оно ни находилось) движется по направлению к центру Земли, то можно считать, что центр Земли является только центром тяжелых тел, окружающих Землю. Отсюда можно допускать, что и сам центр Земли движется и вместе с ним движется вся Земля. Такая гипотеза тоже замечательна».

А вот что писал другой сотрудник этой же обсерватории Абд ал-Али ал-Кушчи (ум. в 1474 г.) в «Комментарии к тезисам теологии»: «Земля движется с запада на восток. Какие доказательства этой теории? Известно, что планеты движутся на восток медленно. Но движение их на запад быстрее. Невозможно предположить, что одно и то же светило одновременно движется по противоположным направлениям. Такое медленное движение можно относить и к са-

мой Земле. Если не будем так говорить, то получается противоречие.

Поэтому считают, что суточное движение светил на запад возникает с действительным движением самой Земли с запада на восток. Поэтому нам кажется, что светила восходят на востоке и заходят на западе. Такое ощущение бывает у наблюдателя, сидящего на корабле, движущемся по реке. Наблюдателю известно, что берег воды неподвижен. Но ему кажется, что берег движется по направлению, противоположному направлению корабля» *).

Стоит ли после этого удивляться тому, что сам Улугбек был обвинен в ереси, что старший его сын, находившийся под влиянием реакционного духовенства, объявил ему войну и что Улугбек погиб от предательской руки как «отступник от ислама»... Составленные под его руководством «Новые Гураганские таблицы» принесли ему немеркнущую славу. Каталог же звезд, входивший в этот труд, был издан в Оксфорде в 1648 г. частично (включены положения всего 98 звезд), а в 1665 г. напечатан полностью. Позже он неоднократно переиздавался с многочисленными комментариями...

КАНУН РЕВОЛЮЦИИ

В сетях схоластики. С началом второго тысячелетия характер хозяйственной жизни Западной Европы существенно изменился. Здесь выросли большие города, в которых развились ремесла и торговля, появились ремесленники и буржуазия. В городах уже чувствовалась необходимость в образованных людях, это привело к возникновению светских школ. В различных городах Европы основываются университеты: в Болонье (1119 г.), Равенне (1130 г.), Париже (1200 г.), Кембридже (1209 г.), Оксфорде (1214 г.) и т. д.

На подготовительном философском факультете университетов обучение состояло из двух ступеней. На первом («тривиуме») изучались грамматика, риторика и диалектика, на втором («квадривиуме») — музыка, геометрия, астрономия и арифметика. Правда, при изучении астрономии здесь ограничивались изложением библейской картины мира и проблемой вычисления даты пасхи.

*) Джалалов Г. Д. Некоторые замечательные высказывания астрономов самаркандской обсерватории // ИАИ.— 1958.— Вып. IV.— С. 382—383.

Значительную роль в пробуждении от тысячелетней спячки сыграла Италия. В Венеции и Генуе раньше, чем в других городах, был создан крупный торговый флот. Итальянские моряки много путешествовали, а это требовало наблюдений за звездным небом. Возникла необходимость в угломерных инструментах, компасах и морских картах. Изучение изменений вида звездного неба при передвижении вдоль меридиана вновь заострило вопрос о форме Земли. В свою очередь, это обусловило интерес к науке, в частности, к достижениям древнегреческих и арабских астрономов.

В XII в. в Европе появляются переводы на латинский язык работ древнегреческих философов, в частности Аристотеля. Самым известным из переводчиков был Герхард из Кремоны (1114—1187), который специально ездил в Толедо на поиски трудов Птолемея и в 1175 г. осуществил перевод «Альмагеста» с арабского на латинский язык.

Правда, физические и астрономические взгляды Аристотеля вначале были осуждены на Парижском (1209 г.) и Латеранском (1215 г.) церковных соборах за то, что они «породили ересь». Но вскоре Фома Аквинский (1225—1274) сумел приспособить космологические взгляды Аристотеля к учению церкви. И эта система мышления, получившая название схоластики (от лат. «schola» — школа), преподавалась впоследствии на протяжении нескольких веков. Все силы учеников направлялись не на исследование природы, а на зазубривание «авторитетных ученых», прежде всего Аристотеля, на комментирование их и проведение диспутов, а сакраментальным началом каждого из выступлений могло быть «Учитель сказал» ... И пройдет несколько столетий, прежде чем французский философ Пьер де ла Раме — Рамус (1515—1572) выдвинет тезис: «Что бы ни сказал Аристотель, ложно»... *).

Но послушаем, что говорит о тех годах современный философ А. Койре (1892—1964): «Еще сравнительно немного времени назад средневековые в целом изображались в самом мрачном свете: унылая эпоха, когда поработенный авторитетом — двойным авторитетом религиозной догмы и Аристотеля — человеческий разум изнурял себя в бесплодных спорах о воображаемых проблемах. Еще сегодня термин «схоластика» имеет для нас чисто уничижительное значение.

Несомненно, не все ложно в этой картине, но еще несомненное, что не все в ней верно ... Сегодня мы уже знаем, что

*) Матвиевская Г. П. Рамус. — М.: Наука, 1981. — С. 36.

схоластическая философия являла собой нечто весьма значительное. Именно схоласты осуществили философское образование Европы и создали нашу терминологию, которой мы до сих пор пользуемся; это их труды позволили Западу воспринять или, точнее, установить контакт с философским наследием античности. Поэтому ... существует истинная — и глубокая — преемственность между средневековой философией и философией Нового времени» *).

Строение мира схоласты рассматривали по Аристотелю. В центре расположена неподвижная, в форме шара Земля, в ее середине «размещен ад». Извне этот шар (полностью по Аристотелю) окружен водой, дальше воздухом и еще выше — огнем. Вокруг Земли вращаются движимые ангелами прозрачные хрустальные сферы — небеса. Там размещены последовательно небо Луны, небо Меркурия, небо Венеры, небо Солнца, небо Марса, небо Юпитера и небо Сатурна. Далее идет небо неподвижных звезд (небесная твердь), девятое небо — «перводвигатель» и десятое небо — эмпирей, «жилище блаженных душ», где находятся бог, ангелы, праведники. Подробно эти представления о строении мира описаны, в частности, в «Божественной комедии» Данте (1265—1321).

«Знать и предвидеть». В XIII в. расхождения между таблицами положений планет, составленными арабскими астрономами на основании теории Птолемея, и новыми наблюдениями стали очень большими. Поэтому как только король Леона и Кастилии Альфонс X (1226—1284) отвоевал у арабов Толедо, он собрал там многих еврейских и христианских ученых, которые выполняли переводы на латынь арабских сочинений по астрономии, истории и праву. В частности, на основании арабских источников Альфонс X опубликовал трактат «Книга мудреца», ставший энциклопедией астрономии того времени. При нем в 1252 г. были составлены новые «Альфонсинские таблицы», которыми на протяжении двухсот лет пользовались во всех европейских государствах.

Заслуживает упоминания здесь и английский астроном и математик Джон Холивуд (ок. 1200—1256), известный под именем Сакробоско. Он преподавал в Париже начиная с 1230 г. и был первым в средневековой Европе, кто начал изучать труды арабских астрономов. На основании произведений аль-Фаргани и аль-Баттани он создал «Трактат о

*) *Койре А.* Очерки истории философской мысли. — М.: Прогресс, 1985. — С. 51.

сфере Вселенной», почти триста лет служивший учебником астрономии и содержащий главные идеи «Альмагеста» с учетом всех достижений арабских астрономов.

Со временем обнаружилось, что и таблицы Альфонса не удовлетворяют наблюдателей: лунные затмения запаздывали даже на час, разница между табличными значениями координат планет и наблюдениями достигала многих градусов. Необходимо было вновь сделать расчеты, уточнить всю «систему мира». Эту работу начал австрийский астроном Георг Пурбах (1423—1461), а завершил его ученик Вольфганг Мюллер, известный под именем Региомонтана (1436—1476).

В своей книге «Новая теория планет» Пурбах первым в Западной Европе изложил птолемееву теорию совместно с аристотелевой системой мира... По Пурбаху зоны эпициклов «изолированы» друг от друга твердыми сферическими оболочками. Эту книгу Региомонтан, основавший в Нюрнберге собственную типографию, и издал в 1472 г. В следующем году он напечатал «Эфемериды» — таблицы положений Солнца, Луны и планет на 32 года (до 1506 г.), это были последние в истории науки таблицы, составленные на основе теории Птолемея. Региомонтан разработал метод «лунных расстояний» — способ определения географической долготы и широты в море по наблюдениям Луны при наличии наперед рассчитанных таблиц. Лишь имея эти таблицы, мореплаватели отважились, наконец, плавать через океаны, не боясь потерять из поля зрения берег. Именно упомянутые таблицы помогли Колумбу открыть новую часть света — Америку (1492 г.), а Васко да Гама — отыскать морской путь в Индию, проплыв вокруг Африки (1498 г.). Благодаря Пурбаху и Региомонтану в Европе начали использовать тригонометрические функции синус и тангенс. Заслуживает внимания, что именно оба эти астронома осуществили перевод на латинский язык «Альмагеста», причем Региомонтан написал комментарий к нему.

С каждым новым веком становилось все более очевидно, что знание астрономии необходимо как на суше, так и на море: и для определения координат, и для проведения календарных расчетов. Так, Региомонтан в 1475 г., незадолго до своей смерти, был приглашен папой Сикстом IV в Рим для разработки проекта нового календаря. Стало очевидно также, что систему Птолемея трудно согласовать с длинными рядами наблюдений планет. Это давало повод для размышлений над законами мироздания. С другой же стороны, возникала необходимость в том, чтобы сами наблюдения

были продолжительными во времени и как можно более точными. Так возникала необходимость построения новых и совершенствования старых измерительных приборов.

Некоторые измерительные инструменты, использовавшиеся астрономами в эпоху позднего средневековья, были известны еще во времена Птолемея. В частности, с помощью уже упоминавшейся тройной рейки (трикветрума) Региомонтан производил наблюдения Солнца с точностью до $1'$. Астроном Бернард Вальтер (1430—1504), ориентируясь на птолемеевское описание инструмента, изготовил армиллу, при помощи которой определял положения планет с точностью до $5'$, а высот Солнца — до $1'$, что существенно превышало точность наблюдений Птолемея. Пурбах для своих астрономических наблюдений построил «геометрический квадрат»: квадратную раму, в верхнем углу которой была укреплена за один конец подвижная линейка с диоптрами. Стороны квадрата были разделены на 120 частей, что давало возможность достаточно точно определять тангенс наблюдаемого угла.

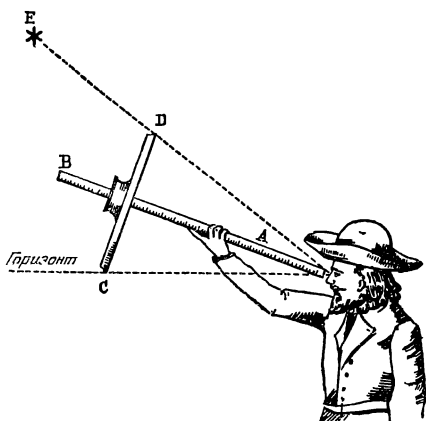


Рис. 39. Жезл Якова

В 1325 г. Леви бен Герсон изобрел так называемый *жезл* (или *посох*) *Якова* — прибор, состоящий из двух взаимно перпендикулярных линеек, причем короткая из них перемещалась вдоль более длинной, имеющей длину 2—3 м (рис. 39). Наблюдатель перемещал короткую линейку так, чтобы глаз, расположенный у конца длинной, мог видеть через концы короткой оба предмета, угловое расстояние между которыми следовало определить. Если на длинной линейке не было шкалы, то величину измеренного угла устанавливали, прикладывая прибор к бумаге, на которой заранее был нарисован круг с угловыми делениями. Этот прибор использовался в мореплавании на протяжении нескольких веков.

Уже в XII в. арабские ученые первыми в **мире** начали изготавливать земные глобусы. С начала XVI в. это занятие стало обычным ремеслом.

Предвестники новой науки. Тот факт, что образование в начале второго тысячелетия нашей эры все еще оставалось монополией церкви, уже больше не мог остановить развитие науки. Более того, среди выдающихся прогрессивных мыслителей были и служители церкви, взгляды которых не только выходили за рамки схоластического мировоззрения, но и намного опережали уровень науки того времени. Вот четыре исключительно интересные личности, астрономические взгляды которых заслуживают пристального внимания. Это выдающийся французский ученый, ректор Парижского университета Жан Буридан (ок. 1300—ок. 1358), его ученик Николай Орем (Орезмский, ок. 1323—1382), Николай Кузанский (1401—1464) и прославленный итальянский ученый Леонардо да Винчи (1452—1519).

В своей работе «Вопросы к четырем книгам о небе и о Вселенной Аристотеля» Буридан рассматривает, в частности, проблему: «всегда ли Земля находится в покое в центре Вселенной». «Этот вопрос,— говорит он,— крайне труден. Прежде всего, имеется серьезное сомнение в том, что Земля находится прямо в центре Вселенной и что ее центр совпадает с центром Вселенной. Далее, имеется сильное сомнение в том, не перемещается ли Земля как целое иногда поступательно, поскольку мы не сомневаемся, что зачастую многие ее части перемещаются, о чем мы узнаем с помощью наших чувств. Далее, имеется веское сомнение насчет правильности нижеследующего заключения Аристотеля, а именно что небеса по необходимости вечно совершают круговое движение, а тогда по необходимости Земля должна покоиться в центре. Существует также четвертое сомнение в возможности спасения всех видимых нами явлений, если допустить, что Земля совершает круговое движение вокруг собственного центра и около своих собственных полюсов. Рассмотрим это последнее сомнение.

Многие люди, как известно, считали вероятным, что движение Земли по кругу определенным образом не противоречит общепринятому и что каждый обычный день она совершает полный оборот с запада на восток, возвращаясь снова на запад, если принять какую-либо часть Земли (за точку для наблюдения). Тогда необходимо допустить, что звездная сфера была бы в покое, и тогда ночь и день сменяли бы друг друга благодаря такому вращению Земли, так что это движение Земли было бы суточным движением. Нижеследующее есть пример такого рода состояния. Если кто-либо движется в корабле и воображает, что он покоится, то при виде другого, действительно покоящегося кораб-

ля, ему покажется, что этот другой корабль движется. Так будет потому, что его глаз окажется точно в таком же отношении к другому кораблю, независимо от того, находится ли его собственный корабль в покое, а другой движется или же преобладает противоположная ситуация...»

Буридан, среди прочего, отвергает утверждение о том, что если бы Земля двигалась, то она должна была бы нагреваться от трения, поскольку, говорил он, трение может существовать лишь между твердыми поверхностями.

В 1377 г. Николай Орем опубликовал на французском языке «Книгу о небе и Вселенной», в которой высказал, что как гипотезу он считает возможным поддержать мысль о суточном вращении Земли. Он пишет далее: «И я заявляю, что, во-первых, невозможно доказать обратное с помощью любого опыта, во-вторых, с помощью рассуждений и, в-третьих, я приведу соображения в пользу этого мнения».

Подобно тому, как это сделал Буридан, Орем утверждает, что «местное движение вообще нельзя наблюдать иначе, как если может быть замечено изменение положения одного тела по отношению к другому». Подробно проанализировав все возражения, Орем делает заключение: при помощи любых наблюдений нельзя доказать, что суточное движение осуществляет небо, а не Земля. В конце же, чтобы избежать обвинений в «ереси», Орем добавляет: «Тем не менее каждый уверен, да и я так же думаю, что движутся небеса, а не Земля...»

Кардинал Николай Кузанский в своем труде «Об ученом незнании» утверждал, что Земля не может находиться в центре Вселенной, так как Вселенная имеет свой центр всюду, а свою окружность нигде. Вселенная не может иметь окружность, т. е. быть ограниченной в пространстве, так как за этой окружностью должно быть еще что-нибудь, следовательно, Вселенная не имеет ни центра, ни окружности. Наперекор Аристотелю, Николай Кузанский утверждал далее, что в отношении вещества, из которого состоят Земля и небесные тела, между ними нет никакого различия, что Земля — такое же небесное тело, как Солнце, Луна и другие светила, что «ни один из звездных участков не лишен жителей», что «Земля в самом деле движется, хотя мы этого не замечаем, поскольку ощущаем движение лишь при сравнении с чем-либо неподвижным, что «каждому, пусть находится он на Земле, на Солнце или на любой другой планете, всегда будет казаться, что он находится в неподвижном центре, в то время как все остальные предметы вокруг него

движутся». Труды Кузанского были напечатаны в 1488 г., почти полностью снова в 1514 г. и переизданы в 1565 г.

Лишь недавно, после ознакомления с рукописями Леонардо да Винчи, выяснилось, что он, подобно Николаю Кузанскому, считал Землю таким же небесным телом, как Луна и другие светила. Леонардо отстаивал взгляд, что как на Земле, так и на других небесных телах происходят переходы вещества из одной формы в другую. Земля не находится в центре мира и возможно ее вращение вокруг оси, каждое светило имеет собственный центр притяжения. Именно поэтому Луна «одета своими элементами ... и, таким образом, держится в себе и сама собой в пространстве точно так, как наша Земля со своими элементами и в другом пространстве».

Леонардо высказал мнение, что Солнце — очень горячее небесное тело. Он впервые пришел к выводу, что явление пепельного света Луны — слабое свечение в середине лунного серпа — связано с отражением лучей, которые попадают на лунную поверхность от Солнца после их рассеивания в земной атмосфере.

Так после тысячелетнего перерыва на европейском континенте начались астрономические наблюдения и поиски законов мироздания. В целом же, как отметил английский математик и астроном Эдмунд Уайтекер (1873—1956), «в 1500 г. Европа знала меньше, чем Архимед, который умер в 212 г. до н. э.»...

Надо любить истину так, чтобы всякую минуту быть готовым, узнав высшую истину, отречься от всего того, что прежде считал истиной.

Лев Толстой

Г л а в а 2

ЭПОХА ГИГАНТОВ

Солнце взошло. Окутывавший Землю мрак медленно сползал прочь, расцветали культура и искусство, торговля и ремесла. В жизни человечества, вступавшего в XVI в. н. э., и в его миропонимании наступал переворот. «Это был величайший прогрессивный переворот из всех пережитых до того времени человечеством, эпоха, которая нуждалась в титанах и которая породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учености» *).

«ОН СДВИНУЛ ЗЕМЛЮ»

Первый среди гигантов. «Solis stator, Terrae motor» — «Он остановил Солнце и сдвинул Землю». Так написано на пьедестале памятника Николаю Копернику, открытого в Варшаве в 1830 г. В этих словах засвидетельствован научный подвиг, свершенный выдающимся ученым...

Коперник родился 19 февраля 1473 г. в г. Торуне в семье богатого купца. С десяти лет, после смерти отца, он воспитывался у своего дяди — будущего епископа Луки Ватцельроде, высокообразованного и талантливого человека. Вначале Коперник учился в Краковском университете, затем (с осени 1496 г.) около восьми лет пробыл в Италии. Там он получил степень доктора канонического права и там же начал научные астрономические исследования.

Астрономией Николай Коперник заинтересовался еще во время пребывания в Краковском университете, где ее преподавал известный профессор Войцех Брудzewский (1445—1497), призывавший своих учеников идти дальше простого усвоения достижений древней науки. И уже во время поездки в Италию Коперник захватил с собой «Таб-

*) *Энгельс Ф.* Дialeктика природы.— М.: Политиздат, 1975.— С. 7.

лицы» Региомонтана, «Альфонсинские таблицы», «Элементы» Евклида и «Трактат по астрологии».

В Италии Коперник очень быстро стал не только учеником, но и помощником преподавателя Болонского университета астронома Доменико Новары (1452—1504). Так, например, 9 марта 1497 г. они вместе проводили наблюдения покрытия Луной (которая была в фазе первой четверти) звезды Альдебаран (α Тельца). В результате этих наблюдений Новара и Коперник пришли к убеждению, что расстояние до Луны практически одинаково независимо от ее фазы. Между тем из теории Птолемея следовало, что во время квадратур Луна находится почти вдвое ближе к Земле, нежели во время новой или полной Луны, а, следовательно, ее видимый диаметр (и продолжительность затмения звезды) должен бы быть во столько же раз большим. Не тогда ли уже у Коперника возникло желание серьезно пересмотреть всю теорию Птолемея? И не потому ли он настойчиво проводил астрономические наблюдения в течение всего времени пребывания в Италии, несмотря на то, что имел прямое задание: изучать право и медицину...

В 1503 г. Николай Коперник в звании доктора канонического (церковного) права возвратился на родину и приступил к своим обязанностям каноника Вармийской епархии. Эта территория, расположенная на тогдашней границе Польши и Тевтонского ордена, была полусамостоятельным церковным княжеством. Здесь Коперник проявил, в частности, высокую активность гражданина, отстаивая интересы своей родины от посягательств рыцарей-крестоносцев. В 1520 г. он успешно руководил обороной крепости Ольштын. Коперник заботился об укреплении экономического состояния епархии, а как искусный специалист оказывал медицинскую помощь населению окружающих селений. Он также написал несколько трактатов о монете, в том числе в 1528 г. «Рассуждение о чеканке монеты», — первую научную работу о деньгах, в которой сформулировал важный экономический закон, гласящий, что монеты худшего качества вытесняют из обращения монеты с более высоким содержанием благородных металлов *). Коперник тогда же выступил с предложением ввести единую денежную систему во всем государстве.

Большую часть своей жизни Коперник провел в небольшом мастечке Фромборк, в «самом отдаленном уголке Зем-

*) Рыбка Е., Рыбка П. Коперник: Человек и мысль.— М.: Мир, 1973.— С. 148.

ли», как он его называл сам. Здесь, в одной из башен оборонительной стены, окружавшей кафедральный собор, он оборудовал рабочий кабинет, а рядом, наверху другой башни,— площадку, место для астрономических наблюдений.

Мало сказать, что во время пребывания в Фромборке Коперник углублялся в размышления над законами мироздания. Ведь одних лишь размышлений было бы недостаточно, чтобы «остановить Солнце и сдвинуть Землю». Ученому пришлось детально усвоить все тонкости системы Птолемея, осуществить множество громоздких расчетов, связанных, главным образом, с решением треугольников. Он не просто высказал новые взгляды на строение мира, а и математически обосновал их. Коперник доказал, что всю совокупность наблюдений планет легче объяснить, став на точку зрения, что Земля является рядовой планетой, которая вместе с другими планетами обращается вокруг Солнца.

Свою теорию Коперник изложил в двух трудах. Первый из них, «Малый комментарий»,— небольшое (объемом 12 страниц) сочинение, которое напечатано не было, а распространялось в рукописных копиях. О нем упоминал Тихо Браге, сама рукопись была найдена лишь в конце XIX в. в книгохранилищах Вены (1877 г.) и Стокгольма (1881 г.). Основным же труд Коперника — «О вращении небесных сфер» — вышел из печати в 1543 г. Специальный посыльный привез несколько экземпляров книги из Нюрнбергской типографии 70-летнему тяжело больному Копернику в самый день его смерти, 24 мая 1543 г.

Вопрос о времени создания «Малого комментария» остается открытым. Польский ученый Людвик Антонин Биркенмайер (1885—1929) высказал предположение, что этот труд Коперника появился не ранее 1502 г., но до 1514 г., поскольку он упоминается в списке книг одного из профессоров Краковской академии, составленном в указанном году. Существует также мнение, что он был создан гораздо позднее — между 1520 и 1530 годами, так как именно к 30-м годам относится «резонанс» вокруг учения Коперника — резкие нападки на него. Так, на масленицу в 1531 г. в соседнем с Фромборком местечке Эльблонге была поставлена комедия «Умный глупец», автором которой был голландец Вильгельм Гнафей. В комедии была предпринята попытка осмеять Коперника и его учение о движении Земли вокруг Солнца. Не исключено, что это была месть за выступление Коперника на сеймике в Эльблонге в конце октября 1530 г., на котором он требовал точно определить

содержание золота и серебра в монетах, выпускаемых здесь монетной мастерской...

В литературе встречается упоминание о враждебной позиции, которую будто бы по отношению к Копернику заняли протестанты и, в частности, в «Застольных беседах» сам Лютер (см., например, *Веселовский И. Н., Белый Ю. А. Николай Коперник.*— М.: Наука, 1974 г.— С. 324—325). В связи с этим уместно отметить, что «Застольные беседы» Лютер не писал, что запись разговоров за трапезой делал тайком по памяти один из его усердных учеников, что несколько столетий они оставались неизвестными и были опубликованы лишь в нашем веке. На самом же деле в это время протестанты относились к учению Коперника вполне лояльно *). Так, хотя сподвижник Лютера и идеолог лютеранства Филипп Меланхтон (1497—1560) в 1541 г. и высказался критически о теории Коперника, но тем не менее именно он рекомендовал своим нюрнбергским друзьям напечатать его книгу, он же убедил виттенбергского астронома Эразма Рейнгольда (1511—1553) вычислить новые таблицы положений планет, основываясь на теории Коперника. Позже Меланхтон вообще прекратил свои нападки на гелиоцентрическую систему, и не исключено, что этому содействовало более близкое знакомство с книгой Коперника...

В 1533 г. ученый, знаток культуры восточных народов Иоганн Альберт Видманштадт доложил о сути теории Коперника папе Клименту VII, за что в благодарность получил рукописный греческий кодекс, хранящийся сейчас в Мюнхенской библиотеке. На нем есть такая надпись: «Климент VII, папа римский ... подарил мне этот кодекс в Риме в 1533 г. после того, как я в оградах ватиканских в присутствии кардиналов Ф. Урсинуса, И. Сальвиати, епископа Витербианского Петра и Матвея Курциуса, медика-прироdoведа, объяснил ему теорию Коперника о движении Земли».

Известно, что папа Климент VII, как и его дядя Лев X, был образованным человеком, занимался поэзией и наукой. Вероятно, что в это время при папском дворе могли придерживаться мнения о символическом толковании Библии, как это делал, например, Ориген. В 1534 г. папой стал Павел III, открывший эпоху жестокой реакции. Тем не менее в 1536 г. кардинал Николай Шенберг — ближайший советник

*) Автор искренне благодарит А. А. Гурштейна, обратившего его внимание на это немаловажное обстоятельство.

папы — написал письмо Копернику, начинающееся словами: «Николаю Копернику привет. Когда несколько лет назад все только и знали, что говорили мне о твоих необычайных дарованиях, я почувствовал к тебе глубокое уважение и поделился своей радостью со своими земляками, среди которых ты пользуешься такой славой. Я узнал, что ты не только превосходно знаешь творения древних астрономов, но и сам придумал новую теорию мироздания. В своей теории ты учишь, что Земля движется, Солнце находится в центре Вселенной, восьмое небо неподвижно и вечно покоится, Луна с Землей и заключенными в Земной сфере стихиями расположена между Марсом и Венерой и в течение года совершает оборот вокруг Солнца. Сверх всего ты объяснил своими доказательствами теорию астрономии и составил таблицы движений небесных тел, вызывающие всеобщее восхищение. Поэтому, ученейший из мужей, если только моя просьба не будет тебе в тягость, я настоятельно прошу тебя, чтобы ты поделился всеми своими открытиями с любителями науки и как можно скорее выслал мне свои размышления о системе мира вместе с таблицами и всем, что полагается. Я попросил Теодора Редена, дабы все материалы были переписаны за мой счет и высланы мне. Если ты исполнишь это мое желание, то увидишь, что имеешь дело с человеком, заботящимся о твоём имени и желающим воздать должное твоим выдающимся дарованиям. Будь здоров! Писано в Риме, дня 1 ноября 1536 года» (*Рыбка Е., Рыбка П.*, с. 183). В том же году хелмнский епископ Тидеманн Гизе написал трактат, в котором выступил в поддержку теории Коперника.

Причиной этой заинтересованности теорией Коперника, вероятно, было то, что церкви крайне необходимо было осуществить реформу календаря. История же этого вопроса такова. На Никейском соборе в 325 г. было установлено отмечать важнейший христианский праздник — пасху — в первое воскресенье после первого весеннего полнолуния (т. е. полнолуния, наступающего после весеннего равноденствия), через один — семь дней после еврейской. Когда это правило утверждалось, весеннее равноденствие приходилось на 21 марта, и отцы церкви, вероятно, думали, что так оно будет и в будущем. Но юлианский год с $365\frac{1}{4}$ днями был на 0,0078 суток длиннее истинного тропического года. Иначе говоря, за каждые 128 лет весеннее равноденствие приходилось в юлианском календаре на один день раньше и около 1512 г. — года начала работы Латеранского собора — оно приходилось уже на 11 марта. Но, придержи-

ваясь правил Никейского собора, весенними полнолуниями считали не те, которые наступали после 11-го, а лишь те, которые приходились после 21 марта. Вследствие этого в отдельные годы христиане праздновали пасху на четырех-пять недель позже еврейской, вычисление которой проводится на основе сложного, но очень точного лунно-солнечного календаря. Получалось так, что когда христианам уже надлежало поститься, они еще употребляли мясо ...

Вот почему проблема календарной реформы обсуждалась католической церковью на Базельском (1437 г.), Латеранском (1512—1517 гг.) и Тридентском (1545—1563 гг.) соборах. Во время Латеранского собора церковь обратилась к ученым многих стран с просьбой принять участие в работе по реформе календаря. Ответ Коперника на этот призыв не сохранился; по некоторым данным, однако, в нем было высказано утверждение, что провести такую реформу затруднительно, так как продолжительность тропического года еще точно не установлена.

Забегая вперед, отметим, что вскоре после выхода в свет книги Коперника уже упоминавшийся Рейнгольд в 1551 г. опубликовал «Прусские таблицы небесных движений», составленные на основе теории Коперника. Эти таблицы были переизданы в 1571 и 1584 гг., они и стали основой для проведения в 1582 г. папой Григорием XIII календарной реформы — введения «нового стиля».

Работу над своим трудом «О вращениях небесных сфер» Коперник, по-видимому, закончил в 1532 г. Опубликовал же он ее после настойчивых уговоров своих друзей и горячих сторонников лишь через одиннадцать лет. Почему? В связи с этим иногда высказывают предположение, будто бы Коперник боялся преследований со стороны церкви или же, как очень скромный человек, не хотел широкой огласки своего имени.

Но мы уже видели, что все его непосредственные церковные начальники даже вынуждали печатать книгу поскорее. Преследования были, но начались они почти столетием позже ... И нам представляется, что главным здесь было другое. Ведь Коперник, поместив в центре мира Солнце, сохранил представления древнегреческих философов о равномерном круговом движении планет. При этом он отказался от идеи «выравнивающей точки» и для объяснения всех неравномерностей движения Земли, Луны и планет использовал эпициклы, которые, как и раньше, нагромождались один на другой. Его «Малый комментарий», например, заканчивается словами: «Таким образом, Меркурий движется

при помощи всего семи кругов, Венера — при помощи пяти, Земля — при помощи трех, а Луна вокруг нее — при помощи четырех; наконец, Марс, Юпитер и Сатурн — при помощи пяти кругов каждый. Таким образом, тридцати четырех кругов достаточно для объяснения механизма устройства всей Вселенной и всего хоровода планет».

Следовательно, можно думать, что, как настоящий ученый, Коперник интуитивно чувствовал, что его модель мира перегружена «лишними деталями», что она в отдельных пунктах просто неправильна. Вероятно, эта неуверенность и удерживала его от публикации книги

«Николая Коперника Торунского о вращениях небесных сфер шесть книг» *). Эпиграфом к своей книге Коперник взял надпись, бывшую якобы на дверях платоновой Академии: «Пусть не входит никто, не знающий геометрии». И это в самом деле так. Без основательного знания геометрии эту книгу понять невозможно.

По своему построению книга Коперника очень похожа на «Альмагест». В ней Коперник прежде всего утверждает, что мир сферичен «либо потому, что эта форма наиболее совершенна из всех ..., либо потому, что эта форма среди других имеет наибольшую емкость ..., либо потому, что такую форму, как мы замечаем, имеют и отдельные части мира, например Солнце, Луна, звезды, либо потому, что такой формой стремятся ограничить себя все предметы, как мы это видим у водяных капель ...». Дальше, после глав «О том, что Земля тоже сферична» и «О том, что движение небесных тел вечное, равномерное и круговое, или составлено из круговых движений» идет глава «О том, свойственно ли Земле круговое движение и о месте Земли». В ней Коперник говорит так: «Большинство писавших согласны в том, что Земля покоится в середине мира, и они считают противоположное мнение недопустимым и даже достойным осмеяния

Если поразмыслить внимательнее, то окажется, что вопрос этот еще не решен окончательно и поэтому пренебрегать им и оставлять его без рассмотрения нельзя. Действительно, всякое видимое нами перемещение происходит либо вследствие движения наблюдаемого предмета или наблюдателя, либо вследствие неодинаковости перемещений того и другого ... Земля же представляет собой то место, с которого наблюдается и открывается нашему взору круго-

*) *Коперник Николай. О вращениях небесных сфер* / Пер. И. Н. Веселовского. — М.: Наука, 1964.

вращение небес. Таким образом, если мы припишем какое-нибудь движение Земле, то оно обнаружится и во всем, что находится и вне ее, но будет иметь противоположное направление, как бы проходить мимо Земли ... Однако если допустить, что небо не имеет такого движения, а вращается с запада на восток Земля, то всякий, кто серьезно поразмыслит над этим, согласится, что все видимые восходы и заходы Солнца, Луны и звезд будут происходить точно так же. Поскольку само небо все вмещает, украшает и является всеобщим вместилищем, то не сразу видно, почему мы должны приписывать движение скорее тому, что содержит, нежели содержимому, тому, что держит, нежели тому, что держится ...».

Возражая Аристотелю и Птолемею, по мнению которых Земля вследствие своего движения разрушилась бы, а все с ее поверхности двигалось бы на запад, Коперник спрашивает: «Почему все же не допускать это в еще большей мере в отношении Вселенной, движение которой должно быть во столько раз больше, во сколько раз небо больше Земли? Скорее, необходимо предположить, что подвижность Земли совершенно естественно соответствует ее форме, нежели думать, что движется весь мир, границы которого неизвестны и недостижимы».

И наконец: «Таким образом, поскольку ничто не препятствует подвижности Земли, я считаю уместным спросить, не может ли она иметь несколько движений так, чтобы ее можно было считать одной из планет. Действительно, тем, что она не является центром всех вращений, обусловлены и неравномерность видимого движения планет, и непостоянство расстояний от них до Земли, которые нельзя было бы объяснить с помощью гомоцентрического с Землей круга. Но коль скоро существует несколько центров, то у кого-нибудь не без основания могут возникнуть сомнения относительно центра Вселенной: совпадает ли он с центром земного тяготения или нет? Что касается меня, то я думаю, что тяготение есть не что иное, как естественное стремление, которым божественное провидение Творца Вселенной наделяет весомые тела, дабы они, собираясь в единое целое, обрели сферичность. Вполне вероятно, что таким же стремлением наделяются Солнце, Луна и все прочие блуждающие светила, дабы с его помощью они могли сохранять ту правильную шарообразную форму, в которой мы их видим, совершая при этом разнообразные круговые движения.

Следовательно, если и Земля совершает другие движения, например обращается вокруг некоторого центра, то

эти движения должны быть такими же, какими мы их видим у других планет, и проявляться в тех же многообразных явлениях, по которым мы судим о годичном обращении. Поэтому если мы превратим движение, о котором идет речь, из солнечного в земное и признаем неподвижность Солнца, то ничто не изменится в явлениях восхода и захода знаков зодиака и неподвижных звезд, когда они становятся то утренними, то вечерними: также и стояние, и прямые, и попятные движения планет окажутся принадлежащими не им, а следствием движения Земли, от которого они заимствуют свои видимые движения. Наконец, нам придется признать, что центр мира занимает само Солнце. Во всем этом нас убеждает разумный порядок, в котором следуют друг за другом светила, и гармония всей Вселенной, если мы только захотим взглянуть на окружающий мир, как говорят, двумя глазами».

Уместно подчеркнуть, что все последующие математические доказательства Коперник построил в предположении, что сложные, периодически повторяющиеся движения планет на небе составлены из круговых движений, «так как неравенства этого рода подчиняются определенному закону и периодически повторяются, чего не могло бы случиться, если бы движения небесных тел не были круговыми ... лишь круг обладает той особенностью, что может возвращать прошлое».

Глава VI Книги Первой имеет название «О неизмеримости неба по сравнению с размерами Земли». Коперник пишет: «Наблюдения показывают, что горизонт делит небо пополам», а отсюда следует, что «Земля хотя и огромна, все же не идет ни в какое сравнение с необъятностью неба ... Небо неизмеримо велико по сравнению с Землей и представляет нечто бесконечно большое. Если верить нашим чувствам, то Земля находится к небу в таком же отношении, в каком точка находится к телу и конечное — к бесконечному. Ничего другого, а тем более вывода о том, что Земля должна недвижимо покоиться в центре мира, из нашего рассуждения не следует. Наоборот, было бы очень странно, если бы за двадцать четыре часа огромная Вселенная совершала полный оборот, а ее ничтожная часть, какой является Земля, оставалась бы на месте».

В самом деле, если суточное вращение небесной сферы обусловлено вращением самой Земли с запада на восток, то отпадает необходимость приписывать звездам, всей «небесной тверди» огромные скорости, которые им были бы необходимы для этого движения, и... можно удалить эти

звезды на сколь угодно большие расстояния от Земли! Отсюда резюме: «Таким образом, приведенные доводы доказывают лишь, сколь бесконечно велики размеры неба по сравнению с размерами Земли. Сколь же далеко простирается эта необъятность, нам неизвестно».

В самой важной главе X «Порядок небесных сфер» Коперник описывает расположение планет в их движении вокруг Солнца, начиная с наиболее удаленной: Сатурн, Юпитер, Марс, Земля с Луной, Венера и Меркурий (рис. 40). «В середине всего находится Солнце. Действительно,

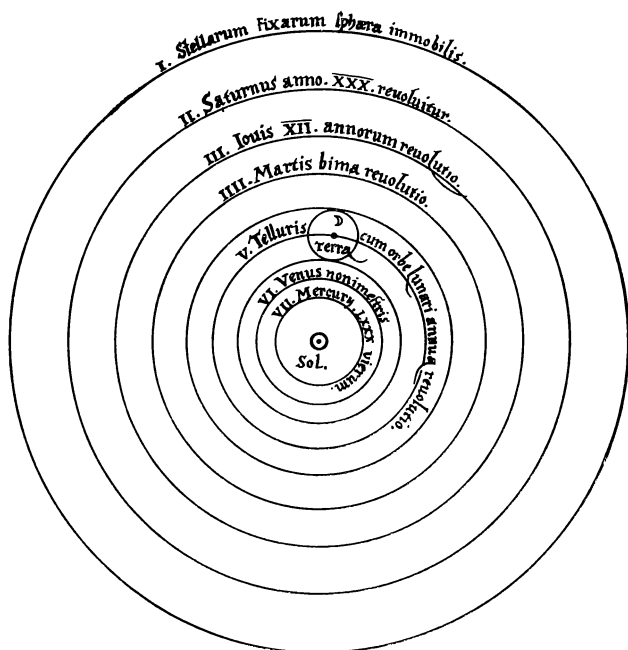


Рис. 40. Система мира Коперника

где еще в таком великолепнейшем храме можно было бы иначе и более удачно поместить этот светильник, как не в том месте, откуда он может освещать одновременно все?.. Ведь Солнце и впрямь, как бы восседая на царском троне, правит обращающейся вокруг него семьей планет ...». И далее: «Таким образом, в расположении планет мы находим удивительную соразмерность мира и связь между движением и размерами орбит, которую иным способом обнаружить нельзя».

Коперник дал абсолютно правильное объяснение особенностей видимых движений планет — их прямого и обратного перемещений на небесной сфере: Земля в своем движении вокруг Солнца догоняет и обгоняет внешние планеты (Марс, Юпитер и Сатурн) и ее же обгоняют нижние планеты (Меркурий и Венера), обусловлено это различными угловыми скоростями их движения.

В главе XI Книги Первой Коперник описывает три движения Земли: 1) суточное вращение в направлении с запада на восток, 2) годовое движение вокруг Солнца в плоскости эклиптики также с запада на восток, 3) деклинационное годовое движение, точнее, вращение, противоположное годовому вращению. Ведь Копернику следовало объяснить, почему при движении Земли вокруг Солнца ось ее суточного вращения остается всегда параллельной самой себе. Не зная еще механического закона инерции, Коперник полагал, что без такого движения ось Земли всегда составляла бы один и тот же угол с прямой, соединяющей Землю с Солнцем, так что Земля была бы постоянно обращена к Солнцу одним и тем же полюсом ...

Вслед за этим, как и в «Альмагесте», следует изложение основ тригонометрии, «таблица хорд в окружности» (т. е. синусов, причем за радиус круга принято число 100 000).

В Книге Второй, состоящей из четырнадцати глав, обсуждаются различные вопросы сферической астрономии: явления, связанные с суточным вращением небесной сферы, преобразование различных систем небесных координат светил, объясняются явления равноденствия и солнцестояний, восхода и захода звезд; описываются инструменты, при помощи которых астрономы со времен Птолемея производили наблюдения. Здесь же помещен каталог 1024 звезд. Это фактически каталог Птолемея, но долготы в нем отсчитываются не от точки весеннего равноденствия, а от звезды γ Овна. Коперник стремился составить каталог, при пользовании которым не было бы необходимости учитывать прецессию и, как ее следствие, — непрерывное изменение эклиптических долгот всех звезд.

В Книге Третьей Коперник излагает разработанную им теорию движения Солнца — его видимого годового перемещения на небесной сфере. Здесь бросается в глаза преемственность астрономических наблюдений, выполненных с интервалом почти в 2000 лет: рассматривая вопрос о прецессии, Коперник приводит данные наблюдений своих далеких предшественников. Так, «в 30-м году после смерти Александра Великого, александриец Тимохар ... указал,

что Колос ... отстоял от точки солнцестояния на 82 градуса с третьей ... А Гиппарх ... в 196-м году по смерти Александра нашел, что звезда ... называемая Регул, следует за летним солнцестоянием на расстоянии $29\frac{1}{2}$ и одной трети градуса ... Менелай ... в 99-м от Р. Х. и 422-м по смерти Александра указал, что Колос Девы отстоит по долготе от солнцестояния на 86 градусов с четвертью ... Птолемей ... в 462-м после смерти Александра определил, что Регул ... отстоит на $32\frac{1}{2}$ от летнего солнцестояния ... На 1202-м году после кончины Александра последовало наблюдение Альбатегния ... Оказалось, что в этом году Регул ... дошел до 44 градусов 5 минут от солнцестояния ... Мы в 1525-м году от Р. Х. ..., который был 1849-м египетским годом после смерти Александра ... ». И далее следуют расчеты, по которым расстояние звезды Спика (Колос) от точки осеннего равноденствия равно $17^{\circ}21'$. Так Коперник установил, что прецессионное движение точки весеннего равноденствия равно $50,26''$ (истинное значение для его времени $50,17''$). Но так как в определении прецессии Птолемей допустил ошибку, то развитая Коперником теория неравномерности прецессии была также ошибочной.

Тут же Коперник устанавливает величину эксцентриситета земной орбиты, продолжительность тропического года (больше действительного значения в его эпоху на 29 секунд) и положение апогея земной орбиты. Чтобы объяснить всю совокупность наблюдений, включая перемещение точки апогея, Коперник предположил, что центр орбиты Земли не совпадает с центром Солнца, а обращается с периодом в 3434 года вокруг некоторой фиктивной точки, которая, в свою очередь, делает один оборот вокруг Солнца за 50 000 лет.

В Книге Четвертой изложена теория движения Луны. Здесь для моделирования обращения Луны вокруг Земли Коперник подобрал систему трех круговых движений: деферент, центр которого совпадает с центром Земли, большой и малый эпициклы, диаметры которых относятся как 1097 к 237 (т. е. как 4,63:1). Центр большого эпицикла обращается по деференту, как и обычно, против часовой стрелки, совершая один оборот за 29 дней 31 первых, 50 вторых, 8 третьих, 9 четвертых и 20 пятых шестидесятих частей дня (все дано в шестидесятичной системе, так как Коперник еще не знал десятичных дробей). Центр малого эпицикла обращался за это же время по часовой стрелке, а сама Луна двигалась на малом эпицикле против часовой стрелки со вдвое большей угловой скоростью, так что в течение сино-

дического периода обращения она совершала на нем два оборота (рис. 41).

Благодаря этому средний угловой диаметр Луны изменялся в пределах от $28,8'$ до $37,6'$ (фактически эти пределы составляют $29,4'$ и $33,5'$), в то время как у Птолемея — от $31,6'$ до $60,4'$. Здесь же описывается теория солнечных и лунных затмений и уже упоминавшиеся в «Альмагесте» методы определения расстояний до Луны и Солнца.

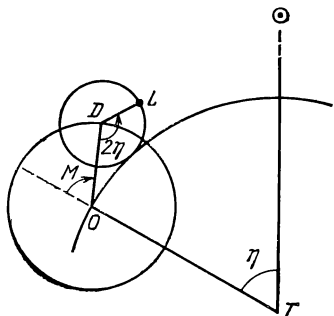


Рис. 41. Движение Луны по Копернику

В Книгах Пятой и Шестой Коперник изложил теорию движения планет вокруг Солнца, причем в Пятой — их движения по долготе, в Шестой — по широте. По Копернику видимое движение планет складывается из двух не зависящих друг от друга движений: «Одно из этих движений получается вследствие движения Земли, второе для каждой планеты является собственным. Первое мы не без основания решили назвать параллактическим движением; это то самое движение, которое у всех планет производит стояния, прямые и попятные движения. Оно происходит не потому, что планета, движущаяся всегда собственным движением вперед, увлекалась бы так в разные стороны, а потому, что это только так нам кажется в силу производимого движением Земли смещения, зависящего от различия в положении и величине планетных орбит».

Здесь же Коперник впервые ввел понятие «собственного годовичного движения» планет, т. е. смещения планет относительно фона далеких звезд в системе координат, связанной с центром Солнца. Полный период обращения планеты вокруг Солнца был назван ее *сидерическим периодом* обращения T . Для Земли $T=365,26$ суток. Для других планет сидерический период определяется по формуле $\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{\oplus}} \pm \frac{1}{S}$,

где S — синодический период обращения, причем знаки «плюс» и «минус» относятся соответственно к нижним и верхним планетам. Так, в частности, для Сатурна имеем $S=378,1$ суток, а $T=29,46$ года. Отсюда следует, что за один год среднее смещение Сатурна среди звезд составляет $360^{\circ}:29,46=12,2^{\circ}$. В книге Коперника мы и находим соответствующее значение «среднего сидерического движе-

ка ... Николая Коперника ..., составленное юношей, изучающим математику, первое повествование».

В этой книге Ретик подчеркивал, что убедительностью своих доказательств учение Коперника переубедило бы даже Аристотеля и Птолемея: «... Аристотель ... подал бы голос за господина доктора ... Я ... далек от мысли, что Птолемей, если бы только ему дано было вернуться к жизни, остался бы верен своей системе. Увидя, как завалена руинами столетий, как непроходима стала столбовая дорога астрономии, Птолемей сам бы начал искать нового пути».

Наконец, Ретик восклицает: «И пусть победит правда и доблесть, пусть науки всегда пользуются надлежащим им уважением, пусть каждый хороший мастер своего искусства выпускает в свет то, что полезно, и так ведет свои исследования, чтобы все видели, что он стремится к истине».

И правда победила! Но прошло много времени, пока теорию Коперника можно было безбоязненно преподавать с университетских кафедр. К тому же ложь угнездилась едва ли не на первых страницах книги Коперника в виде предисловия лютеранского богослова Андрея Осиандера (1498—1552), которому было поручено редактирование книги. Он еще в 1540 г. обращался к Копернику с просьбой написать такое предисловие, которое умиротворило бы философов и теологов — мол, «гипотезы не являются символами веры, а служат основой для вычислений, вследствие чего они могут быть даже ложными, лишь бы правильно передавали явления. Откуда нам знать, что служит причиной неравномерности движения Солнца: эпицикл или, если мы примем гипотезы Птолемея, эксцентр. Ведь причиной может быть и то, и другое». Коперник категорически отверг предложения Осиандера и прислал предисловие и посвящение папе Павлу III, из которых четко видна позиция его как творца нового гелиоцентрического взгляда на мир.

Осиандер же, заменив предисловие Коперника, написал следующее: «К читателю о гипотезах, лежащих в основе этой книги ... Действительно, каждому астроному свойственно на основании тщательных и искусных наблюдений составлять историю небесных движений. Поскольку же никакой разум не в состоянии исследовать истинные причины или гипотезы этих движений, астроном должен придумывать какие-то гипотезы, чтобы с их помощью на основе принципов геометрии можно было вычислять эти движения как для будущих, так и для прошедших времен. И то, и другое искусный автор этой книги выполнил в совершенстве.

Ведь нет необходимости считать, что гипотезы эти отвечают истине или даже правдоподобны. Достаточно, чтобы они приводили к согласию между наблюдениями и вычислениями». Упомянув, что построить правдоподобную гипотезу об эпицикле Венеры очень трудно, что «нельзя познать причин видимых неравномерных движений», Осиндер заканчивает свое предисловие так: «Позволим же, чтобы наряду со старыми гипотезами выступили и эти новые, хотя и они ничуть не более правдоподобны ... Во всем же, что касается гипотез, пусть никто не ожидает получить от астрономии чего-нибудь достоверного, ибо она не в состоянии дать ничего подобного. Если же кто-нибудь примет за истину, что придумано другими, то от такой науки станет еще глупее, чем был, когда приступал к ее изучению. Будь здоров!»

Как отметили Е. и П. Рыбки, столь нелепое и в высшей степени недобросовестное предисловие умаляло ценность теории Коперника в глазах неподготовленных читателей и вызывало возмущение у тех, кто понимал ее сущность. Так, Тидеман Гизе в письме Ретику пишет: «Чтобы тот, кто позволил себе неслыханную дерзость, поместив искажающее существо дела предисловие, не остался безнаказанным, я написал нюрнбергскому сенату, что считаю необходимым восстановить доброе имя автора». Далее Гизе предлагает заново напечатать первые листы, дополнить книгу другим предисловием, возможно, поместить в ней биографию автора. Эти и другие попытки Гизе и самого Ретика ни к чему не привели. И подлинное предисловие Коперника появилось лишь в четвертом издании книги, вышедшем в Варшаве в 1854 г.

Сам же Коперник свое посвящение папе заканчивает словами: «Я не сомневаюсь, что способные и ученые математики будут согласны со мной», и, как бы предвидя все, что случится вскоре: «Найдутся, наверное, и такие, кто, будучи невеждами во всех математических науках, тем не менее берутся судить о них и на основании какого-нибудь места из священного писания, неверно истолкованного и нарочито извращенного для их цели, осмелятся порицать и преследовать мое учение. Суждениями таких людей я могу пренебречь как безосновательными. Ведь не секрет, что Лактанций, писатель, вообще говоря, знаменитый, но слабый математик, рассуждал о форме Земли как малое дитя, осмеивая тех, кто утверждал, что Земля имеет форму шара. Следовательно, и ученые не должны удивляться, если кто-нибудь из подобных людей будет осмеивать и меня»...

ния» планет, в частности Сатурна, за один египетский год, равный 365 дням: $43\,966,2''$; его современное значение $43\,966,1''$. Так же точно определено «среднее сидерическое движение» и для других планет. Уместно отметить, что ни одной формулы в книге нет — приведены лишь результаты в виде конкретных чисел! Для их установления, как и при изучении особенностей видимого движения Солнца, используются совместно наблюдения противостояний планет, проведенные самим Коперником и «наблюденные Птолемеом во время императора Адриана» ...

Выдающимся достижением Коперника было то, что он впервые, и притом с очень высокой точностью, установил расстояния планет от Солнца (табл. 2), приняв за единицу

Т а б л и ц а 2

Относительные расстояния планет от Солнца
(по Птолемею это значения δ для нижних и $1/\delta$ для верхних планет)

Планета	Относительное расстояние		
	по Копернику	по Птолемею	современные значения
Меркурий	0,376	0,376	0,387
Венера	0,720	0,720	0,723
Земля	1,000	1,000	1,000
Марс	1,520	1,520	1,524
Юпитер	5,217	5,208	5,203
Сатурн	9,184	9,259	9,540

измерения расстояние Земли от Солнца (которое позднее было названо *астрономической единицей* — а. е.). Анализ развитой Коперником исключительно сложной теории движения планет читатель может найти в трудах Н. И. Идельсона, И. Н. Веселовского и Ю. А. Белого и Е. А. Гребеникова *).

Как видно, Копернику впервые удалось установить относительные масштабы Солнечной системы и притом с высокой точностью. Мы подчеркиваем: относительные мас-

*) Идельсон Н. И. Этюды по истории небесной механики. — М.: Наука, 1975. — С. 124—205; Веселовский И. Н., Белый Ю. А. Николай Коперник. — М.: Наука, 1974. — С. 304—317; Гребеников Е. А. Николай Коперник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1982. — С. 47—66.

штабы, так как среднее расстояние Земли от Солнца он вслед за Птолемеем принимал равным всего 1197 радиусам Земли ...

Неминуемо возникает еще такой вопрос: были бы более точными расчеты положений планет, найденных методом Коперника, по сравнению с птолемеевскими? Оказывается, нет. Теоретический анализ этого вопроса показывает, что погрешность в определении долготы планеты совпадает, тогда как погрешность в радиус-векторе у Коперника в два раза больше, чем у Птолемея. В случае планеты, орбита которой имеет значительный эксцентриситет, вычисленные долготы могут существенно отличаться от наблюдаемых. Так, для Марса полученные при помощи таблиц Коперника положения могут отличаться от истинных на целых три градуса (*Веселовский И. Н., Белый Ю. А., с. 317*). Но дело, конечно, не в этом. Как писал в предисловии к «Прусским таблицам» Эразм Рейнгольд, «мы обязаны Копернику глубокой благодарностью за его многотрудные наблюдения и в особенности за восстановление истинного учения о движении небесных тел» ...

«Пусть победит правда ...» Книга Коперника вышла в 1543 г. тиражом 1000 экземпляров, а вскоре была переиздана в г. Базеле (1566 г.) и Амстердаме (1617 г.). Многие историки астрономии склонны полагать, что она вышла в свет благодаря энергичной помощи тогда молодого и увлеченного астрономией Георга Иохана фон Лаухена (1514—1576), профессора математики Виттенбергского университета, известного под именем Ретика. В мае 1539 г. Ретик приехал к Копернику, чтобы более подробно познакомиться с его теорией, предполагая задержаться у него не более двух месяцев. Но он остался возле Коперника почти на два года. Изучив рукопись книги «О вращениях ...», Ретик, как пишут И. Н. Веселовский и Ю. А. Белый, «систематически убеждал Коперника сделать свое произведение достоянием человечества». И «... лишь после совместной поездки Коперника с Ретиком ... к Тидеману Гизе, когда убеждающих уже стало двое, Коперник наконец решился на публикацию и принялся за окончательную доводку рукописи». Ретик в конце 1539 г. пишет пространное письмо своему учителю Шонеру в Нюрнберг, в котором на четырех печатных листах, в пятнадцати небольших главах излагает основные положения учения Коперника. Оно было опубликовано весной 1540 г. в Гданьске и через год в Базеле под названием «Знаменитому мужу Иоанну Шонеру о книгах вращений учнейшего мужа и превосходнейшего математи-

О жизни скитальца. 17 февраля 1600 г. на площади Цветов в Риме был сожжен выдающийся итальянский мыслитель Джордано Бруно — философ, который в своих взглядах на Вселенную пошел значительно дальше Коперника. Образно говоря, Бруно разрушил хрустальную сферу неподвижных звезд и вслед за Николаем Кузанским отстаивал мысль о безграничности Вселенной в пространстве и времени ...

Джордано Бруно (настоящее имя Филипп) родился в 1548 г. в местечке Нола вблизи Неаполя. Его отец был солдатом-наемником, а мать — бедной крестьянкой. В возрасте 15 лет он был принят в монастырь и в 1572 г. стал священником.

В монастыре Бруно изучил труды Аристотеля, Платона, познакомился с книгой Коперника «О вращениях небесных сфер». Бруно смело выступил против учения Аристотеля, указывая на наивность многих его высказываний, их несоответствие результатам наблюдений. В 1575 г. Бруно был обвинен в ереси и вскоре лишен сана. Сбежав из монастыря, он более 15 лет скитался в разных странах Европы, побывал в Швейцарии, Франции, Англии и Германии. Во Франции он некоторое время преподавал в университетах Тулузы и Парижа, в Англии побывал в Оксфорде и Лондоне. Все это время Бруно блестяще выступает в диспутах, пишет книги, и всюду в конце концов его вынуждают прекратить пропаганду своих идей. Сановник, который позже делал заключение о еретической деятельности Бруно, писал, что это «один из выдающихся умов, которые можно себе лишь представить, человек незаурядной начитанности и величайших знаний».

Бруно решительно выступил против церкви и религии вообще, он считал их самой серьезной преградой на пути развития науки. По его словам, католические священники «хуже гусениц и жадной саранчи», а протестантские «реформируют безрассудную и испорченную веру, залечивают язвы прогнившей религии». И те и другие — «величайшие ослы мира».

Первая из объемистых книг Джордано Бруно, «Пир на пепле», была издана в Англии в 1584 г. Она состоит из пяти диалогов, которые ведут четыре собеседника, и посвящена главным образом пропаганде астрономических идей Коперника. Здесь Бруно излагает свои взгляды о безграничности Вселенной и неисчислимости миров. Эти идеи он развил

далее в книгах «О причине, начале и едином» (1584 г.), «О бесконечности, вселенной и мирах» (1584 г.) и «О неизмеримом и неисчислимом» (1591 г.). В этих книгах Бруно выступает как один из основоположников современного материалистического естествознания, излагая учение о материальном единстве мира, бесконечного в пространстве и времени. Точнее, Бруно стоял на позициях пантеизма, т. е. отождествлял Вселенную с богом, но, как известно, в философии Возрождения это было наиболее радикальным выражением материалистической тенденции.

В 1592 г. по приглашению венецианского вельможи Мочениго Бруно прибыл в Венецию и уже в мае этого года по доносу своего «ученика» попадает в руки инквизиции. В феврале 1593 г. по требованию великого инквизитора в Риме Бруно был переведен в папскую столицу и после семилетнего пребывания в тюрьмах взошел на костер.

Как известно, на судебном процессе об учении Коперника речи вообще не было. «Бруно ..., несмотря на все черты непоследовательности своего учения, решительно боролся против каких бы то ни было претензий религии на истину ... Однако ни учение Бруно о бесконечности Вселенной, об ее единстве, об однородности ее состава, о бесчисленности обитаемых миров, ни отрицание им воплощения Христа и единства бога в трех лицах, ни сатирический характер его критики религии, ни его выступления против попов и монахов, против папы римского не приводили в такое бешенство мракобесов, как его требование конфискации монастырских доходов, секуляризации монастырских имуществ. Быть может, Бруно и не погиб бы на костре, если бы ему не было поставлено в вину выступление против монастырских доходов, против монастырских имуществ. Как это засвидетельствовано подлинными документами, инквизиторы во время допроса особое внимание сосредоточили именно на этом. Их особенно приводили в бешенство инкриминируемые Бруно слова о том, что «Венецианская республика, славящаяся своей великой мудростью, должна поступить со своими монастырскими доходами так же, как французы: во Франции знать пользуется монастырскими доходами, а братья живет, питаясь хлебом! Все современные монахи — ослы, и большой грех позволять им пользоваться таким благополучием».

Выступления Джордано Бруно против монастырских имуществ, против экономического господства папства и были одной из главных причин бешеной, зоологической ненависти к этому выдающемуся философу. Эта злоба объеди-

нила всех его врагов из поповского лагеря и привела Бруно на костер *).

Однажды Бруно сказал: «Жизнь человека на земле является не чем иным, как состоянием войны! Он должен поражать ничтожность лодырей, обуздывать наглость, предупреждать удары врагов». Находясь в тюрьме, он написал о себе так: «Было во мне все же то, в чем не откажут мне будущие столетия, и потомки скажут: страх смерти был чужд ему, силу характера он имел большую и ставил выше всех наслаждений жизни борьбу за истину». Свои высокие качества бойца Бруно проявил во время судебной расправы и в час своей смерти. Выслушав приговор, он сказал: «Вы, наверное, с большим страхом огласили мне приговор, чем я его выслушал», а потом несколько раз добавил: «Сжечь — не значит опровергнуть ...».

Пепел костра, на котором он был сожжен, сбросили в реку Тибр, чтобы от «еретика» не осталось никаких следов. В 1889 г. на площади Цветов в присутствии шести тысяч делегатов от всех стран и народов мира был открыт памятник. Надпись на нем гласит: «9 июня 1889. Джордано Бруно. От предвиденного им столетия, на том месте, где был зажжен костер»...

Стремясь исказить историческую роль Бруно, в том же 1889 г. состоялись многочисленные «собрания протеста». На одном из них, в Кельне, профессор Шредер, называя Бруно еретиком и врагом церкви, сказал: «Он выступил против самого бога, в фантастическом заблуждении он отрицал его промысл, его существование, в своих писаниях проповедуя грубейший пантеизм и проводя в своей жизни самый плоский материализм. Тем самым он уничтожал единственную основу всякого нравственного и религиозного, всякого церковного и государственного порядка. Его тезисы стремились ниспровергнуть не только алтари, но и троны; он был, таким образом, явным врагом человеческого общества, ибо где нет бога, там нет авторитета, где нет авторитета, там нет истинной свободы, нет порядка, где нет порядка, там раскрыты двери и ворота радикальнейшему социализму ... Кем же был Джордано Бруно? Это был отпавший монах, расстрига-священник, безнравственный человек, мятежник против Христа и церкви, отрицатель бога, враг трона и алтаря, короче говоря, революционер в полнейшем смысле этого слова» (Дынник М. А., с. 30—31).

*) Дынник М. А. Мировоззрение Джордано Бруно // *Бруно Джордано. Диалоги.*— Госполитиздат, 1949.— С. 24—25.

Именно революционер, один из упомянутых Ф. Энгельсом гигантов учености, духа и характера ...

«Пищей души является истина». Главной задачей философии, по мысли Бруно, должно быть познание истины. Он писал: «Известно, что пищей души является истина ... Нахождение частных истин есть как бы первое принятие пищи, соединение их в чувствах внешних и внутренних есть как бы переваривание обретенного. Понимание, это — совершенное осведомление и в той же мере увеличение теперешнего состояния нашего совершенства, к каковому, т. е. к пользе и совершенному составу души, все в природе, стремясь к знанию, страстно желает приблизиться».

В своем стремлении к познанию истины, к ее торжеству Бруно в «Пире на пепле» (впервые в научной литературе!) разоблачает подмену текста предисловия, совершенную А. Осиандером. Согласно Бруно «несомненно, что Коперник понимал дело так, как он об этом говорил, и со всей силой доказал это». Последователь же Птолемея, участвующий в диспуте, «удержал в памяти лишь имя автора, издателя, название книги ...» и «понял некое свержхвступительное предисловие, приложенное не знаю уж каким невежественным и самонадеянным ослом; этот осел, как бы желая извинить автора и оказать ему покровительство или даже ставя своей целью, чтобы и другие ослы, найдя в этой книге и для себя салат и плоды, не остались голодными ... предупреждает их, раньше чем они начнут читать книгу ...»

Позже, в 1591 г., в работе «О неизмеримом и неисчислимых» Бруно написал такие строки о Копернике:

«Мерзость веков темноты разум не тронула твой,
Голос не заглушили вопли крикливых глупцов,
О благородный Коперник, чьи деянья — памятники на веки
Юности ранней мысли, едва лишь от сна восставшей».

Отдавая должное Копернику, Бруно в «Пире на пепле» все же укоряет его за некоторую «узость» подхода к изучению проблем природы. Приняв имя Ноланец, Бруно так говорит о себе и Копернике: «Ноланец ... не смотрит ни глазами Коперника, ни Птолемея, но своими собственными, что касается суждения и определения. Что же касается наблюдений, то он считает себя очень обязанным этим и другим старательным математикам, прибавлявшим постепенно, с течением времени, одно объяснение к другому, давшие ему достаточные основания, благодаря которым он пришел к такому суждению, которое могло созреть только после многих нелегких занятий. Ноланец добавил, что фактически

они — как бы посредники, переводящие слова с одного языка на другой; но затем другие вникают в смысл, а не они сами. Они же подобны тем простым людям, которые сообщают отсутствующему полководцу о том, в какой форме протекала битва и каков был результат ее, но сами-то они не понимают дела, причины и искусства, благодаря которым вот эти победили; понимает же тот, кто имеет опыт и лучше разбирается в военном искусстве ...». Коперник «не ниже ни одного из астрономов, бывших до него ... Ему мы обязаны освобождением от некоторых ложных предположений общей вульгарной философии, если не сказать, от слепоты. Однако он недалеко от нее ушел, так как, зная математику больше, чем природу, не мог настолько углубиться и проникнуть в последнюю, чтобы уничтожить корни затруднений и ложных принципов, чем совершенно разрешил бы все противодействующие трудности, избавил бы себя и других от многих бесполезных исследований и фиксировал бы внимание на делах постоянных и определенных. При всем том кто может вполне восхвалить великий дух его, который ... крепко стоял против потока противоположной веры и... мог найти твердую почву для себя и совершенно открыто признать ..., что наш шар движется по отношению ко вселенной ...». Далее Бруно говорит, что Коперник «был послан богами, как заря, которая должна предшествовать восходу солнца истинной античной философии...».

О себе и о своем учении Бруно говорит устами одного из собеседников: «Ноланец ... перед лицом здравого смысла ключом тщательнейших исследований открыл те убежища истины, которые могут быть нами обнаружены, обнажил скрытую под покровом природу, раскрыл глаза у кротов, излечил слепых... развязал язык у немых, ... излечил хромых, которые не могли совершить то движение духа вперед, к которому не способен человек, состоящий из неблагородной и разложимой материи; это он заставил людей находиться на солнце, луне и других названных светилах ..., он показал, насколько схожи и не схожи, больше или хуже тела, видимые как отдаленные от того тела, на котором находимся мы сами ... Таким образом мы узнаем, что если бы мы были на луне или на другой звезде, мы были бы в месте, не очень отличающемся от земли ...; мы узнаем, что могут быть другие тела, столь же хорошие и даже лучшие сами по себе и способные дать больше счастья своим обитателям» (*Бруно Джордано*, с. 58—60).

Подробно разбирает Бруно несостоятельность выдвинутого Аристотелем аргумента, что если бы Земля вращалась,

то брошенный вверх камень не смог бы вернуться вниз по той же перпендикулярной прямой. В приводимом Бруно доказательстве вращения Земли «один человек находится на плывущем корабле, а другой — вне его; у каждого из них рука находится почти в одной и той же точке в воздухе, и из этого места в то же самое время первый пускает камень, а второй — другой камень, без всякого толчка; камень первого, не теряя ни мгновенья и не уклоняясь от своей линии, упадет в назначенное место на корабле, а камень второго останется позади. И это попадание произойдет по той причине, что камень, который падает из вытянутой руки на корабле и, следовательно, движется, следуя его движению, имеет сообщенную ему силу, которой не имел другой камень, выпадающий из руки, находящейся вне корабля ... Из этого ясно видно, что ... от действительности силы, первоначально перенятой, от которой зависит все различие, берется сила прямого движения».

Бруно не сомневался в том, что звезды во Вселенной перемещаются одна относительно другой. Он пишет: «... Их можно назвать неподвижными не по тому соображению, что они в самом деле сохраняют то же самое равное расстояние от нас и между собою, но лишь потому, что их движение не чувствительно для нас». Бруно предполагал существование эффекта полного перемешивания вещества планет и звезд: «... Нет места в центре и в середине звезды, которое не побывало бы на окружности или вне ее, нет части вне ее и снаружи, которой не пришлось бы иной раз стать и быть внутренней и сокровенной». Затем следует один из важнейших тезисов учения Бруно: «И нет вещества, которому по природе подобает быть вечным, за исключением субстанции, которая есть материя, но и ей тем не менее подобает быть в вечном изменении» (*Бруно Джордано*, с. 149).

«Пиром на пепле» называется традиционный ужин, устраиваемый католическими монахами в первый день великого поста. У Бруно так названо празднество передовых научных идей ...

Рассматривая содержание книги Бруно «О причине, начале и едином», отметим такие рассуждения о свойствах Вселенной: «Вселенная едина, бесконечна, неподвижна. Едина, говорю я, абсолютная возможность, едина действительность, едина форма или душа, едина материя или тело, едина вещь, едино сущее, едино величайшее и наилучшее. Она никоим образом не может быть охвачена и поэтому неисчислима и беспредельна, а тем самым бесконечна и безгранична и, следовательно, неподвижна. Она не движется в прост-

ранстве, ибо ничего не имеет вне себя, куда бы могла переместиться, ввиду того, что она является всем. Она не рождается, ибо нет другого бытия, которого она могла бы желать и ожидать, так как она обладает всем бытием. Она не уничтожается, ибо нет другой вещи, в которую она могла бы превратиться, так как она является всякой вещью. Она не может уменьшиться или увеличиться, так как она бесконечна. Как ничего нельзя к ней прибавить, так ничего нельзя от нее отнять, потому что бесконечное не имеет частей, с чем-либо соизмеримых» (*Бруно Джордано*, с. 273).

Эти мысли Бруно развивает дальше в труде «О бесконечности, вселенной и мирах»: «... поскольку вселенная бесконечна и неподвижна, не нужно искать ее двигателя» (с. 322). И в другом месте: «Едино, следовательно, небо, безмерное пространство, лоно которого содержит все, эфирная область, в которой все пробегает и движется. В нем — бесчисленные звезды, созвездия, шары, солнца и земли, чувственно воспринимаемые; разумом мы заключаем о бесконечном количестве других. Безмерная, бесконечная вселенная составлена из этого пространства и тел, заключающихся в нем» (с. 361).

У многих звезд могут быть планетные системы, подобные солнечной, но «мы видим солнца, которые более велики или даже бывают величайшими телами, но не видим земель, которые, будучи гораздо меньшими телами, невидимы для нас». Да и в нашей Солнечной системе могут быть еще неизвестные планеты: «Не противоречит разуму также, чтобы вокруг этого солнца кружились еще другие земли, которые незаметны для нас или вследствие большой отдаленности их, или вследствие их небольшой величины, или вследствие отсутствия у них больших водных поверхностей, или же вследствие того, что эти поверхности не могут быть одновременно обращены к нам и противоположно к солнцу, в каком случае солнечные лучи, отражаясь как бы в кристалльном зеркале, сделали бы их видимыми для нас» (с. 364). И далее: «... нужно принять, что существуют еще бесчисленные солнца, из которых многие для нас заметны в виде маленьких тел; но некоторые могут нам казаться меньшими звездами, хотя на самом деле они гораздо больше тех, которые кажутся нам чрезвычайно крупными... Вокруг этих солнц могут вращаться земли, имеющие большие или меньшие массы, чем наша земля».

Не оставляет в стороне Бруно и вопрос о природе комет: «...В противовес Аристотелю ... я утверждаю: ..., кометы об-

ладают собственным движением, которое не соответствует ни ежедневному движению Земли, ни движению других звезд». Природа комет сходна, согласно Бруно, с природой планет. Подытоживая обсуждение этого вопроса, Бруно заключает: «Кто над этим подумает, тот увидит, что все принципы Аристотеля противоречат истинным принципам природы» (с. 405).

Таким был Джордано Бруно в его смелом взлете в бескрайние пространства Вселенной, к другим ее мирам, законы развития которых такие же, как и на нашей Земле ...

«ФЕНИКС АСТРОНОМОВ»

Властитель «замка Урании». Выдающийся датский астроном Тихо Браге (1546—1601), этот «феникс астрономии», как его назвал Иоганн Кеплер, родился в семье датского сановника в замке Кнудstrup (Скания, южная часть Скандинавского полуострова). В 13-летнем возрасте он поступил в Копенгагенский университет для изучения права. Но на втором году его пребывания в университете, 21 августа 1560 г., произошло затмение Солнца, которое, впрочем, в Копенгагене наблюдалось как частное. Тем не менее молодого Тихо поразило то, что это небесное явление было заранее предсказано. И он тут же решил познакомиться с началами астрономии — как он сам высказался, «науки, к которой я испытывал естественное расположение». Тихо приобрел таблицы планетных движений и том сочинений Птолемея ...

Дальнейшие три года своей жизни Браге пробыл в Лейпциге, как полагали его приемный отец и родственники, для изучения юриспруденции. На самом же деле он на выделяемые ему деньги приобрел несколько книг по астрономии, небольшой небесный глобус и угломерный инструмент — «посох Якова». Ведь в 1563 г. произошло соединение Юпитера с Сатурном, которое по астрологическим представлениям того времени якобы явилось причиной ужасной эпидемии. Впрочем, первые измерения Тихо провел с помощью большого циркуля, направляя его ножки на соответствующие светила и далее воспроизводя полученный угол на бумаге, после чего уже можно было измерить его в градусах. Тихо Браге установил тогда, что в предвидении этого явления старые («Альфонсинские») астрономические таблицы допускали погрешность в один месяц, тогда как «Прусские таблицы» Эразма Рейнгольда, рассчитанные на основе теории Коперника, дали разницу в несколько дней.

Тогда-то Тихо и решил посвятить свою жизнь уточнению астрономических таблиц.

В 1565 г. он возвратился домой и, получив небольшое наследство, опять покинул Данию и посетил Виттенберг, а затем Росток. Здесь на вечеринке у местного профессора Бахмейстера Тихо из-за какой-то математической проблемы поссорился с одним из своих земляков и в последовавшем затем коротком поединке лишился части носа. В итоге в течение всей своей дальнейшей жизни Браге был вынужден носить на носу протез, а в кармане — специальный клей для его укрепления ... По этому поводу злые языки утверждали, что когда Тихо стал знаменитостью, многие ходили на его лекции не столько послушать их, сколько ... посмотреть на его нос.

В 1569 г. Тихо Браге оказался в Аугсбурге, мастера которого славились умением изготавливать инструменты, пригодные для точных наблюдений небесных светил. И в самом деле, были в кратчайший срок изготовлены квадрант и секстант, сразу же — спроектированный Тихо еще один квадрант, радиус которого составлял почти 6 м, а полная высота инструмента достигала 11 м. На этом инструменте отсчет углов производился с точностью до $10''$. Тем не менее, возвратившись в мае 1571 г., после смерти отца, в Данию, Тихо едва не стал ... химиком. Со своим младшим братом Стеном он построил небольшую бумажную фабрику и стекольный заводик.

Но ... 11 ноября 1572 г. вечером, возвращаясь из химической лаборатории, где он стремился (об этом нетрудно догадаться) получить золото, Тихо Браге заметил в созвездии Кассиопеи яркую звезду, которой раньше там не было. Он потом писал так: «Я был настолько поражен этим зрелищем, что не постыдился подвергнуть сомнению то, что видели мои собственные глаза... Не было ли это величайшим из чудес, которые случались когда-либо со времен начала мира? ...». Тихо тут же начал измерять угловые расстояния от этой Новой звезды до главных звезд Кассиопеи и до Полярной. Позже по поводу этой звезды И. Кеплер скажет так: «Если эта звезда ничего не напрооричила, то по меньшей мере она возвестила и создала великого астронома».

Сверхновая Тихо (так теперь именуется эта звезда) была ярче Венеры и некоторое время ее можно было наблюдать даже днем; видна же она была невооруженным глазом в течение 17 месяцев. Понятно, что это явление взволновало многих людей. Высказывались самые различные предположения и допущения о том, что «предвещает» это странное

светило ... Один из сподвижников Кальвина даже объявил ее второй Вифлеемской звездой, которая, дескать, возвещает второе пришествие Христа на Землю. Конечно, возник вопрос, где находится этот объект: дальше Луны или ближе ее. Согласно Аристотелю он должен был находиться недалеко от Земли. И в самом деле, некоторые немецкие астрономы «нашли», что расстояние от новой звезды до Земли составляет всего 12—15 земных радиусов. В частности, Элиас Камерарий во Франкфурте-на-Одере «установил», что при ее появлении звезда имела параллакс $12'$, а три месяца спустя $0,5'$. Отсюда следовало, что новая звезда удаляется от Земли по прямой. Поэтому, мол, уменьшается и ее блеск.

Чтобы определить суточный параллакс новой звезды, Тихо Браге измерял угловое расстояние ее от Полярной и ярких звезд Кассиопеи в момент, когда звезда находилась на наибольшей высоте над горизонтом (в верхней кульминации) и вторично — через 12 часов. В итоге он пришел к выводу, что ее параллактическое смещение если и существует, то очень невелико — меньше нескольких минут дуги, тогда как для Луны оно в среднем равно $57'$. Отсюда следовало, что расстояние до новой звезды намного больше, чем до Луны. Так, вопреки Аристотелю, оказалось, что мир звезд не вечен и не неизменен. Свои размышления на эту тему Тихо Браге изложил в книге «О новой звезде» (1573 г.), в которой он высказал предположение, что звезда образовалась в результате конденсации тонкого светлого небесного вещества, из которого, по его мнению, состоит Млечный Путь. Тихо даже указывал, что в результате этого вблизи Млечного Пути образовалась дыра, наблюдаемая как темное пятно ...

В 1576 г. Тихо Браге получил от короля Фредерика II в свое распоряжение остров Вен (в 20 км северо-восточнее Копенгагена), который по форме напоминает равнобедренный прямоугольный треугольник площадью около $7,5 \text{ км}^2$, географическая широта острова $55^\circ 54,5'$. Вероятно, поэтому Тихо в глубине души долгое время сомневался — правильно ли он поступил, оставаясь в Дании, ведь много времени пропадало здесь из-за туманов и густой облачности, да и планету Меркурий удавалось наблюдать очень редко ... Но, получив значительные средства («более нежели бочку золота», т. е. примерно 1,5 млн долларов), Тихо Браге построил на острове Вен обсерваторию Ураниборг — «замок Урании» (напомним, что Уранией древние римляне называли богиню неба) и оборудовал ее точными угломерными инструментами. Через несколько лет рядом была построена

обсерватория Стьернеборг — «звездный замок», в которой измерительные приборы для защиты их от ветров были установлены в подземельях.

Так остров Вен более чем на 20 лет стал уникальным астрономическим центром мирового значения. Здесь велись исключительные по своей точности наблюдения, проводилась подготовка квалифицированных астрономов, которые в дальнейшем работали в других городах Европы, изготовлялись уникальные астрономические инструменты. В распоряжении Тихо была типография (и бумажная фабрика), переплетная мастерская. Конечно, на все это необходимы были деньги, притом немалые. Расходы на сооружение и содержание обсерватории Тихо Браге составляли заметную часть государственного бюджета всей страны. И выделены были эти средства 30-летнему ученому, звезда которого, образно говоря, лишь загоралась ...

Инструменты Тихо Браге. Описание и изображения основных инструментов обсерватории Ураниборг-Стьернеборг Тихо Браге дал в своей книге «Механика обновленной астрономии» (1598 г.). Инструменты были различных типов и размеров в зависимости от поставленных перед наблюдателем задач. Прежде всего — это квадранты, которых у Тихо было несколько: с радиусами в 42, 64, 167 см. Наибольшей известностью пользуется 194-сантиметровый квадрант, дуга которого, изготовленная из литой латуни, была жестко закреплена на точно сориентированной по направлению «север-юг» восточной стене, в южной стене было сделано окошко. Для повышения точности отсчета на этом, как и на других инструментах, Браге использовал метод «трансверселей», т. е. рядов точек, одинаково удаленных от концов дуги. Это позволяло проводить отсчет с точностью до 10", а на «Стенном квадранте» — до 5". Этот последний обслуживали три человека: один осуществлял визирование и производил считывание высоты светила над горизонтом, второй записывал эти данные в журнал, третий фиксировал время прохождения светила через меридиан по нескольким часам, установленным в этом же помещении. Кстати, с 1581 г. Тихо Браге использовал часы с секундными стрелками и оценивал погрешность этих часов в 4 секунды.

Другую группу инструментов, с помощью которых производилось измерение угловых расстояний между двумя светилами, составляли секстанты, изобретателем которых, по видимому, и был Тихо Браге. По крайней мере два секстанта в Ураниборге имели радиус дуги, равный 4 локтям (155 см). Под руководством Тихо было изготовлено также

несколько армиллярных сфер, причем в отличие от сфер «конструкции Гиппарха», «зодиакальные армиллы» Тихо состояли из четырех колец (ранее использовались пять или даже шесть), а «экваториальные армиллы» — из трех. Браге также создал «Большие экваториальные армиллы» с одним полным кольцом и одним полукольцом. Диаметр кольца, игравшего роль круга склонений, в одном из инструментов достигал 9 локтей (350 см). Неподвижное экваториальное полукольцо устанавливалось так, чтобы между ним и кольцом склонений был зазор (до 40 см), в котором мог свободно располагаться наблюдатель.

Заслуживает отдельного упоминания большой, диаметром 149 см, глобус, поверхность которого была покрыта тонкими листами латуни. На глобусе были нанесены пояс Зодиака, экватор и положения 1000 звезд, координаты которых были определены за годы наблюдений Тихо. Он с гордостью отмечал, что «глобус такого размера, так основательно и прекрасно сделанный, не был, я думаю, создан где бы то ни было и кем бы то ни было в мире...». Он утверждал также, что многие приезжали в Данию специально для того, чтобы посмотреть на этот глобус. Это подлинное чудо науки и искусства, увы, сгорело при пожаре во второй половине XVIII в.

Слава об обсерватории Ураниборг и ее создателе распространилась по всей Европе, и отовсюду к Тихо приезжали желающие стать его учениками и помощниками. Известно, что одновременно совместно с Тихо наблюдения проводили около 10 его учеников и помощников, не считая механиков и других специалистов. О стиле работы у него лучше всего рассказывает Ю. А. Белый: «Работать всем приходилось много. Выносливость самого Тихо, казалось, не знала пределов. Хотя целые ночи напролет он проводил в наблюдениях, днем его редко замечали спящим. Как руководитель работ, Тихо ... отличался требовательностью, доходившей до придирчивости, взыскательностью и строгостью. Он не знал мелочей в наблюдениях и требовал столь же исключительно внимательного и аккуратного отношения к работе и от своих учеников и ассистентов ... Относиться к работе плохо было просто невозможно. Дело в том, что аналогичные поручения давались сразу нескольким лицам, работавшим в разных помещениях и с различными инструментами. Полученные ими данные проверял и перепроверял сам Тихо ...» *).

*) Белый Ю. А. Тихо Браге. — М.: Наука, 1982, — С. 125.

Но «ничто не вечно под Луной». Новый король Дании Христиан IV был к Тихо менее благосклонен, к тому же война со Швецией требовала денег. У Тихо были отобраны поместья, доход от которых и обеспечивал бесперебойную работу обсерватории. К тому же на него посыпались доносы и жалобы. Его обвиняли, в частности, в том, что он в течение 18 лет уклонялся от святого причастия, что он сожительствует ... с собственной женой (его брак не был освящен церковью). В 1597 г. Тихо Браге покинул Данию (король Христиан в письме Браге писал: «... и не беспокойте нас тем, покинете ли вы страну или останетесь в ней») и после двухлетних странствий оказался в Праге под «покровительством» императора Рудольфа II, суеверного и увлекающегося астрологией главы «Священной Римской империи германской нации». Все складывалось как будто удачно: Браге был определен гарантированный годичный доход в 3000 гульденов, которого не имел ни один придворный (впрочем, вскоре казна оказалась пустой, как только речь зашла о выплате жалования ученому ...). В небольшом городке Бенатка (около 45 км от Праги) в замке Тихо устроил новую обсерваторию. В качестве помощника для обработки многолетних наблюдений у него начал свою работу Иоганн Кеплер. Однако 13 октября 1601 г. Тихо Браге серьезно заболел, а 24 октября в возрасте 55 лет он скончался. Как свидетельствовал Кеплер, в последние свои дни Тихо неоднократно шептал: «*Ne frustra vixisse videar!*» «Жизнь прожита не напрасно!».

На надгробной плите над могилой Тихо Браге в Тынском соборе в Праге высечен девиз, который ранее украшал вход в Стjerneборг: «*Non fasces nec opes sola artis sceptrum perennant*» — «Не власть и богатство, а искусство владеет скипетром всех времен». На месте же величественной астрономической обсерватории Ураниборг уже через несколько десятилетий посетители могли увидеть лишь яму, наполненную мусором ...

«Жизнь прожита не напрасно». Благодаря исключительно высокой точности изготовления измерительных приборов, некоторым ухищрениям при изготовлении визирных устройств и т. п. Тихо удалось повысить точность измерений примерно в 50 раз: во времена Коперника она составляла 10', средняя же погрешность при определении Тихо положений восьми опорных звезд с помощью стенного квадранта — 34,6", астрономического секстанта — 33,2". А это для дотелескопических астрономических инструментов бы-

ло близко к теоретически достижимому пределу. Приведем некоторые результаты многолетних наблюдений Тихо.

1. Измеряя высоту Солнца в меридиане в зимнее и летнее солнцестояние, он определил наклон эклиптики к экватору, получив значение $\varepsilon = 23^{\circ}31,5'$, что было, однако, на $2'$ больше истинного. Дело в том, что свои измерения высот Тихо исправлял за рефракцию и за параллакс Солнца. При этом, вслед за Аристархом Самосским и Птолемеем, он принял, что расстояние до Солнца в 19 раз превышает расстояние до Луны, и, следовательно, солнечный параллакс составляет $1/19$ лунного, т. е. он равен $3'$. По этому поводу Тихо писал так: «Эта величина кажется настолько детальным исследованием древних, что мы заимствовали ее с большой уверенностью». И — ошибся ...

Многолетние наблюдения позволили Браге определить эксцентриситет солнечной орбиты $e = 0,035\ 84$, долготу апогея $A = 95,5^{\circ}$ и изменение этой долготы $1^{\circ}15'$ в сто лет: $45''$ в год (истинное значение $61''$). Тихо составил таблицы движения Солнца, по которым его положение можно было определить с точностью в $1'$, тогда как в прежних таблицах погрешность достигала $20'$.

2. Изучая особенности движения Луны, Тихо установил, что наклон плоскости ее орбиты к эклиптике колеблется с амплитудой $9,5'$ относительно его среднего значения $5^{\circ}08'$, причем наибольший наклон соответствует моменту перехода Солнца через узел лунной орбиты. Оказалось также, что линия узлов колеблется вокруг ее среднего положения с периодом в 173,32 суток и амплитудой, по определению Тихо, $1^{\circ}46'$. Далее, кроме «первого неравенства» и эвекции, открытых Гиппархом и Птолемеем, Тихо обнаружил два новых неравенства — *вариацию* (неравенство, исчезающее в сизигиях и квадратурах и достигающее наибольшего значения между ними в октантах, с амплитудой $40,5'$ — на $1'$ больше его современного значения) и *годовое неравенство*: в своем движении весной Луна всегда отстает на $11'$, тогда как осенью на столько же уходит вперед (по Браге амплитуда этого явления составляет меньшее число, $4,5'$).

3. Тихо составил звездный каталог, в котором насчитывалось 788 звезд, причем с особой точностью он определил прямые восхождения и склонения 21 опорной звезды. Сравнение данных этого каталога с результатами предыдущих составителей, начиная от Гиппарха, позволило Тихо уточнить значение прецессии: $51''$ в год. Браге установил продолжительность тропического года с погрешностью меньше одной секунды.

4. Много внимания уделил Тихо Браге изучению комет, причем несколько из них он наблюдал первым. Результаты своих исследований он опубликовал во «Второй книге о недавних явлениях в небесном мире» (1588 г.). Здесь важное место заняло описание кометы, наблюдавшейся в конце 1577 — начале 1578 гг. Ее ядро с туманной оболочкой по блеску превосходило Венеру, а протяженность хвоста превышала 20° . Как и в случае с Новой 1572 г., в связи с появлением кометы во многих публикациях высказывались самые нелепые прогнозы, причем наблюдатели вслед за Аристотелем утверждали, что комета перемещалась между Землей и Луной, т. е. в верхних слоях земной атмосферы.

На основании проведенных с большой тщательностью измерений параллакс комет Тихо Браге в упомянутой книге мог вполне резонно заявить следующее: «... мне по этой появившейся теперь комете в результате прилежных наблюдений стало ясно, что ее место и путь находятся далеко за пределами лунной сферы ... Аристотелевский взгляд, что кометы поднимаются из Земли в воздух, является, следовательно, совершенно ложным ... Сторонники аристотелевской теории, которые ... не хотят признать, что в эфирной области среди небесных тел могут иметь место изменения или может появиться нечто новое, основывают эти учения и воззрения не на опыте, не на математических расчетах, но на subtilных рассуждениях, которые при этих обстоятельствах не могут так приблизиться к истине, как наблюдения с хорошими инструментами и высокое искусство триангуляции ...

Все сводится к одному и тому же: установить, как далеко удалена от нас комета, можно только по параллаксу, коль скоро она его имеет; именно, если она обладает бóльшим параллаксом, чем Луна, которая к нам ближе всего, то отсюда можно заключить, что она к нам еще ближе, чем лунная сфера. Я затратил много усилий, чтобы узнать как раз это ... и ... подтвердил, что ... ее горизонтальный параллакс не больше 15 минут ... На основе геометрических рассуждений и расчетов следует, что эта комета отстоит от Земли по крайней мере на 230 земных радиусов, или, если земной радиус составляет 860 немецких миль, на 200 тыс. немецких миль. Поскольку, однако, Луна при наибольшем приближении к Земле находится от нас на расстоянии 52 земных радиусов, или 50 тыс. немецких миль, то совершенно отчетливо видно и понятно, что эта комета находится далеко за Луной, в сфере Венеры, которая помещена астрономами прямо под

сферой Солнца и находится на расстоянии от 164 до 1104 земных радиусов от Земли».

Так Тихо убедительно доказал, что кометы являются такими же небесными телами, как Луна и планеты. Если к тому же прибавить его упомянутую выше работу о новой звезде 1572 г., то становится ясно, что его роль в разрушении основ аристотелевой картины мира огромна.

5. Крупнейшим вкладом в астрономию были проведенные Тихо Браге измерения положений Марса, осуществленные с точностью до 40" и охватывавшие около 20 лет непрерывных наблюдений, на протяжении которых Марс сделал более 10 оборотов вокруг Солнца. На основе этих наблюдений Тихо предполагал создать точную теорию движения планет. Это и сделал Кеплер в ближайшие двадцать лет после смерти Тихо Браге. При этом оказалось, что законы движения планет совершенно иные, чем их представлял себе Тихо в его модели мира ...

Модель мира по Тихо. На основании собственных наблюдений планет Тихо пришел к выводу, что система Птолемея и в самом деле не в состоянии их объяснить.

Тихо высоко ценил Коперника, портрет которого находился в его обсерватории на самом видном месте. Причин, почему Тихо все же не принял систему Коперника, было несколько. Как отметил Ю. А. Белый, термин «orbis» Коперник употреблял в смысле «небесных сфер», обращающихся вокруг Солнца вместе с находящимися на них планетами. Но наблюдения новой звезды 1572 г. и комет убедили Браге в том, что твердых «хрустальных» сфер на самом деле нет, иначе они препятствовали бы движениям комет ... Кроме того, Тихо, вслед за аристотелианцами, полагал, что если бы Земля двигалась, то падающее на нее тело не могло бы достигнуть поверхности по отвесной линии. Далее, Тихо Браге, принимая расстояние между Землей и Сатурном в 12 300 радиусов Земли (и ошибаясь примерно в 20 раз), утверждал, что расстояние от Сатурна до «сферы звезд» в 700 раз больше (и ошибался в сотни тысяч раз, даже если рассматривать расстояния до ближайших звезд). Дело в том, что в те времена предполагали, будто видимые угловые размеры ярчайших звезд равны двум минутам. По Тихо видимый угловой поперечник звезд первой звездной величины равен 120", второй — 90", третьей — 65", четвертой — 45", пятой — 30" и шестой — 20". Тихо не смог зарегистрировать годичное смещение звезд на небе в процессе предполагаемого Коперником движения Земли, и отсюда следовало, что радиус «сферы звезд» гораздо больше и что поэтому между звездами

и нашей планетой очень большая «пустота». Он писал: «Коперник допускал невероятное и бессмысленное расстояние. Во всем же должна быть гармония: Создатель любит порядок, а не беспорядочность. Такое пространство, лишенное звезд и планет, было бы ненужным». К тому же при больших расстояниях оказывалось, что если, скажем, «годовой путь Земли, рассматриваемый с неподвижных звезд, составляет по величине только одну минуту», то «неподвижные звезды третьей величины, видимый диаметр которых также равен минуте, должны были бы иметь размеры земной орбиты».

Конечно, кажущиеся видимые угловые диаметры звезд — всего лишь иллюзия, это явление обусловлено недостаточной разрешающей способностью глаза и атмосферной рефракцией. Но Тихо об этом не знал.

Ну, и наконец, определенную роль сыграло то, что модель мира, предложенная Коперником, противоречила авторитету Священного писания, в котором говорится о неподвижности Земли. С учетом всего сказанного Тихо Браге

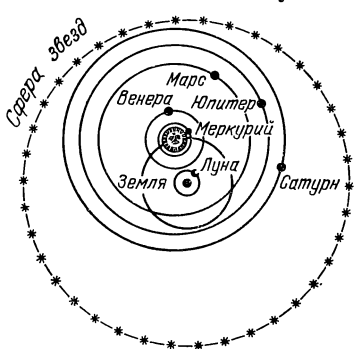


Рис. 42. Гео-гелиоцентрическая модель мира по Тихо Браге

и предложил свою модель строения мира (рис. 42), описанную в книге «О недавних явлениях в эфирной области» (1588 г., фактически опубликована в 1602 г.). Вот как о ней говорил Тихо:

«Я полагаю, что старое Птолемево расположение небесных сфер было недостаточно изящным и что допущение такого большого количества эпициклов, посредством которых объясняются видимые движения планет относительно Солнца,

их попятных движений и остановок, с некоторой частью видимых неравенств, следует считать излишним... Но я не одобряю также нововведений, предложенных Коперником ... Эта грубая масса Земли, так мало приспособленная к движению, не может, подобно небесным телам, перемещаться и двигаться. К тому же и Святое писание не дает оснований принять это учение. Поэтому я полагаю, что следует твердо и без всякого колебания поместить Землю неподвижно в центре мира, следуя мнению древних и свидетельству Святого писания. По моему мнению, небесные движения совершаются таким образом, что Солнце, Луна и сфера неподвижных звезд, замыкающая всю вселенную, имеют центром

Землю. Пять планет обращаются вокруг Солнца, как вокруг своего вождя и короля, а Солнце непрерывно пребывает среди этих небесных тел и в сопровождении их осуществляет свое годичное движение вокруг Земли».

В том же 1588 г. в Страсбурге вышла книга Николая Раймерса Бэра (Урсуса), в которой он описал аналогичную модель мира. Она отличалась от модели Тихо Браге тем, что согласно Бэру Земля к тому же вращалась вокруг своей оси, чем устранялась необходимость вращения «сферы звезд». Так как Бэр за четыре года до этого посещал Тихо, то в связи с этим возникла резкая полемика между Тихо и Бэром, которого Браге обвинил в плагиате...

Как сообщает Кеплер, Тихо Браге перед своей смертью просил его результаты многолетних наблюдений планет «проработать все согласно его собственной гипотезе». Однако исполнить эту просьбу Тихо Браге в буквальном понимании слова Кеплер не смог. Тихо в свое время задумал труд «Приготовление к обновленной астрономии». И созданное Кеплером подходило к этому названию как нельзя лучше, хотя выполнено было совершенно иначе...

ОН «ВЫМЕЛ ПАУТИНУ С НЕБА»

Коперник «сдвинул Землю» — поставил ее в один ряд с другими планетами. И все же его система мира еще оставалась загроможденной эксцентриками и эпициклами. Как сказал позже выдающийся английский физик Джеймс Клерк Максвелл (1831—1879), «необходимо было вымести эту паутину с неба». Эту нелегкую работу и выполнил «великий законодатель неба» Иоганн Кеплер на основании точных многолетних наблюдений Тихо Браге.

В слабом теле — могучий дух. «Он жил в эпоху, когда еще не было уверенности в существовании некоторой общей закономерности для всех явлений природы. Какой глубокой была у него вера в такую закономерность, если, работая в одиночестве, никем не поддерживаемый и непонятый, он на протяжении многих десятков лет черпал в ней силы для трудного и кропотливого эмпирического исследования движения планет и математических законов этого движения!». Так писал А. Эйнштейн о выдающемся немецком ученом Иоганне Кеплере, ученом, подготовившем для Ньютона почву для открытия закона всемирного тяготения.

Иоганн Кеплер родился 27 декабря 1571 г. в небольшом городке Вейль недалеко от Штутгарта. Его детские годы прошли в гнетущей бедности, на фоне грубых ссор родите-

лей — солдата-наемника и неграмотной дочери сельского трактирщика. Вот что он писал о своих родителях: «... мой отец ... Человек злобный, непреклонный, сварливый ... 1589 ... оставив мать тяжело больной, он исчез из дому окончательно», мать была «низкого роста, смугла, болтлива и сварлива, с тяжелым характером» ... В пятилетнем возрасте Иоганн заболел оспой, на коже у него на всю жизнь остались незаживающие язвы. Из-за болезни печени и желудка он вынужден был все время соблюдать диету, его часто терзала лихорадка, мучили сильные приступы головной боли. У него была врожденная близорукость и так называемая монокулярная полиопия — болезнь, при которой, глядя на определенный объект (например на Луну), он видел не одно, а несколько его изображений. Поэтому, как справедливо отметил Ю. А. Белый, «нельзя не удивляться поразительной силе духа, таившегося в этом слабом теле, которая наперекор физическим страданиям и ... крайне неблагоприятным условиям жизни и творческой деятельности позволила Кеплеру выполнить совершенно необычную по размаху работу и добиться столь выдающихся научных достижений» *).

Уже в начальной школе Кеплер проявил незаурядные способности и получил возможность продолжать учебу: вначале в протестантской духовной семинарии, а с 1589 г. — в Тюбингенском университете, благодаря выплачиваемой властями города Вейля стипендии. Здесь под влиянием профессора математики и астрономии Михаила Мёстлина Кеплер увлекся астрономией, о чем он позже писал так: «Уже к тому времени, когда я внимательно следовал в Тюбингене преподаванию знаменитого Мёстлина, я ощутил, насколько несовершенно со многих точек зрения употребительное до сих пор представление о строении мира. Поэтому я был так сильно восхищен Коперником, о котором мой учитель очень часто упоминал на своих лекциях, что не только часто защищал его взгляды в студенческих диспутах, но и сам тщательно подготовил диспут на тему, что первое движение (вращение небесной сферы неподвижных звезд) происходит от вращения Земли... я постепенно, отчасти из лекций Мёстлина, отчасти из собственных соображений, собирал все достоинства, которыми Коперник превосходит Птолемея с математической точки зрения».

Через два года Кеплер сдал магистерский экзамен и начал учебу на теологическом факультете. Однако в 1594 г. за несколько месяцев до окончания полного курса сенат

*) *Белый Ю. А.* Иоганн Кеплер. — М.: Наука, 1971. — С. 19.

университета решил послать его как лучшего математика в г. Грац (Австрия) на вакантную должность учителя гимназии. Кеплер принял это решение крайне неохотно. В одном из писем Мёстлину он писал: «Я хотел стать теологом и долго пребывал в мучительном беспокойстве. Теперь я, однако, вижу, что при усердии могу прославить Бога и в астрономии». В обязанности Кеплера в Граце входило, кроме чтения лекций по математике, составление календарей; их он здесь составил шесть. Условия для научной работы были крайне плохими. Как заметил один из его высокопоставленных друзей, обстановка в провинции была малоблагоприятной, «знать проявляла поразительное невежество во всем, обладала варварской точкой зрения в своих суждениях, ненавидела науку и ничем меньше не интересовалась, чем учеными»... По поводу составления календарей и предсказаний в них астрологического характера Кеплер в одном из писем писал так: «Если я сочиняю календари и альманахи, то это, без сомнения, — прости мне, Господи, — великое рабство, но оно в настоящее время необходимо. Избави я себя хоть на короткое время от этого — мне пришлось бы идти в рабство еще более унижительное. Лучше издавать альманахи с предсказаниями, чем просить милостыню. Астрология — дочь астрономии, хоть и незаконная, и разве не естественно, чтобы дочь кормила свою мать, которая иначе могла бы умереть с голоду»... В таких условиях и появилась первая книга Кеплера — «Предвестник космографических исследований, содержащий космографическую тайну об удивительном соотношении пропорциональности небесных сфер, о причине числа небес, их величинах, о периодических их движениях, общих и частичных, объясненную при помощи пяти правильных геометрических тел» (Тюбинген, 1596 г.).

В апреле 1597 г. Кеплер женился на Барбаре Мюллер, дочери мельника, которую в дальнейшем, по-видимому, шокировало низкое общественное положение ее мужа, в его делах она ничего не понимала и не хотела понимать. Родившийся в феврале 1598 г. сын Генрих умер через два месяца от менингита, от той же болезни год спустя в возрасте одного месяца умерла дочь Сусанна. Начались преследования протестантов, и Кеплер вместе с семьей был вынужден искать пристанища в другом месте. И тут-то он получил приглашение Тихо Браге, который, познакомившись с «Космографическим вестником», понял, что именно Кеплер с его незаурядным математическим дарованием может превратить долгие ряды наблюдений в стройную теорию.

В начале 1600 г. Кеплер прибыл в Бенатек. Здесь Браге поручил ему обработку наблюдений Марса. Воодушевившись, Кеплер посчитал, что сможет решить проблему Марса за восемь дней, но... смог «укротить» его лишь через восемь лет. Впрочем, кто знает, как бы сложились отношения между двумя великими астрономами, — ведь они начали ссориться буквально сразу после приезда Кеплера к Тихо (со своими помощниками Тихо держал себя высокомерно, а Кеплер был так раздражителен ...), но в октябре 1601 г. Тихо Браге умер. Кеплеру было присвоено звание «императорского математика» и установлена плата 500 гульденов в год (у Браге она составляла 3000 гульденов). Но за все 20 лет своей службы Кеплер получил всего $\frac{3}{4}$ одного годовичного заработка. Жил он со своей семьей в тяжелой бедности, зарабатывая на хлеб преподаванием математики, составлением календарей и гороскопов. В таких условиях он закладывал фундамент современной астрономии.

Кеплер прожил в Праге с 1600 по 1612 гг. После отречения от короны его «покровителя» императора Рудольфа II (1611 г.) положение Кеплера ухудшилось. Он предпринял попытку занять кафедру математики в Тюбингенском университете. Но консистория лютеран отказала ему на том основании, что он в свое время не согласился подписать так называемую «формулу согласия» — своеобразный кодекс лютеранства. В том же 1611 г., в феврале, умер от оспы его восьмилетний сын Фридрих, а в июле жена Барбара. В апреле 1612 г. Кеплер переезжает в г. Линц — столицу Верхней Австрии. Здесь главным его заданием было составление таблиц планетных движений — «Рудольфинских таблиц». В Линце его снова принуждают подписать «формулу согласия». Кеплер соглашается сделать это с оговоркой, что он не верит, будто в момент причастия Христос каким-то образом присутствует в хлебе и вине. В итоге Кеплер был исключен из лютеранской общины и его положение ухудшилось еще больше.

Невольно вспоминается, что подобная ситуация уже была десять лет назад. Он не согласился перейти в католическое вероисповедание, несмотря на то, что в этом случае обеспечил бы себе выгодное положение и благополучие. А ведь речь идет о человеке, который говорил о себе, что «он действительно набожен до суеверия»!

В Линце Кеплер женился вторично на Сусанне Рейттингер, сироте и бесприданнице, дочери столяра. И хотя с точки зрения линцкого «общества» этот брак выглядел скандальным мезальянсом, Сусанна оказалась под стать своему

мужу. Она с достоинством переносила все невзгоды и бедствия, и далее преследовавшие Кеплера, поддерживала его в трудный час. А бед было немало. Из семерых детей трое умерли в раннем детстве. В течение четырех лет он вел тяжелую борьбу против обвинения его матери в «колдовстве». В 1626 г. толпа окружила дом «еретика» в Линце, угрожая Кеплеру самосудом ...

И вот Кеплер снова в Праге в поисках покровителя. И снова, в который уже раз, судьба искушает его. Стоило ему перейти в католицизм, и император Фердинанд обеспечил бы ему будущее. Но Кеплер этого не сделал. Ему удалось получить место у императорского военачальника Альбрехта Валленштейна, который хотел иметь «домашнего астролога». Так Кеплер в 1628 г. оказался в небольшом городке с 4000 жителей Сагане (теперь ПНР). Осенью 1630 г. Кеплер, чтобы попытаться получить жалованье, которое не выплачивалось ему в течение многих лет, отправился верхом в г. Регенсбург, где Фердинанд II собрал германских князей. Вскоре после приезда в Регенсбург Кеплер тяжело заболел лихорадкой, болезнь быстро прогрессировала, и 15 ноября 1630 г., на 59-м году жизни, он скончался. На могиле Кеплера был установлен камень с надписью, заканчивавшейся его словами:

«Я небеса измерял; ныне тени Земли измеряю.
Дух на небе мой жил; здесь же тень тела лежит».

Но вскоре, за годы Тридцатилетней войны (1618—1648), кладбище было разрушено, никаких следов не осталось и от могилы Кеплера. Несчастья преследовали его и после смерти ... Его жена и четверо маленьких детей (старшей дочери было девять лет, а самой младшей — семь месяцев) остались без каких бы то ни было средств к существованию. Заботы о них взял на себя зять Кеплера (муж Сусанны, дочери от первого брака) Якоб Барч. Но тот три года спустя умер от чумы. В 1634 г. умерли сыновья Кеплера — 10-летний Гильдеберт и 12-летний Фридмар, а в 1636 г. и их мать. Судьба дочерей Кеплера Кордулы и Анны Марии неизвестна.

Такова печальная и трудная жизнь Кеплера и его близких, Кеплера, который в сочинении «О себе» писал так: «Даже непродолжительное время, проведенное без пользы, причиняет ему страдание..., он непрестанно испытывает раскаяние по поводу упущенного времени», и «то, к чему он стремится, прекрасно, и в большинстве случаев ему удавалось постичь истину».

Перелистаем же еще раз страницы жизни неутомимого труженика и великого законодателя неба ...

«Космический кубок» Кеплера. На протяжении первого года пребывания в Граце Кеплер потратил много времени на осмысливание таких проблем: почему планет всего шесть и почему расстояния между ними именно такие, какие установил Коперник, а не другие? Говоря словами Ю. А. Белого, «будучи уверенным в существовании мудрого промысла божьего, он думает, что при сотворении мира бог должен был исходить из простых числовых свойств и соотношений, использовать совершенные геометрические формы».

В «Предвестнике космографических исследований» Кеплер и стремится дать ответы на указанные выше вопросы. В предисловии он пишет: «Я затратил много времени на эту задачу, на эту игру с числами, но не смог найти никакого порядка ни в численных соотношениях, ни в отклонениях от них». Но, как писал он далее, ему случайно удалось обнаружить, что радиус окружности, описанной вокруг равностороннего треугольника, вдвое больше радиуса окружности, вписанной в этот треугольник. И здесь Кеплера озарила мысль: ведь примерно таково же соотношение между радиусами круговых орбит Сатурна и Юпитера (по Копернику $r_S : r_J = 8,2 : 5,2$). Но, вписывая между орбитами Юпитера и Марса квадрат, между орбитами Марса и Земли — пятиугольник и т. д., Кеплер убедился, что здесь расхождения с данными Коперника еще больше.

«И вот я снова устремился вперед. Зачем рассматривать фигуры двух измерений для пригонки орбит в пространстве? Следует рассмотреть формы трех измерений, и вот, дорогой читатель, теперь мое открытие в Ваших руках!».

Как известно (и об этом знали уже древние греки), в пространстве трех измерений может быть лишь пять правильных выпуклых многогранников, у которых все грани являются правильными и равными между собой многоугольниками и все двугранные углы которых равны между собой. Это тетраэдр (четыре треугольные грани — правильная пирамида с равносторонним треугольным основанием), куб или гексаэдр (шесть граней-квадратов), октаэдр (восьмигранник, грани которого — равносторонние треугольники), додекаэдр (двенадцатигранник с гранями в виде равносторонних пятиугольников) и икосаэдр (двадцатигранник, грани которого — равносторонние треугольники). Поверхность описанного шара (сферы) проходит через вершины такого многогранника, а поверхность вписанного касается центра каждой грани, причем центры обеих сфер совпадают.

Так вот почему, «догадался» Кеплер, планет лишь шесть! Ведь в природе могут существовать всего лишь пять правильных выпуклых многогранников! И он устанавливает между орбитами планет по одному многограннику: между Сатурном и Юпитером куб, между Юпитером и Марсом тетраэдр, между Марсом и Землей додекаэдр, между Землей и Венерой икосаэдр, между Венерой и Меркурием октаэдр. Далее Кеплер рассчитывает радиусы вписанных и описанных сфер, которые оказались довольно близкими к установленным Коперником расстояниям планет от Солнца.

Чтобы устранить расхождение своих результатов с данными Коперника, Кеплер допустил, что каждая из планетных сфер имеет определенную «толщину». Здесь же он говорит: «Аналогично как источник света размещен в Солнце, сама первопричина движения также находится в том месте, которое занимает Солнце, причем, несомненно, в его центре, и, таким образом, Солнце одновременно является вместилищем жизни, движения и световой души».

Как отмечает Ю. А. Белый, уже во введении и первой главе Кеплер проявляет себя как восторженный сторонник учения Коперника, а «Космографическая тайна» была первым недвусмысленным публичным выступлением профессионального астронома в защиту коперниканства, началом его триумфального распространения. Огромное значение имело и то обстоятельство, что в приложении к книге Кеплер поместил «Первое повествование о книгах вращений Николая Коперника» Ретика, которое во времена Кеплера уже было редкостью. Тем самым уже первая книга Кеплера сыграла важную роль в пропаганде гелиоцентрического мировоззрения. А ведь очень многие ученые в то время были крайне осторожными! Так, Галилео Галилей, получив от Кеплера «Космографическую тайну», написал ему в ответ, что не решается публиковать имевшиеся в то время у него доказательства правильности учения Коперника, «чтобы не вызвать потока насмешек над нашим учителем». Кеплер тут же продемонстрировал ему свою решительность: «Решайтесь, выступим одновременно. Дружными усилиями мы сдвинем этот экипаж. Своими доказательствами Вы можете тем из наших сторонников, которые теперь еще придерживаются неправильных суждений. Я думаю, что очень немногие из знаменитых математиков Европы будут против нас, так как могущество истины велико». Увы, кроме математиков, в Европе были еще и философы, были и теологи, многие из которых думали так же, как и Маттиас Гафенреффер, главный теолог и ректор Тюбингенского уни-

верситета. Это он настойчиво предостерегал Кеплера не помещать в свою книгу главу о совместимости коперниканской системы с Библией; следует, мол, «выступать при изложении подобных гипотез лишь в качестве чистого математика, который не должен беспокоиться, соответствуют ли эти учения сотворенным вещам или нет». И далее едва ли не главный аргумент: «Ни с чем, однако, не сообразно, чтобы действительность незамедлительно приспособлялась к придуманным каждым магистром гипотезам»...

Кеплер, однако, смело пошел вперед ...

«Новая астрономия». После публикации «Космографической тайны» Кеплер продолжал поиски числовых соотношений, которыми описывается движение планет вокруг Солнца, надеясь установить связь между ними и законами музыкальной гармонии пифагорейцев. Он понимал, что для успеха ему нужны данные многолетних наблюдений планет, и знал, что единственным в мире человеком, который располагал такими данными, был Тихо Браге. В письме Мёстлину Кеплер писал: «Пусть все хранят тишину и прислушиваются к Тихо, который посвятил 35 лет жизни своей обсерватории ... Я жду только Тихо. Он растолкует мне порядок и размещение орбит. Тогда надеюсь, если Бог продлит мне жизнь, что однажды я сооружу чудесное здание». И далее: «Тихо ... обладает несметными сокровищами, но он не знает, как их следует употреблять, как это бывает у очень богатых людей. Следовательно, кто-то должен попытаться силой вырвать эти богатства у него».

Стечением обстоятельств Браге в поисках пристанища оказался в Праге, такая же трудная судьба привела к нему Кеплера. Так, скажем его словами, материал для возведения нового здания попал в руки умелого архитектора, который и использовал все это для своего замысла ...

Но сначала несколько слов о крупном вкладе Кеплера в исследование законов геометрической и физиологической оптики, изложенном им в двух его фундаментальных книгах — «Дополнения к Виттелию, в которых излагается оптическая часть астрономии» (1604 г.) и «Диоптрика, или доказательство того, как становится видимым изображение с помощью недавно изобретенной зрительной трубы» (1611 г.). В первой книге Кеплер, в частности, доказал, что интенсивность света обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света, указал на существование солнечной короны (как протяженной атмосферы Солнца; впрочем, само явление короны, наблюдающееся при затмении, по его мнению, могло быть и результатом наличия атмосферы у Луны).

Кеплер открыл явление полного внутреннего отражения, описал анатомическое строение глаза, действие очковых линз и за несколько лет до построения первых телескопов дал их математическое обоснование. В «Диоптрике» он предложил при построении телескопов использовать комбинацию двух двояковыпуклых линз. Тем самым значительно увеличивалось поле зрения, причем в отличие от телескопа Галилея (см. начало раздела «А все-таки она движется!»)

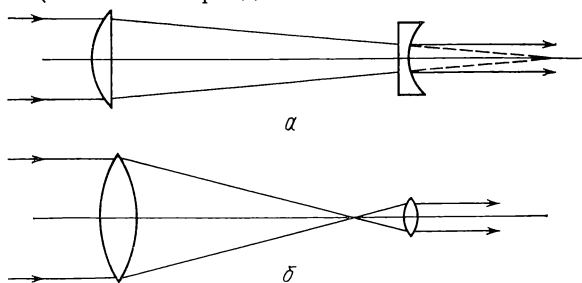


Рис. 43. Схемы телескопов Галилея (а) и Кеплера (б)

по всему полю зрения объекты были видны одинаково ясно и четко (рис. 43). Первый телескоп такой системы был построен Христофором Шейнером (1575—1650), немецким математиком и астрономом, уже в 1613 г., а к 1640 г. «кеплерова труба» вытеснила все прежние системы телескопов.

В 1609 г. была опубликована «Новая астрономия, причинно обоснованная, или физика неба, изложенная в исследованиях движения планеты Марс по наблюдениям благороднейшего мужа Тихо Браге». В ней Кеплер дал вывод первых двух законов движения планет, названных впоследствии его именем. В современной формулировке они звучат так:

I. Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находится Солнце.

II. Площади, описываемые радиусами-векторами планет, пропорциональны времени.

В предисловии к «Новой астрономии» Кеплер объяснил, почему он в своей книге решил подробно рассказать об успехах и неудачах, которые сопровождали его в работе: «Для меня важно не просто сообщить читателю, что я должен сказать, но прежде всего ознакомить его с доводами, оговорками, счастливо преодоленными опасностями, которые привели меня к моим открытиям. Когда Христофор Колумб, Магеллан и португальцы ... повествуют, как они сбивались с пути и блуждали в своих путешествиях, мы

не только прощаем им это, но, более того, мы не желаем пропуска этих рассказов, так как тогда при чтении было бы потеряно впечатление о всем значительном в их предприятиях. Пусть же поэтому и мне не поставят в вину, когда я, вызывая у читателя интерес, пойду подобным путем в своем изложении». И дальше шаг за шагом Кеплер показывает, как он начинал свои вычисления, применял эпициклы, и в итоге пришел к установлению законов движения планет.

Кеплер четко осознавал: «Только Марс предоставляет нам возможность проникнуть в тайны астрономии, которые иначе оставались бы навсегда скрытыми от нас». Однако, упоминая предыдущих исследователей, он отмечает, что «Марс смеялся над их ухищрениями, расстраивал их замыслы и безжалостно разрушал их надежды... Древние жаловались на это не один раз, а неутомимый исследователь тайн природы, знаменитейший из латинян Плиний объявил борьбу с Марсом непосильною для смертных».

Приступая к работе, Кеплер четко представлял себе, что движение планет происходит вследствие воздействия на них некоей силы, исходящей от Солнца. Поэтому плоскости планетных орбит должны проходить через центр Солнца (Коперник же полагал, что плоскость орбиты Марса колеблется в пространстве, хотя, конечно, физической причины этого явления указать не мог). А, главное, если движением планеты управляет Солнце, то его сила действует на планету более интенсивно, когда она находится ближе к источнику, и наоборот. Таким образом, скорость планеты будет различной в зависимости от расстояния до Солнца.

Полагая орбиту Марса круговой, Кеплер (в соответствии с представлениями Птолемея об эксцентре и «уравнивающей» точке) поставил перед собой задачу найти: 1) радиус орбиты, 2) расстояние Солнца от центра орбиты, 3) расстояние «уравнивающей точки» (экванта) от центра орбиты (Кеплер решил проверить правильность утверждения Птолемея, что расстояния между центром орбиты и эквантом и от центра орбиты до Солнца одинаковы), а также 4) направление линии апсид по отношению к неподвижным звездам. Для определения четырех неизвестных величин были взяты данные Тихо Браге о четырех противостояниях Марса: в 1587, 1591, 1593 и 1595 гг. Решение находилось методом последовательных приближений, выполненных Кеплером на 900 листах мелким почерком ...

В результате утомительных вычислений Кеплер установил, что полный эксцентриситет орбиты Марса равен 0,18564 долям радиуса, причем Солнце отстоит от центра

на 0,11332, а эквант — на 0,07232 доли радиуса. Рассчитывая на этой основе положения Марса для других противостояний, Кеплер получил расхождения, меньшие $2'$. Это была точность наблюдений Тихо, погрешность которых была так велика из-за значительного диаметра Марса, неудовлетворительного знания параллакса и рефракции. Казалось бы — все хорошо!

Однако как только Кеплер начал вычислять промежуточные положения Марса и сопоставлять их с наблюдениями, то обнаружил, что расхождения достигают $8'$. Чтобы по достоинству оценить эту величину, вспомним, что точность наблюдений во времена от Птолемея до Коперника не была выше $10'$, а поэтому оба создателя систем мира могли бы этим расхождением вообще пренебречь. Но Кеплер пишет, что «нам же, благодаря милосердию божью, дан в лице Тихо Браге такой добросовестный наблюдатель, что в его наблюдениях ошибка в $8'$, характерная для птолемея вычисления, попадаетея лишь для того, чтобы мы с благодарностью оценили эту милость и воспользовались ею. Наконец, это затруднение дает нам возможность найти истинный вид небесных движений... Таким образом, эти $8'$ указали путь к обновлению всей астрономии, они явились материалом для большей части данной работы». В итоге «здание, которое мы возвели на фундаменте наблюдений Тихо, мы снова разрушили ... Это было нам наказанием за следование таким правдоподобным, но в действительности ложным аксиомам великих авторитетов прошлого»...

После этого Кеплер решил отказаться от представления о том, что орбитой Марса является окружность, и решил прежде всего исследовать орбиту самой Земли, на которой находится наблюдатель. Но как это сделать? Где взять ориентир, который дал бы возможность определять положение Земли относительно Солнца?

Решение Кеплера было гениально простым: этим ориентиром будет сам Марс! Ведь через каждые 687 суток ($=T$ — сидерическому периоду обращения планеты) он возвращается в ту же самую точку своей орбиты, через каждые 687 суток его расстояние от Солнца (независимо от того, какой является его орбита!) будет таким же. Что же касается Земли, то за эти 687 суток ей не хватит 43,5 суток для того, чтобы осуществить два полных оборота вокруг Солнца. Поэтому, если в начальный момент t_0 Солнце, Земля и Марс находились на одной прямой, то к моменту $t_0 + T$ Земля отстанет от Марса на угол $\alpha_1 \approx 43^\circ$, к моменту времени $t + 2T$ — на угол $\alpha_2 \approx 86^\circ$ и т. д. (рис. 44). Точное значение угла α_n

можно установить после того как будет измерено угловое расстояние Марса от Солнца в момент $t_0 + nT$. Так задача была сведена к решению треугольников «Земля — Солнце — Марс», в которых расстояние Солнце — Марс одинаково. Сопоставляя вычисленные углы α_n с наблюдениями, Кеплер определил, что эксцентриситет земной орбиты равен

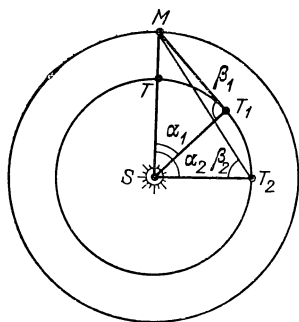


Рис. 44. К определению Кеплером эксцентриситета земной орбиты

0,01837 и что Земля движется по ней быстрее тогда, когда она ближе к Солнцу (в перигелии). А это, в свою очередь, дало возможность более тщательно исследовать и орбиту Марса. Кеплер установил, что наибольшее расстояние Марса от Солнца (в радиусах земной орбиты) равно 1,6678, а наименьшее 1,3850. Поскольку же при этом среднее расстояние планеты от Солнца равно 1,5264, отсюда следует, что эксцентриситет орбиты Марса равен 0,0926, т. е. он ровно вдвое меньше най-

денного раньше расстояния «Солнце — эквант».

Далее, сопоставляя значения скорости движения Земли в афелии и перигелии, Кеплер пришел к выводу, что эта скорость обратно пропорциональна расстоянию Земли от Солнца. Он предположил, что это справедливо при любом положении Земли на ее орбите, для любого момента времени t , и составил формулы, по которым можно было рассчитать положение Земли на ее орбите в различные моменты времени.

После этого Кеплер разделил орбиту Земли на 360 частей так, что моментам времени $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, \dots, t_{360}$ соответствовали положения Земли на орбите $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n, \dots, T_{360}$. При этом время, необходимое для прохождения планетой определенного отрезка дуги ее орбиты, обратно пропорционально скорости и прямо пропорционально расстоянию планеты от Солнца. Поэтому, чтобы определить время, на протяжении которого планета описывает большую дугу, следует сложить все промежуточные расстояния «планета — Солнце». Так Кеплер нашел, что $t_m - t_i \sim a_i + a_k + a_l + a_m$, где a_i — упомянутое расстояние в момент времени t_i . Оказалось, что эта зависимость не зависит от того, на каком участке орбиты производится сравнение. Иначе говоря, эта сумма постоянна, одна и та же для всех участ-

ков орбиты, пройденных планетой за одинаковые промежутки времени.

Вспомнив далее, как Архимед, определяя площадь круга, разбивал его на бесконечно большое число треугольников, Кеплер переходит от суммы расстояний к площади сектора, описанной радиус-вектором планеты. «Следовательно, — пишет он, — площадь, описываемая отрезком Солнце — планета, является мерой времени, необходимого для прохождения планетой соответственной дуги орбиты». Это и есть *второй закон Кеплера*, открытый им раньше первого.

Одного этого закона, однако, оказалось недостаточно для того, чтобы делать прогнозы будущих положений планеты на орбите. Необходимо было установить еще и форму самой орбиты. И Кеплер снова погружается в вычисления. Из них следовало, что в точках между афелием и перигелием Марс находится ближе к Солнцу, чем это могло быть в случае круговой орбиты.

Какова же все-таки эта орбита? Овал? Или овоид (замкнутая яйцевидная кривая)? В лихорадочных поисках Кеплер отбрасывает один вариант за другим. По его словам, «раздумывая и размышляя, я чуть не сошел с ума». И вот: «Правда лежит между окружностью и овалом, как будто орбита Марса есть точный эллипс». Но, поместив Солнце в центре эллипса, он пришел к выводу, что это противоречит установленному им закону площадей.

Продолжая поиск, Кеплер наконец заметил, что боковая сплюснутость орбиты — разность между радиусом окружности и меньшей полуосью овала — равна 0,00429. А это точно равно половине квадрата эксцентриситета, определенного им ранее ($0,0926^2 = 0,00857$). Но именно такими и должны быть соотношения для эллипса (если a и b — соответственно большая и малая полуоси, то $b = a\sqrt{1-e^2}$ и при $e \ll 1$ имеем $b = a(1-e^2)^{1/2} \approx a\left(1 - \frac{1}{2}e^2\right)$, а также $\frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{2}e^2$). Еще вычисления — и орбита планеты найдена! Кеплер делает вывод, что Солнце находится не в центре, а в фокусе эллиптической орбиты, по которой движется планета. Так он, «не прекращая ощупывать все места окружающей тьмы, вышел, наконец, на яркий свет истины»...

Одновременно Кеплер установил, что орбита Марса наклонена к плоскости эклиптики под углом $1^\circ 50'$. В 1614 г. он проверяет справедливость найденных им законов движения планет для Венеры, а через год и для Меркурия. В резуль-

тате не менее изнурительных расчетов он определил параметры орбит для всех известных тогда планет.

«Гармония мира». В 1619 г. вышла из печати книга Кеплера «Гармонии Мира пять книг», в которой был выведен третий его закон. Сначала в ней речь идет о правильных многоугольниках, т. е. о «Правильных фигурах, производящих гармонические пропорции», о «Конгруэнции гармонических фигур», о «Происхождении гармонических пропорций». Пятая же часть книги имеет название «Совершеннейшая гармония в небесных движениях и касающееся ее происхождение эксцентриситетов, радиусов орбит и времен обращения». Начинается она словами:

«То, что я предположил уже 22 года назад еще до того, как я нашел пять основных систем небесных орбит; в чем я сам полностью был убежден еще до того, как прочитал «Гармонию» Птолемея; о чем я писал своим друзьям еще до того, как получил полную уверенность в своей правоте; о чем 16 лет назад я писал как об исследуемой проблеме; чему я посвятил значительную часть своей жизни путем проведения астрономических исследований, что заставило меня разыскать Тихо Браге и избрать местом жительства Прагу,— то я, наконец, осуществил, и мне удалось сформулировать это лучше, чем я когда-либо надеялся. Этим я нашел наличие гармонии как в связях, так и в частностях. Свою задачу я осуществил не тем путем, который казался мне правильным, а совершенно отличным путем, чрезвычайно совершенным и для этого дела пригодным».

И дальше: «До сих пор мы говорили о различных промежутках времени и [проходимых за это время] дугах для одной и той же планеты. Теперь же должна пойти речь о движениях двух планет, сравниваемых друг с другом. Итак, здесь предстоит довершить и ввести сюда некоторую часть моей «Космографической тайны», оставленную нерешенной 22 года тому назад, так как тогда дело еще не было ясно для меня. И вот, после того, как непрерывным трудом весьма долгого времени были из наблюдений Браге найдены верные промежутки орбит, наконец-то, наконец-то, подлинная пропорция между периодами и размерами орбит

... хоть и поздно, заметила бездейственного,
заметила все-таки и пришла после продолжительного времени ...

... она наконец победила слепоту моего ума; это было столь великой наградой и моей семнадцатилетней работы над наблюдением Браге, и направленного согласно с нею размыш-

ления, что я сперва готов был думать, будто сплю и предвосхищаю искомое среди данных. Но в высшей степени верно и точно, что *отношение между периодами обращения каких-нибудь двух планет как раз равняется полуторной степени отношения их средних расстояний, т. е. радиусов орбит ...*».

Сегодня для нас более привычна такая формулировка этого закона:

III. Квадраты сидерических периодов обращения планет вокруг Солнца относятся между собой, как кубы их средних расстояний от него.

«Очерки коперниканской астрономии». Три части, в 1618, 1620 и 1621 гг. (всего около 1000 страниц текста), вышла книга Кеплера «*Epitomae Astronomiae Copernicanae*», т. е. «Очерки (точнее — сокращения) коперниканской астрономии». Это был первый учебник по астрономии, написанный в форме вопросов и ответов, который основывался на совершенно новых принципах. В «Очерках» центральное место в планетной системе заняло Солнце, планеты же обращаются вокруг него по эллиптическим орбитам. Здесь «наш мир с его Солнцем является одним из неисчислимых миров». Млечный Путь — это кольцо звезд, вблизи плоскости которого расположено Солнце с планетами. Законы движения планет используются для описания обращения Луны вокруг Земли. Кеплер также применяет свой третий закон при описании недавно открытых Галилеем четырех спутников Юпитера.

В «Очерках» Кеплер произвел переоценку расстояния от Земли до Солнца, которое на протяжении 1800 лет, со времен Гиппарха принималось равным 1200 радиусам Земли. Ход рассуждений Кеплера был таков: если указанное расстояние правильно, то суточный параллакс Солнца должен составлять около 3'. Марс же в противостояниях бывает в 2,5 раза ближе, чем Солнце, поэтому и его параллакс должен быть соответственно больше. Но никакого параллакса у Марса Кеплеру измерить не удалось. Отсюда следовало, что и Марс, и Солнце находятся от Земли значительно дальше. И здесь Кеплер исходил из представлений о гармонии, присущей Солнечной системе: дескать, если Земля представляет собой убежище измеряющих существ, то есть основание ожидать, что размеры Солнечной системы находятся в некотором простом соотношении с размерами Земли. Кеплер принял, что объем Солнца во столько раз больше объема Земли, во сколько раз его расстояние превосходит земной радиус. Полученное Кеплером значение астрономической

единицы было более близким к истинному значению, чем предыдущие оценки, но все же примерно в семь раз меньше его. Кеплер принимал, что параллакс Солнца равен $0'59''$, а параллакс Луны $58'21''$. Следовательно, расстояние до Солнца в 59 раз больше, чем до Луны, а та, в свою очередь, «в апогее удалена от Земли примерно на 59 земных радиусов». Кеплер принимает, что 1° дуги большего круга равен 15 германским милям, тогда полная дуга большого круга на поверхности Земли равна 5400 милям, радиус Земли — 860 милям и расстояние до Луны — $50\,740$ милям = $376\,490,8$ км (1 германская миля = $7,42$ км).

Далее Кеплер «априори вывел», что «радиус Солнца относится к радиусу сферы Сатурна так же, как последний — к радиусу сферы неподвижных звезд. Если это предположение верно, то радиус сферы Сатурна составляет лишь $1/2000$ радиуса сферы неподвижных звезд, радиус сферы, содержащей Землю и Луну, достигает едва $1/20\,000$ радиуса сферы неподвижных звезд», а «радиус лунной сферы равен $1/59$ радиуса сферы, содержащей Землю и Луну». Следовательно, расстояние от Земли до неподвижных звезд по Кеплеру равно $20\,000$ астрономических единиц или примерно 70 млн радиусов Земли.

В «Очерках» Кеплер подробно изложил теорию солнечных и лунных затмений. Явление приливов он объяснил притяжением Луны. Кеплер поставил также вопрос о физической причине планетных движений, повторяя высказанные ранее в «Новой астрономии» взгляды, что тяготение является свойством всех тел одинакового типа. Планеты как бы разделяют с Солнцем его собственное вращение. От Солнца до планет простирается определенная «движущая сила», подобная лучам света и тепла, которая и втягивает планету в движение вокруг Солнца. «Действует конфликт между движущей силой Солнца и бессилием или материальной несуразностью (инерцией) планеты. Оба эти начала в определенном отношении одерживают победу, ибо первое сдвигает планету с ее места, а второе частично освобождает тело планеты от связывающих ее оков ..., но лишь до того момента, когда она снова подхватывается этой вращающей силой». Действие же «движущей души» Солнца направлено не вдоль прямой «Солнце — планета», а перпендикулярно ей. Чтобы объяснить движение планет по эллиптическим орбитам, Кеплер считал, что все планеты являются магнитами, силы которых, то отталкивающие, то притягивающие, складываются с действием Солнца (рис. 45).

В 1627 г. вышли из печати «Рудольфинские таблицы»,

которые на протяжении почти 100 лет использовались для предвычислений положений Солнца, Луны и планет и были настольной книгой астрономов и мореплавателей. В ней приводился также каталог 1005 звезд, в основу которого был положен каталог из 777 звезд, составленный Тихо Бра-

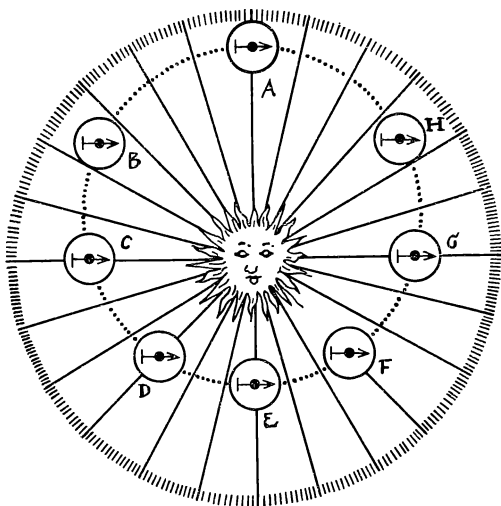


Рис. 45. Представление Кеплера о действии на планету силы со стороны Солнца (рисунок из книги «Очерки коперниканской астрономии»)

ге, таблицы рефракции, географические координаты крупнейших городов мира.

Уже после смерти Кеплера, в 1634 г., было опубликовано его научно-фантастическое произведение «Сон, или посмертное сочинение о лунной астрономии» — первое в истории астрономии сочинение, в котором явления описываются так, как их наблюдатель увидел бы, находясь на Луне. Как отметил Кеплер в Примечании к этой книге, «цель моего «Сна» состоит в том, чтобы на примере Луны привести доводы в пользу движения Земли». Примечания (а они занимают большую часть книги) составлены после 1620 г., когда учение Коперника уже подвергалось гонениям. И еще раз выступив в его защиту, Кеплер писал: «По отношению к труду Коперника основная несправедливость исходит от людей, не сведущих в астрономии... Они полагают, будто книгу Коперника нельзя читать, не исключив из нее прежде движение Земли. Разделять подобное мнение — все равно что утверждать, будто книгу Коперника нельзя читать, не предав ее сначала огню ...».

Конкретным действием в защиту гелиоцентрической модели мира Коперника и была публикация Кеплером его «Очерков коперниканской астрономии», этой, по словам А. Берри, «одной из увлекательнейших книг Кеплера, так как она свободна от странностей, обычно делающих столь утомительным чтение его произведений». Отметим еще, что, говоря в «Очерках» о суточном вращении Земли, Кеплер в доказательство приводит утверждение, что «природа в достижении своей цели всегда использует простейший путь». Такими простейшими путями для планет оказались эллиптические орбиты вместо сложной паутины эпициклов...

Кеплер выступил за освобождение астрономии от засилия теологии: «В теологии имеет значение авторитет, в философии — разумные доводы. Ведь был святым Лактанций, отрицавший шарообразность Земли, святым был и Августин, признавший шарообразность Земли, но отрицавший существование антиподов, свят и официум наших дней, признающий, что Земля невелика по размерам, но отрицающий ее движение. Для меня же святее всего истина, когда я при всем моем глубоко уважении к отцам церкви доказываю с помощью философских рассуждений, что Земля имеет форму шара, населена со всех сторон антиподами и занимает среди звезд совсем незаметное и незначительное место» *). Стоит ли удивляться, что «Очерки» уже в 1619 г. были внесены в «Индекс запрещенных книг», из которого были исключены лишь в 1835 г. ...

Девизом Кеплера было «Бездеятельность — смерть для философии: так будем же жить и трудиться». И разве это не закономерно, что Карл Маркс назвал его, рядом со Спартаксом, своим самым любимым героем?

«А ВСЕ-ТАКИ ОНА ДВИЖЕТСЯ!»

«Звездный вестник» Галилея. «Теперь ... мы имеем великолепный и наияснейший довод для устранения сомнений у тех, которые спокойно относятся к вращению в коперниковой системе планет вокруг Солнца, но настолько смущаются движением одной Луны вокруг Земли, в то время как обе они совместно описывают вокруг Солнца годичный круг, что даже считают необходимым отвергнуть такое строение Вселенной как невозможное. Теперь мы имеем не только одну планету, вращающуюся вокруг другой, в то время

*) Рыбка Е., Рыбка П. Коперник: Человек и мысль — М.: Мир, 1973. — С. 274.

как обе обходили великий круг около Солнца, но наши чувства показывают нам четыре светила, вращающиеся вокруг Юпитера, как Луна вокруг Земли, в то время как все они вместе с Юпитером в течение 12 лет описывают большой круг около Солнца ...» *).

С публикации открытия Галилеем спутников Юпитера началась новая активная фаза борьбы за современное научное мировоззрение ...

Галилео Галилей родился в г. Пизе 15 февраля 1564 г. в семье музыканта и математика Винченцо Галилея. В 17-летнем возрасте молодой Галилей поступил в Пизанский университет изучать медицину. Биографы Галилея обращают внимание на тот факт, что в то время профессор медицины получал зарплату 2000 скуди в год, тогда как профессор математики... всего 60. И все же именно эта падчерица пришлась Галилею по душе. Прослушав случайно урок по евклидовой геометрии, Галилей страстно увлекся ею, так, что забросил медицину и сначала тайно, а потом и с разрешения отца открыто слушал курс математики. Однако из-за отсутствия средств он в 1585 г. был вынужден оставить университет, не окончив курс и не получив ученую степень. Несколько лет он оставался дома и здесь с неимоверной жадностью овладевал основами математики и физики. В 1589 г. Галилей стал профессором математики и астрономии Пизанского университета. Позже, с 1592 по 1610 г., он был профессором физики и математики Падуанского, а с 1610 г.— Флорентийского университетов.

Одной из первых проблем, заинтересовавших Галилея, было свободное падение тел. Как уже отмечалось, по Аристотелю тела падают на Землю со скоростями, пропорциональными их весу: тело весом 5 кг должно падать в пять раз быстрее тела весом 1 кг. По этому поводу английский физик О. Лодж (1851—1940) в своей книге «Пионеры науки» (СПб.: изд. Ф. Павленкова, 1901) писал так: «Почему он так думал, никто не знал. Он мог не делать опытов. Он не считал себя выше опыта, ... просто ему, по-видимому, никогда не приходилось сомневаться в этом факте. Ведь, наверное, так естественно, что тяжелое тело падает быстрее легкого; ему, возможно, припомнились камень и пушинка, и он удовлетворился».

Но Галилей не был склонен повторять чужие слова. Уже находясь в Пизе, он в своих лекциях утверждал, что все

*) Галилей Галилео. Избранные труды: Т. 1.— М.: Наука, 1964.— С. 34.

тела, сброшенные с определенной высоты, падают с одинаковой скоростью и достигают поверхности Земли одновременно. О. Лодж пишет далее: «И он не удовлетворился тем, что его осмеяли. Он знал, что правда на его стороне, и решил показать факты такими, какими они есть. И вот в одно прекрасное утро в присутствии всего университета он поднялся на известную падающую башню, взяв с собой два ядра: стофунтовое и однофунтовое. Он установил их на краю башни и отпустил оба одновременно. Они полетели вместе и вместе же достигли Земли. Глухой удар падающих ядер о землю прозвучал как похоронный звон над старой системой физики и возвестил о зарождении новой».

В начале XV в. в Европе появились первые телескопы («перспективы»: термин «телескоп» был введен несколько позже филологом Доменисиани (1576—1614)). В своей первой книге «Звездный вестник», опубликованной в марте 1610 г., Галилей пишет: «Месяцев десять тому назад до наших ушей дошел слух, что какой-то нидерландец построил перспективу, при помощи которой зримые предметы, хотя бы удаленные на большое расстояние от глаза наблюдателя, были отчетливо видны как бы вблизи; об удивительном действии этого прибора рассказывали некоторые сведущие; им одни верили, другие же их отвергали ... это было поводом, что я целиком отдался исследованию причин, а также придумыванию средств, которые позволили бы мне стать изобретателем подобного прибора; немного погодя, углубившись в теорию преломления, я этого добился; сначала я сделал себе свинцовую трубу, по концам которой я приспособил два оптических стекла, оба с одной стороны плоские, а с другой первое было сферически выпуклым, а второе — вогнутым; приблизив затем глаз к вогнутому стеклу, я увидел предметы достаточно большими и близкими; они казались втрое ближе и в девять раз больше, чем при наблюдении их простым глазом ... Наконец, не щадя ни труда, ни издержек, я построил прибор до такой степени превосходный, что при его помощи предметы казались ... более чем в тридцать раз ближе ...».

Две зрительные трубы Галилея и разбитый объектив третьей хранятся в Музее истории науки во Флоренции. Фокусное расстояние наибольшей, разбитой линзы 168,9 см, диаметр 5,8 см. Увеличение, получаемое при применении окуляра второй зрительной трубы ($f_2 = -4,88$ см, $d_2 = 1,7$ см), равно $34,6\times$. Все существовавшие до Галилея зрительные трубы давали увеличение лишь в 3—6 раз. Галилей усовершенствовал технологию изготовления линз, так как оказа-

лось, что техника обработки очковых линз недостаточна для их использования в зрительной трубе. По-видимому, Галилей первым сконструировал и микроскоп, о чем есть свидетельства его современников.

Далее, в «Звездном вестнике» Галилей пишет: «Сколько и какие удобства представляет этот инструмент как на земле, так и на море, перечислять было бы совершенно излишним.

Но, оставив земное, я ограничился исследованием небесного и сначала наблюдал Луну настолько близкой, как будто она отстояла всего лишь на два диаметра Земли». И далее: «Мы пришли к такому мнению, что с полной уверенностью можно считать поверхность Луны не такой уж совершенно гладкой, ровной и с точнейшей сферичностью, как великое множество философов думает о ней и о других небесных телах, но, наоборот, неровной, шероховатой, покрытой впадинами и возвышениями, совершенно так же, как и поверхность Земли...» (*Галилей Галилео*, с. 23—24).

Далее (с. 31) Галилей оценивает высоту гор на Луне. Приняв, что земной диаметр «согласно более точным наблюдениям» содержит 7000 итальянских миль, а диаметр Луны относится к диаметру Земли, как два к семи, так что диаметр Луны равен 2000 миль, он находит, что высота лунных гор может превышать 4 мили, и отмечает: «На Земле нет таких гор, которые по отвесу достигают высоты в одну милю; следовательно, лунные возвышенности больше земных». Тут же он объясняет пепельный свет Луны (впервые замеченный Леонардо да Винчи) тем, что «Земля по справедливому и взаимовыгодному обмену возвращает Луне такое же освещение, какое она сама получает от Луны...».

«...Теперь скажем коротко о том, что было нами усмотрено у неподвижных звезд. Прежде всего достойно удивления то, что звезды — как неподвижные, так и блуждающие — при рассмотрении в зрительную трубу никак не кажутся увеличившими свои размеры в той же пропорции, в какой получаются приращения у остальных предметов и даже у Луны... Достойна также замечания разница между видом планет и неподвижных звезд. А именно, планеты представляют свои шарики совершенно круглыми и точно очерченными; неподвижные звезды никак не представляются ограниченными окружностью круга, но как бы некоторые огни с колеблющимися вокруг лучами и мерцающие; рассматриваемые в зрительную трубу, они являют такую же природу, как и при наблюдении просто глазом, но лишь таких размеров, что звездочка пятой и шестой величины кажет-

ся равной Псу (Сириусу) — наибольшей среди всех неподвижных звезд. Правда, ниже шестой величины замечаешь через зрительную трубу такое многочисленное стадо других звезд, ускользающих от естественного зрения, что едва можно поверить...

Третьим предметом нашего наблюдения была сущность, или материя, Млечного Пути. При помощи зрительной трубы ее можно настолько ощутительно наблюдать, что все споры, которые в течение стольких веков мучили философов, уничтожаются наглядным свидетельством, и мы избавимся от многословных диспутов. Действительно, Галактика является не чем иным, как собранием многочисленных звезд, расположенных группами. В какую бы его область ни направить зрительную трубу, сейчас же взгляду представляется громадное множество звезд, многие из которых кажутся достаточно большими и хорошо заметными. Множество же более мелких не поддается исследованию».

И наконец, об открытии спутников Юпитера, этой маленькой модели Солнечной системы: «Теперь остается то, что в настоящем деле является, пожалуй, наиболее важным, а именно что мы открыли (и доводим это до всеобщего сведения) четыре планеты, никем еще не виданные от начала мира до наших дней..., они ... то следуют за Юпитером, то опережают его и удаляются от него либо к востоку, либо к западу, совершая лишь очень небольшие отклонения, и никто не может сомневаться в том, что они около него и совершают свои обращения ... Кроме того, они совершают обращения по неодинаковым кругам».

В заключение «Звездного вестника» Галилей и приводит слова, уже цитированные нами в начале этого раздела. Как отметил А. Берри, открытием спутников Юпитера была доказана ошибочность старой доктрины, что Земля — единственный центр движения, оно серьезно подорвало веру в непогрешимость Аристотеля и Птолемея, без сомнения, не подозревавших о существовании подобных тел, и, наконец, что важнее всего, исчезло механическое затруднение в признании концепции Коперника, по которой Луна могла обращаться вокруг движущейся Земли, не отставая от нее: «ведь проделывали же нечто совершенно подобное спутники Юпитера...».

Новооткрытые тела Галилей назвал «Медицейскими светилами» в честь своего покровителя Козьмы Медичи, великого герцога Тосканского. Вскоре Кеплер предложил общее название — *спутники*, так как всем было ясно, что эти светила образуют новый разряд тел, отличных от планет.

Преступление против истины. В 1615 г. в своем трактате «Письмо к великой герцогине Христине» Галилей писал: «Запретить Коперника теперь, после того, как в многочисленных наблюдениях и исследованиях его трудов учеными день изо дня все больше раскрывается правдивость его утверждений и все больше укрепляется его доктрина; запретить его после того, как его допускали на протяжении нескольких лет, когда ему уделялось и меньше внимания и меньше находили доказательств,— это было бы, по моему мнению, преступлением против истины; это доказывало бы попытку спрятать и уничтожить ее с тем большей силой, чем более она становится очевидной и понятной».

И все же это преступление было совершено, и именно Галилею пришлось сыграть при этом свою величественную и одновременно трагическую роль ...

Описанные в «Звездном вестнике» открытия Галилея вызвали неслыханную сенсацию. Друзья радовались, сторонники Аристотеля объявили Галилею непримиримую борьбу. Первое полемическое произведение, направленное против Галилея, написал ученик Кеплера Мартин Горкий. Если сам Кеплер приветствовал эти открытия и в одном письме болонскому астроному Маджини написал о Галилее: «Мы оба коперниканцы; свой своему радуется», то Горкий в «Кратчайшем странствовании против Звездного вестника» (май 1610 г.) относительно лунных пятен написал, что Галилей «продал смертным вероятное вместо истинного», а спутники Юпитера, мол, результат, отражения и преломления в оптических трубах. Через год в Венеции вышла книга «Размышления об астрономии, оптике, физике» Франческо Сицци. В ней он утверждает, что число планет не может быть больше семи, так как в Ветхом завете упоминается семи-свечник, а это означает семь планет. Далее, в голове имеется семь отверстий, «а также из того, что... существует семь металлов...», мы усматриваем, что планет должно быть обязательно семь. Кроме этого, спутники не видны для простого глаза, а поэтому и не могут оказывать влияние на Землю, следовательно, они не нужны, а поэтому они не существуют».

В определенной степени скептиков того времени все же можно оправдать: первые телескопы давали очень плохое, не всегда резкое и четкое изображение. Так, однажды Галилей демонстрировал спутники Юпитера в телескоп большой группе профессоров, и ... почти все они заявили, что ничего не видели (к тому же об этих спутниках ведь Аристотель не упоминает ...).

В июле 1610 г. Галилей заметил, что «звезда Сатурна не является одной только, но состоит из 3, которые как бы касаются друг друга, но между собой не движутся и не меняются; они расположены рядом по длине зодиака, причем средняя из них примерно в 3 раза больше, чем 2 боковые...». Об этом Галилей писал тосканскому министру Винте. А 30 декабря того же года он сообщает председателю Римской Коллегии астроному-иезуиту Христофору Клаввию об открытии им фаз Венеры: «... Как я начал наблюдать в начале ее вечернего появления и увидал ее имеющую круглую форму, но очень маленькую. Продолжая затем наблюдения, я увидал, что она столь заметно увеличивается в размерах, ... пока, приблизившись к своему наибольшему отклонению, она не начала уменьшать свою круглость со стороны, обращенной от Солнца, и в несколько дней обратилась в фигуру полукруга, ... пока она не начала отступать по направлению к Солнцу, ... здесь она начинает становиться заметно рогатой...». И далее следует важный вывод: «Так вот, синьор мой, выясняется, как Венера (и несомненно, что то же самое сделает и Меркурий) движется вокруг Солнца, являющегося вне всякого сомнения центром наибольших обращений всех планет. Кроме того, мы уверены, что эти планеты сами по себе являются темными и блестят только освещенные Солнцем, чего, как я думаю, не происходит с неподвижными звездами..., и что эта планетная система наверняка устроена совершенно не так, как это обычно думают».

Это был ответ главе папских астрономов, который немногим раньше сообщил Галилею, что он наблюдал спутники Юпитера и заметил вытянутую форму Сатурна. В конце марта 1611 г. Галилей приехал в Рим. В своем письме уже упомянутому Винте Галилей 1 апреля писал: «... я был у отцов иезуитов и долго беседовал с патером Клаввием и двумя другими отцами, хорошо знающими свою профессию ... Я застал их читающими не без смеха напечатанную недавно против меня книгу Франческо Сицци... Я нашел, что названные отцы, узнавши наконец истинность новых Медичейских планет, в течение двух месяцев непрерывно наблюдали их, что они продолжают и теперь ... Еще они трудятся над определением периодов их обращений ...».

Как раз в то время глава инквизиции кардинал Роберт Беллармин сделал письменный запрос у астрономов Римской коллегии: «... Я желаю, чтобы вы... высказали откровенно свое мнение относительно следующих вещей: 1) Соглашаетесь ли вы с тем, что имеется множество неподвижных звезд, невидимых простым естественным зрением... 2) Что

Сатурн не является простой звездой, но тремя звездами, соединенными вместе. 3) Что у звезды Венеры имеются изменения вида, и она возрастает и убывает, как Луна. 4) Что Луна имеет неровную и шероховатую поверхность. 5) Что около планеты Юпитера бегают четыре подвижные звезды с очень быстрыми и отличающимися друг от друга движениями».

Ответ четырех астрономов, копия которого сохранилась в бумагах Галилея, был утвердительным: «На 1-й: правильно, что при наблюдениях в зрительную трубу появляется множество звезд, ... можно с вероятностью предполагать, что в Млечном Пути тоже имеется громаднейшее множество звезд, которые нельзя в отдельности видеть вследствие крайней их малости. На 2-й: мы наблюдали, что Сатурн не является круглым, какими видимы Юпитер и Марс, но он имеет яйцеобразную и продолговатую фигуру ... На 3-й: совершенно верно, что Венера убывает и возрастает, как Луна... На 4-й: нельзя отрицать больших неровностей на Луне ... На 5-й: около Юпитера виднеются четыре звезды, которые очень быстро движутся то... к востоку, то... к западу ..., они не могут быть неподвижными звездами, так как имеют движение очень быстрое и в высшей степени отличное от неподвижных звезд, и все время меняют расстояние между собой и Юпитером» (Галилей, Т. I.— С. 596—597). Ответ был подписан 24 апреля 1611 г. четырьмя астрономами: Христофором Клавием, Христофором Гринбергером, Одо Малькотом и Джованни Паоло Лембо. Через несколько недель Галилей присутствовал на публичном заседании Римской коллегии, где Одо Малькот прочел доклад, в котором подробно излагались наблюдения римских астрономов, полностью подтверждающие сделанные Галилеем открытия.

Таким образом, как отметил И. Н. Веселовский, первый раунд в борьбе за коперниканство был выигран Галилеем, но враги новой науки не сложили оружия...

Осенью 1610 г. Галилей заметил на диске Солнца темные пятна. Однако, хотя он и показывал их некоторым своим друзьям, формального объявления о своем открытии не сделал. Между тем пятна на Солнце вскоре были замечены Томасом Гарриотом в Англии, Иоганном Фабрицием в Голландии и Христофором Шейнером в Германии. Фабриций опубликовал об этом открытии сообщение летом 1611 г., Шейнер — в 1612 г. Кстати, Шейнер был иезуитом, и генерал его ордена, отвечая на доклад Шейнера, сказал: «Наверное, это твои глаза безумны, либо твои стекла, либо твое воображение. Лучше помолчи». Побавиваясь начальст-

ва, Шейнер опубликовал свою работу анонимно. В ней он высказал предположение, что солнечные пятна являются маленькими телами, обращающимися вокруг Солнца. Письма Галилея к одному своему другу по поводу солнечных пятен были написаны в 1612 г. и опубликованы в 1613 г. Своим спором с Шейнером вначале о природе пятен, а затем о приоритете Галилей приобрел в его лице злейшего врага. Это привело к тому, что весь орден иезуитов начал относиться к Галилею враждебно. А между тем уже упоминавшийся Гринбергер позже открыто признавал, что «если бы Галилей сумел не утратить благосклонность отцов сей коллегии, то пользовался бы мирской славой, не знал бы себе ни забот, ни волнений и мог бы писать на любую тему, даже о движении Земли» (*Рыбка Е., Рыбка П., С. 262*). В книге о солнечных пятнах Галилей впервые ясно и публично заявил о себе как о приверженце коперниканской системы и... кардинал Барберини (ставший позже папой Урбаном VIII) благодарил Галилея за присылку книги ...

Можно сколько угодно удивляться, но факт остается фактом: именно в тот момент, когда в подтверждение движения планет вокруг Солнца были получены неопровержимые доказательства (смена фаз Венеры), когда перед человечеством открылся безграничный океан звездной Вселенной, именно тогда католическая церковь постановила запретить учение Коперника. Не помогло и то, что в своей книге (1615 г.) кармелитский монах Паоло Фоскарини защищал систему Коперника самыми убедительными аргументами и всячески доказывал, что она не противоречит Библии. Получив донос на Галилея, составленный доминиканцем Лорини, инквизиция в январе 1616 г. начала следствие по его делу и уже в конце февраля признала «еретическими» два места в трудах Галилея и заявила: «Утверждение о том, что Солнце находится в центре мироздания и неподвижно, нелепо, ложно с философской точки зрения и еретично по форме, ибо противоречит священному писанию ... Утверждение о том, что Земля не является центром мира и не стоит на месте, а совершает за сутки один оборот, также нелепо ... и еще больше противоречит вере».

Вскоре, 5 марта 1616 г., «священная конгрегация» утвердила декрет, в котором было, в частности, сказано: «Поскольку вышеупомянутой конгрегации стало известно, что ложное, полностью противоречащее священному писанию учение пифагорейцев о движении Земли и неподвижности Солнца, которое проповедуют Николай Коперник во «Вращениях небесных сфер» и Дидак Астуник в «Комментариях

на Иова», ныне разошлось и принято многими... дабы учение этого рода не распространялось далее, нанося ущерб католической истине, конгрегация считает целесообразным временно изъять из обращения названные выше книги... до тех пор, пока в них не будут внесены исправления». Позже, в середине мая 1620 г., был оглашен подробный список изменений и поправок, которые надлежало внести в книгу Коперника, а также «Предостережение святой конгрегации читателям Николая Коперника...»:

«Святая конгрегация индекса постановила, что произведение известного астролога Николая Коперника «О вращении сфер» должно быть полностью осуждено, ибо он излагает взгляды на положение и движение земного шара, противоречащие священному писанию и его истинно католическому толкованию, не как гипотетические (что также нетерпимо в христианине), а осмеливается выдавать их за наиболее отвечающие истине. Однако поскольку названное произведение содержит много полезных для всеобщего сведения вещей, конгрегация единогласно приняла решение о том, что изданные до сего дня книги Коперника могут быть разрешены,... если в них будут внесены исправления согласно прилагаемому образцу ... Печатать книгу Коперника впредь разрешается лишь после внесения указанных ниже исправлений и с данным «Напоминанием», помещаемым перед предисловием Коперника...».

Преступление, которого так боялся Галилей, было совершено, учение Коперника запретили. Сам же Галилей тогда отделался предупреждением. Главное испытание для него было еще впереди...

«Послание к Инголи». В то же время, когда происходили описанные выше события, в 1616 г., богослов, знаток восточных языков Франческо Инголи решил внести и «свою лепту» в «исправление мыслей Галилея» и написал сочинение «О месте Земли и о ее неподвижности вопреки системе Коперника. Размышления для ученнейшего математика Галилео Галилея из Флоренции...». Галилей долгое время не отвечал на него, но после того как в 1624 г. ему не удалось добиться у папы Урбана VIII снятия запрещения с учения Коперника, он и написал указанное «Послание». Оно быстро распространилось в списках и даже попало к папе, напечатано же оно было впервые в 1814 г. Как мы сейчас убедимся, «Послание к Инголи» было смелым и сильным выступлением Галилея в защиту Коперника...

Галилей пишет, что он сохранял молчание восемь лет, так как ему казалось, «что этим способом мне не пришлось

бы вносить чувство горечи в те настроения, которые (как я хочу думать) вы должны были переживать, когда были убеждены, что сразили такого человека, как Коперник; а вместе с тем я оставлял незатронутым — поскольку это зависело от меня — то мнение, которое составили о вас лица, прочитавшие ваше сочинение». Однако его длительное молчание было понято неверно и «сложилось твердое и общее убеждение, что я смолчал тогда, как бы убежденный силой ваших доказательств, причем иные считают эти доказательства и необходимыми, и неопровержимыми», а тем самым «о моих познаниях сложилось весьма слабое представление...».

Прежде всего Галилей стремится отвести от себя возможное обвинение в ереси: «... Я отнюдь не приступаю к этой работе с намерением или с целью поддерживать или утверждать истинность учения, которое уже признано подозрительным и не соответствующим той доктрине, которая по своему величию и авторитету превосходит авторитет естественных и астрономических наук; но... в целях опровержения еретиков, из которых, как я слышу, все, обладающие более громкими именами, придерживаются учения Коперника, я предполагаю войти в эти вопросы со всею подробностью и показать им, что если мы, католики, остаемся на старинных точках зрения, усвоенных нами из творений святых отцов, то это вовсе не по недостатку разума, данного нам природой, и не потому, что от нас ускользают те доводы, опыты, наблюдения и доказательства, которые были учтены ими; а в силу того почитания, которое мы храним в отношении творений отцов нашей церкви, и из ревности к вопросам нашей религии и нашей веры; так что, когда они увидят, что все их астрономические и естественные доводы нами прекрасно усвоены и, более того, что мы владеем доказательствами, значительно более сильными, чем все, что было выдвинуто до сих пор, то они в крайнем случае смогут считать нас людьми, упорными в наших убеждениях, но вовсе не слепыми или невежественными в человеческих науках». Далее следует: «... Я... убежден, что Николай Коперник посвятил этим труднейшим исследованиям большее число лет своей жизни, чем вы отдали на них дней, — я должен, повторяю, дать вам наиболее полные разъяснения и не оставить у вас легкомысленного убеждения в возможности повергнуть в прах такого человека...».

Галилей пишет Инголи: «... Вы предполагаете, что все звезды небесного свода помещены на одну и ту же сферу; но это столь сомнительное утверждение, что ни вы и никто

другой не сможете доказать этого вовеки; что же касается меня, то, я, оставаясь в области допустимого и вероятного, скажу, что даже из четырех неподвижных звезд, не говоря уже о всех, не найдется и двух одинаково удаленных от любой точки, которую вы пожелаете избрать во вселенной...». Далее следует глубокое по своему содержанию утверждение: «... Неподвижные звезды светятся их собственным светом,... так что ничто не мешает нам называть и считать их солнцами,... тем не менее весь свет, исходящий от них в совокупности, и их видимая величина, — я говорю это даже относительно всех звезд вместе взятых, — не достигают и десятой части видимой величины Солнца и того света, который оно нам сообщает; но причиной того и другого явления служит только их расстояние». И тут Галилей доказывает возможность этого: «... Допустим, что земная орбита по размерам оказывается неощутимо малой в отношении звездной сферы; и чтобы ей быть таковой, необходимо, чтобы неподвижные звезды были удалены в 16 500 000 полудиаметров Земли: что видите вы в этом невозможного или неподходящего, синьор Инголи? Мне представляется, что все несоответствие коренится в человеческом воображении, но отнюдь не в самой природе... И разве вам неизвестно, что до сих пор еще не решено (и я думаю, что человеческая наука никогда не решит), конечна ли вселенная или бесконечна? Но если допустить, что она действительно бесконечна, как можете вы утверждать, что размеры звездной сферы пропорциональны по сравнению с земной орбитой, если сама эта сфера в отношении вселенной оказалась бы гораздо меньшей, чем пшеничное зерно по сравнению с ней?»

Отвергая тезис Аристотеля, будто у твердых тел имеется естественное устремление — двигаться к центру всего сферического мира, Галилей пишет: «... я утверждаю, что Луна, Солнце и все прочие шарообразные светила во вселенной являются не менее тяжелыми, чем Земля, и что все их части содействуют образованию их собственных сфер; так что, если когда-либо от них отделяется часть, она возвращается к своему целому, точно так же, как это происходит с частями Земли...; на небесном своде... имеются тысячи центров, так как каждая звезда есть точная сфера, а у каждой сферы есть центр...».

Объясняется также, почему, в противовес мнению Аристотеля, при вращении Земли вокруг своей оси камень, падающий с высокой башни, не ударяется о Землю к западу от башни, а также отвергается как не соответствующий опыту пример, будто на движущемся корабле камень, брошен-

ный с вершины мачты, «отстает на много локтей от подножия мачты в направлении к корме»: «... если я вместе с Коперником скажу, что Земля вращается и, следовательно, несет вместе с собою башню, а также и нас, наблюдающих за явлением падения камня, то получится, что движение камня составное; оно складывается из всеобщего суточного кругового движения, направленного к востоку, и из другого, случайного, направленного к целому [частью которого оно является], так что составное движение оказывается наклонным к востоку; из этих движений то, которое является общим для меня, для камня и для башни, для меня в этом случае неощутимо, как если бы его вовсе не было, так что остается подлежащим наблюдению только второе, которого лишены и я, и башня, именно приближение к земле...». Галилей тогда еще не знал, что на самом деле камень должен отклониться к юго-востоку из-за сохранения момента количества движения, но и в таком виде его аргументы выбивали почву из-под ног последователей Аристотеля...

И, наконец, «я хочу привести вам некоторое сопоставление, которым я уже и раньше пользовался для людей других профессий и потому не могущих понять более глубоких доказательств, для того чтобы разъяснить им, что гораздо более правдоподобно считать, что Солнце, а не Земля, неподвижно и помещено в центре небесных обращений. Поэтому я говорил им так: нам даны восемь небесных тел, именно Земля и семь планет; из этих восьми семь движутся безусловно и неоспоримо, и может существовать одно, и не более чем одно, находящееся в покое, и этим единственным телом по необходимости должны быть либо Земля, либо Солнце. И... если посредством какого-либо смелого сопоставления мы пришли бы к уверенности, какое из них, Земля или Солнце, более соответствует по своей природе остальным шести, то этому телу мы сможем весьма разумным образом приписать движение. Но природа по ее любезности раскрывает перед нами двери к такому познанию, обнаруживая два явления не менее важные и первичные, чем покой и движение; такими являются свет и мрак; ибо самым необходимым образом подобает быть различными по природе своей телу, сияющему вечным светом, и телу, совершенно темному и не обладающему яркостью; но относительно шести тел, несомненно движущихся, мы убеждены в том, что они, по своей первосущности, совершенно лишены света; и также несомненно для нас, что такова, кроме них, и Земля; следовательно, весьма велико то подобие, которое существует между Землей и шестью планетами, и мы можем решительно ут-

верждать, что не менее значительно различие между этими планетами и Солнцем. Далее, если Земля по своей природе в высокой степени подобна телам движущимся, а первосущность Солнца от нее столь существенно отлична, как же не будет для нас более вероятно (если бы даже это не обнаружилось иным образом), что не Солнце, а Земля, совместно со своими другими шестью сородичами, движется? Добавлю, к этому и другое, не менее важное сопоставление: в системе Коперника все звезды, которые, как и Солнце, являются телами самосветящимися, пребывают в вечном покое,... именно так и должна была действовать природа, весьма последовательная в ее проявлениях».

Как указывает Галилей, эти соображения он высказывал в своих популярных лекциях. Нетрудно представить, что они оказывали на слушателей глубокое впечатление своей логичностью. Можно также удивляться тому, как Галилей, «прикрывшись» несколькими фразами о своей «приверженности к учению святых отцов» и «почитания их творений», не побоялся далее высказывать доводы правильности теории Коперника в столь решительной форме...

«И все-таки она движется» — *Erpur si muove!* — это слова, которые, по преданию, прошептал старый и больной 69-летний Галилей после того, как в доминиканском монастыре «святой Марии над Минервой» в 1633 г. на коленях, в покаянном одеянии и с веревкой на шее прочитал приготовленный для него текст публичного отречения, который потом зачитывали в церквях и университетах. Он «отрекался», «проклинал», «осуждал» взгляды на то, что «Солнце расположено в центре мироздания и стоит неподвижно, а Земля не находится в центре мироздания и движется», отрекался после того, как привел неоспоримые доказательства их правильности...

Еще в «Звездном вестнике» Галилей обещал, что о свете Луны «подробнее поговорим в книге «О системе мира», в которой он намеревался «шестьюстами доказательствами и натурфилософскими рассуждениями» подтвердить, что Земля «движется и своим светом превосходит Луну». Работа над книгой продолжалась почти двадцать лет, и в последние годы друзья Галилея и даже секретарь папы Чамполи торопили его закончить книгу как можно быстрее. Наконец, в одном из своих писем 24 декабря 1629 г. Галилей сообщает: «Я довел почти до пристани мой «Диалог» и раскрыл весьма явственно многое, что мне казалось почти необъяснимым». После этого начались хлопоты с получением разрешения на публикацию. Просмотрев рукопись, папский цензор

М. Риккарди сообщил Галилею в записке, что «книга ему нравится и что завтра он будет говорить с папой о титульном листе». Цензор, однако, потребовал, чтобы в предисловии и заключительной части книги было четко указано на гипотетичность учения Коперника и развит тезис о всемогуществе бога. Кроме разрешения папского цензора, Галилей получил еще разрешение флорентийского инквизитора, генерального викария, герцогского цензора, а позже — еще и папы *). Вышла книга в феврале 1632 г. под заглавием: «Диалог Галилео Галилея, академика Линчеи, экстраординарного математика университета в Пизе, философа и старшего математика Его Светлости Великого Герцога Тосканского, где в собраниях, четыре дня продолжающихся, ведутся рассуждения о двух наиболее выдающихся системах мира, Птолемеевой и Коперниковой, причем неопределительно предлагаются доводы столько же для одной из них, сколько и для другой». Книга написана на разговорном итальянском наречии, как разъяснял Галилей, «чтобы каждый человек мог прочесть мою работу».

В «Диалогах» три собеседника в течение четырех дней ведут спокойную беседу. Один из них, Сальвиати, — коперниканец, второй, Симпличио (по-итальянски «простак»), — аристотелевец, третий, Сагрето, — как бы нейтральный, но все быстро усваивает и иногда даже дополняет Сальвиати, который излагает точку зрения Галилея (собеседники упоминают его под именем «Академик» или «Наш общий друг»). В первый день идет обсуждение природы небесных тел, во второй — суточного движения Земли, в третий — ее годовичного движения и в четвертый — теории приливов и отливов как одного из доказательств, по мнению Галилея, движения Земли вокруг Солнца. В обсуждениях используются факты и аргументы, уже изложенные ранее Галилеем в «Звездном вестнике», «Письме о солнечных пятнах», «Послании к Инголи» и др.

Рассматривая вопрос о суточном вращении Земли и ее движении вокруг Солнца, Галилей использует собственные наблюдения за движением шаров на наклонных плоскостях и установленный им закон инерции, а также опыты с маятниками. Орбиты небесных тел Галилей считает строго круговыми, игнорируя открытия Кеплера.

Итак, вопреки Аристотелю и Птолемею, не может быть никакого смещения предметов на запад, ибо «суточное дви-

*) Глухов А. Г. Книги, пронизывающие века. — Киев: Радянська школа, 1979. — С. 52—53.

жение совершается благодаря движению от природы, присущему земному шару, а следовательно, и всем его частям, это, так сказать, печать природы, с них нестираемая, и потому камень, находящийся на вершине башни, обладает от природы свойственным побуждением двигаться вокруг центра своего целого в двадцать четыре часа, и это природное свойство он проявляет извечно, в какое бы положение он ни был приведен». Здесь мы встречаем те же самые доказательства, что Земля является рядовой планетой, как и в «Послании к Инголи» (о свете и мраке). Примечательно высказывание Сальвиати (т. е. самого Галилея), что «в науках о природе, выводы которых истинны и необходимы и где человеческий произвол ни при чем, нужно остерегаться, как бы не стать на защиту ложного, так как тысячи Демосфенов и тысячи Аристотелей будут выбиты из седла любым заурядным умом, которому посчастливится открыть истину»...

В разговорах третьего дня доказывается прежде всего, что расстояние до новой звезды, вспышка которой была замечена в 1572 г., превышает расстояние от Земли до Луны, т. е. что это явление произошло за пределами земной атмосферы. А это, вопреки Аристотелю, свидетельствует о том, что небесные светила не являются вечными и неизменными. Тут же Галилей дает прекрасное изложение гелиоцентрической системы мира по Копернику, подтверждая ее собственными наблюдениями фаз Венеры и спутников Юпитера. А после обсуждения возможностей, которые предоставлены телескопами, Сагредо восклицает: «О, Николай Коперник, как приятно было бы тебе видеть подтверждение твоей системы столь ясным опытом!». И тут же Сальвиати подводит итог: «У Птолемея мы находим болезни, а у Коперника — лекарство от них»...

Собеседники также обсуждают тезис, может ли Земля двигаться, если астрономы не смогли заметить видимых изменений в годичном положении звезд. У многих оппонентов Коперника создалось впечатление, что по его учению размеры далеких звезд должны превышать размеры земной орбиты. Устами Сальвиати Галилей говорит так: «Чтобы доказать всю вздорность этого рассуждения, я покажу, как при допущении, что неподвижная звезда шестой величины не превосходит величиной Солнце, можно доказать совершенно истинными методами, что расстояние от этой неподвижной звезды до нас будет достаточно большим, чтобы сделать по отношению к ней незаметным то годовое движение Земли». Рассуждения Галилея сводятся вот к чему: Солнце, расстояние до которого он, вслед за Коперником, принима

ет равным 1208 земным радиусам, имеет угловой диаметр 30'. По его оценкам, видимый диаметр звезды первой величины не превышает 5" (вопреки Тихо Браге, считавшему этот диаметр равным 2' и даже 3'), а для звезды шестой величины он в шесть раз меньше. Отсюда и следует, что при одинаковых диаметрах Солнца и звезд, расстояние до звезды первой величины должно быть в 360 раз бóльшим расстояния от Земли до Солнца, а до звезды шестой величины оно будто бы еще в шесть раз больше. В этом случае их годовичное смещение и впрямь нельзя заметить (отметим, что радиус самого Солнца Галилей принимал равным ... 5,5 радиуса Земли).

На самом же деле, как мы знаем сегодня, расстояния до ближайших звезд (которые к тому же необязательно выглядят самыми яркими!) не в 360, а в 360 000 раз превышают расстояние от Земли до Солнца. Но и в таком виде аргументы Галилея были достаточно убедительными. Впрочем, далее на том основании, что «по учению Птолемея обращение звездной сферы заканчивается в 36 000 лет, тогда как обращение Сатурна — в 30, а Солнца — в один год», Сальвиати находит, что «расстояние до звездной сферы должно составлять 10 800 полудиаметров земной орбиты, а это примерно в 5 раз больше» полученного ранее.

«Под вечер» третьего дня устанавливается, что «Земля при годовом движении своего центра переносится в другие ... места, но следует при этом такому закону: ее собственная ось не только не меняет наклона к плоскости эклиптики, но никогда не изменяет и направления, так что, оставаясь всегда параллельной самой себе, она всегда обращена к одним и тем же местам вселенной или, можем сказать, неба-свода». Тем самым Галилей устранял необходимость предполагаемого Коперником третьего «деклинационного» годового движения Земли.

В четвертой части книги Галилей изложил свою теорию приливов и отливов, объясняя их как результат сложения суточного вращения Земли и ее обращения вокруг Солнца: в одном случае будто бы «суточное вращение увеличивает и ускоряет движение годовичное», а через 12 часов «суточное движение вычитается из годовичного». А так как, дескать, доказано на опыте, что «ускорение и замедление движения сосуда заставляют содержащуюся в нем воду двигаться вдоль него взад и вперед и подниматься и опускаться у его краев, то почему бы не допустить, что такое явление может и даже с необходимостью должно происходить и с морскими водами...». Симпличио, правда, возражает: дескать, недавно

«некий прелат опубликовал трактат, в котором говорит, что Луна, странствуя по небу, притягивает и поднимает к себе водяной бугор, который идет, непрерывно за ней следуя ...». Но тут его останавливает Сагредо: «Не стоит тратить время и труд на изложение таких мнений, а тем более на их опровержение. Если бы вы согласились с одним из таких легкомысленных объяснений, это не сделало бы чести вашему рассудку ...». Сальвиати же добавляет: «Приходится признать существование поэтически одаренных натур двух видов: одни искусны и способны сочинять басни, другие склонны и расположены им верить».

Дело в том, что в 1624 г. архиепископ Марк Антонио де-Доминиста опубликовал книгу, в которой как раз и изложил упоминаемую теорию приливов и отливов. Как мы сейчас знаем, именно она-то и была правильной, и Галилей мог в этом убедиться, сопоставив время наступления прилива с положением Луны и его запаздывание в каждые последующие сутки на 52 минуты, связанное с движением Луны. Но, увлеченный борьбой с распространенными в то время астрологическими взглядами о действии одного небесного тела на другое (и на людей), он ошибся и ... приобрел себе могущественных врагов. Кстати, вначале он назвал свою книгу «Диалог о приливах и отливах», но, ссылаясь на папу, цензор М. Риккарди предложил заглавие изменить.

Далее произошло все так, как предвидел еще в 1615 г. Галилей в одном частном письме: «Мы проповедуем новое учение не для того, чтобы посеять смуту в умах, а для того, чтобы их укрепить ... Наши же враги ... делают себе щит из лицемерного религиозного рвения и уничтожают священное писание, пользуясь им как орудием для достижения своих личных целей». Немногим позже и «со знанием дела» писал об этом нидерландский философ Бенедикт Спиноза (1632—1677): «Мы видим, что почти все выдают свои измышления за слово божие и стараются только о том, чтобы под предлогом религии принудить других думать заодно с ними». Мотивы происшедшего спустя год после выхода «Диалогов» исчерпывающе изложил В. В. Лункевич: «Италия в эту пору была и экономически и политически слаба. На международной арене первые места занимали Франция и Испания с Германией. Итальянским властям, и светским и духовным, приходилось опираться на одну из этих враждующих между собой сторон. ... В Италии боролись две партии: французская и испано-германская; ...доминиканцы стояли за Испанию, где они господствовали, а иезуиты — за Францию...

Сторонники испано-германской партии с доминиканцами во главе страстно хотели опозорить нежеланного папу Урбана VIII ... Началась закулисная, провокационная игра. Сторонникам испанской партии ... удалось получить разрешение на напечатание книги Галилея ... Скандал получился огромный: на книге стояла надпись, что «Диалог» напечатан с разрешения папской цензуры. Враги торжествовали: он на весь католический мир был объявлен защитником ереси и покровителем богохульника. Надо было спасать положение. И вот ... Галилей был вызван в Рим...» *)

В тексте прочитанного им отречения были такие слова: «Я, Галилей, сын Винченцо Галилея из Флоренции, 70 лет от роду, лично представ перед трибуналом, на коленях и в покаянном одеянии, перед лицом наидостойнейших и преподобнейших господ кардиналов, великого инквизитора и всего христианского мира, осуждая преступные ереси и имея перед своими глазами святейшее евангелие,.. клянусь, что всегда верил, верю ныне и с божьей помощью буду верить впредь во все, чего придерживается, что проповедует и чему учит святая католическая и апостольская церковь.

... Я написал и опубликовал в печати книгу, в которой рассмотрел уже запрещенное тогда учение и в подтверждение его привел весьма убедительные аргументы без какого бы то ни было разрешения. Когда об этом стало известно, меня сильно заподозрили в ереси, а именно в том, что я утверждал и верил, будто недвижимое Солнце покоится в центре мироздания, а Земля не стоит в центре мироздания и находится в движении.

От души желая извергнуть из умов ваших преподобий и каждого истинного христианина то сильное подозрение, какое мною вполне заслужено, я с чистым сердцем и искренней верой отрекаюсь, проклиная и осуждаю перечисленные выше заблуждения и ереси... Клянусь, что впредь не буду нигде проповедовать или утверждать ни словом, ни в своих сочинениях такие вещи, которые могли бы возбудить против меня подобное подозрение ...

Я, вышеназванный Галилео Галилей, отрекаюсь, клянусь, обещаю и обязуюсь выполнять все сказанное мной ... 22 июня 1633 г.».

Существует легенда, будто бы после этого Галилей добавил: «А все-таки она движется»...

*) *Лункевич В. В.* Подвижники и мученики науки.— М.: Госполитиздат, 1962.— С. 136—137.

И она двигалась! Два года спустя, в 1635 г., «Диалоги» были переизданы в Страсбурге на латинском языке «без ведома автора» и в том же году вышел английский перевод этой фундаментальной книги. И какими близорукими оказались его судьи! Ведь, как сказал однажды сам Галилей, «в отношении тех или других положений, никто, естественно, не сомневается, что его святейшество папа имеет полное право допускать либо осуждать их; но ни одно существо в мире не может сделать их истинными или ошибочными, т. е. отличными от того, какой является их природа». За полгода до смерти он написал одному из высокопоставленных чиновников Флоренции, высказывавшему сомнение в истинности теории Коперника: «Ложность системы Коперника вне подозрения после того, как это объявлено высшим авторитетом церкви. Все аргументы Коперника и его последователей опровергаются аргументом о всемогуществе бога, для которого все возможно, даже то, что представляется нелепым. Но система Аристотеля и Птолемея еще ошибочнее, ибо для их опровержения нет нужды прибегать к авторитету церкви и к всемогуществу бога, а достаточно простого человеческого разума ...».

Находясь под строгим домашним арестом вплоть до своей смерти 9 января 1642 г., Галилей продолжал работать над важнейшими проблемами физики. В 1638 г. в Лейдене вышли его «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых наук», в которых он глубоко проанализировал динамику и физику твердого тела. В 1637 г. он открыл либрацию Луны — ее «пошатывание» в процессе обращения вокруг Земли. В конце того же года он ослеп. В письме одному из своих друзей, которое он продиктовал, Галилей писал:

«Можете представить себе, какая скорбь охватывает меня, когда я сознаю, что то небо, те просторы и та Вселенная, которые я с помощью моих удивительнейших наблюдений и ясных рассуждений увеличил в сто и в тысячу раз по сравнению со всем виденным учеными прошлых веков, ныне настолько сузились и уменьшились для меня, что не проникают даже в тот скромный участок пространства, который занимает моя особа»...

«Диалоги» были исключены из «Индекса запрещенных книг» лишь в 1835 г., и только в ноябре 1979 г. папа римский Иоанн Павел II признал, что великий ученый пострадал от церкви несправедливо... *).

*) «Правда», 12 ноября 1979 г.

Проблемы и успехи телескопической астрономии. Все дальнейшее развитие астрономии, вплоть до формирования современных представлений о строении Вселенной, было бы невозможно без применения телескопов. Но история их создания и усовершенствования оказалась длинной и нелегкой.

Как уже отмечалось, при изготовлении рефракторов астрономы начали использовать схему, предложенную Кеплером. В поле зрения такого телескопа все звезды видны одинаково четко. Вскоре, однако, оказалось, что при больших увеличениях изображения искажались и окрашивались во все цвета радуги. Из теоретических соображений якобы следовало, что это происходит вследствие большой кривизны линз. Поэтому началось строительство длиннофокусных «воздушных» телескопов, фокусные расстояния которых при диаметре линзы 5...10 см достигали 20, 40 и более метров. При этом объективную линзу в оправе устанавливали на высоком столбе, а внизу наблюдатель при помощи окуляра рассматривал изображение, полученное в фокусе инструмента. «Управлять» таким телескопом было, конечно, очень нелегко.

Несколько таких длиннофокусных телескопов изготовил нидерландский ученый Христиан Гюйгенс (1629—1695), предложивший делать окуляр из двух плосковыпуклых линз. Такая схема окуляра применяется по сей день.

Сразу же после создания Галилеем линзового телескопа изобретатели предложили схемы зеркальных телескопов (рефлекторов). В частности, И. Ньютон в 1668 г. собственноручно построил рефлектор с диаметром зеркала 2,2 см и фокусным расстоянием 16,5 см. Телескоп давал 41-кратное увеличение. Материалом для изготовления зеркала был сплав из шести частей меди, двух частей олова и одной — мышьяка.

Изготовление телескопических зеркал было очень сложным делом и часто держалось мастерами в тайне. Так, например, в Эдинбурге и Лондоне на протяжении 36 лет прекрасные зеркала диаметром до 55 см изготавливал Д. Шорт. Перед смертью в 1668 г. он вывел из строя все оборудование, уничтожил все чертежи и рецепты, которые он до этого сохранял в глубокой тайне.

В то время выдающихся успехов в наблюдениях достиг польский астроном Ян Гевелий (1611—1687). В своей «Селенографии, или описании Луны» (1647 г.) он опубликовал

первые точные и подробные, художественно выполненные (Гевелий был искусным художником-гравером) карты Луны. Введенные Гевелием наименования пяти образований на Луне (горных хребтов, в том числе Альп и Апеннин) сохранились до сих пор. На построенной им в Гданьске в 1641 г. обсерватории он открыл фазы Меркурия, четыре кометы, уточнил период вращения Солнца. Но главное, используя «дотелескопические» угломерные приборы — секстанты и квадранты, Гевелий составил каталог 1564 звезд с погрешностью в определениях координат всего в 10" и еще меньше, т. е. значительно точнее, чем это делал Тихо Браге. Но это был предел того, чего можно было достичь без применения телескопов ...

Конечно, и линзовые, и зеркальные телескопы тех времен были очень несовершенными. Зеркала прогибались под собственным весом, трескались, их поверхность быстро тускнела. Но уже эти несовершенные инструменты дали возможность сделать интересные открытия, а также повысить точность определения координат светил..

Так, в частности, в 1655 г. Гюйгенс открыл спутник Сатурна Титан. И ... опять «старая песня» — процитируем А. Берри: «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 остается открывать»... Вскоре, правда, он же сделал открытие, которое зашифровал в виде анаграммы, а опубликовал только в 1659 г. в книге «Система Сатурна»: «Сатурн окружен тонким плоским кольцом, нигде не соприкасающимся с планетой и наклоненным к эклиптике». Уже после смерти Гевелия, в 1690 г., был издан его атлас «Описание всего звездного неба», или «Уранография», с превосходно выполненными изображениями фигур, ассоциированных с названием созвездия. На картах, однако, нет обозначений звезд греческими буквами, хотя такую систему обозначения звезд ввел еще в 1603 г. немецкий астроном Иоганн Байер (1572—1625) в «Уранометрии» — первом полном атласе неба (по некоторым данным, такие обозначения использовал еще в 1559 г. итальянский астроном Пикколомини). А так как зашла речь о наименованиях объектов на Луне, то отметим, что традицию давать морям и кратерам собственные названия ввел бельгийский ученый Микаэль Флорент ван Лангрэн (1600—1675). На его карте Луны 1645 г. около 300 объектов были названы именами библейских пророков, христианских святых, членов ис-

панской королевской семьи. Из них сохранились лишь три названия кратеров — Катарина, Кирилл и Теофил. Более 200 наименований сохранилось из составленной Франческо Мариа Гримальди (1618—1663) карты Луны, опубликованной в 1651 г. в составе «Нового Альмагеста» другого итальянского ученого, Джованни Баттиста Риччоли (1598—1671). Кстати, в этой своеобразной энциклопедии астрономических знаний содержалось обсуждение «Диалогов» Галилея, приводились доказательства в пользу теории Коперника и против нее.

Очень скоро, в 1671—1684 гг., парижский астроном Джованни Доменико Кассини (1625—1712) открыл четыре небольших спутника Сатурна ... Он же, наблюдая отдельные детали поверхности планет, определил периоды обращения Юпитера (9 ч 53 мин) и Марса (24 ч 40 мин).

В 1667 г. французский астроном Жан Пикар (1620—1682) предложил вставлять в окуляр телескопа две крестообразно натянутые нити. Этим простым способом, как оказалось, удастся намного точнее фиксировать положение телескопа по направлению. Совмещение такого телескопа с угломерным прибором (например, квадрантом) дало возможность почти в сто раз повысить точность определения координат светил.

Другим большим достижением в искусстве точных астрономических наблюдений было изобретение Гюйгенсом часов с маятником, описанных в брошюре «Часы» (1658 г.). Гюйгенс приспособил маятник к часам, приводившимся в движение гирями, и с этого времени астрономы получили возможность точно отмечать моменты прохождения звезд через небесный меридиан и тем самым определять их координаты с гораздо большей точностью, чем это делалось ранее. Уместно отметить, что возможность использования маятника для измерения времени была установлена еще в 1586 г. Иостом Бюрги (1552—1632), а позже и Галилеем. Но лишь Гюйгенсу удалось решить эту проблему, которой он посвятил около 35 лет своей жизни; ведь последняя его работа о часах была опубликована в 1693 г., за два года до его смерти.

Все более возрастающие потребности в точных таблицах для определения координат кораблей в море привели к тому, что в XVII в. в отдельных странах были построены первые государственные астрономические обсерватории: в 1667 г. — Парижская, в 1675 г. — Гринвичская. С 1679 г. в Париже начал выходить первый ежегодник для мореплавателей и астрономов «Сведения о времени и небесных движениях», существующий и до настоящего времени.

Установление масштабов Солнечной системы. На протяжении почти 2000 лет астрономы, вслед за Аристархом Самосским, считали, что расстояние от Земли до Солнца (астрономическая единица — а. е.) равно 19 расстояниям Земля — Луна или около 1200 радиусов Земли, допуская ошибку почти в 20 раз. Как мы уже видели, такая погрешность не мешала определить относительные масштабы Солнечной системы (Коперник) и установить основные законы движения планет вокруг Солнца (Кеплер). Но, не имея точных данных о радиусе Земли, не зная расстояния до Луны и Солнца, Ньютон не смог бы (и в этом мы убедимся далее) динамически обосновать гелиоцентрическую систему мира, не смог бы открыть закон всемирного тяготения. Случилось же так, что масштабы Солнечной системы удалось определить как раз в начале его творческой деятельности.

Измерение длины дуги меридиана, равной 1° , в XVII в. было осуществлено несколько раз: в 1614—1617 гг. голландским ученым Виллебрордом Снеллиусом (1580—1626), в 1636 г. англичанином Ричардом Норвудом (1590—1675) и в 1669—1671 гг. Пикаром. Если в первом случае погрешность измерения составляла 2,9%, во втором 0,45%, то в третьем полученное значение длины дуги отличалось от действительного (111 км на 1° в средних широтах) всего на несколько метров!

Так уже в XVII в. было установлено, что радиус Земли $R_\oplus = 6374$ км. Среднее же расстояние от Земли до Луны, которое оценивали в $60,5R_\oplus$, приобрело значение 385 600 км.

Путем простых рассуждений можно прийти к выводу, что расстояние от Земли до Солнца можно найти, измерив расстояние от Земли до какой-нибудь планеты, например до Марса. В самом деле, по Копернику расстояние от Солнца до Марса равно 1,52 а. е. В момент же противостояния, когда Солнце, Земля и Марс находятся на одной прямой, расстояние от Земли до Марса равно $1,52 - 1,00 = 0,52$ а. е. Ну, а если будет найдено, чему равна эта часть астрономической единицы, то нетрудно установить и всю ее целиком, т. е. расстояние от Земли до Солнца!

И вот в 1671—1673 гг. Кассини и Жан Рише (?—1696) одновременно определяют положение Марса среди звезд: первый — в Парижской обсерватории, второй — в г. Кайенна (Французская Гвиана в Южной Америке). По величине параллактического смещения планеты среди звезд и известному расстоянию между пунктами наблюдений (его рассчитать несложно при известных координатах наблюдателей и известном радиусе Земли) можно было путем решения тре-

угольника Париж — Марс — Кайенна определить расстояние от Земли до Марса, а тем самым найти величину астрономической единицы. Оказалось, что расстояние от Земли до Солнца равно 140 000 000 км, т. е. 360 расстояний до Луны. Это значение меньше истинного всего на 6,3 %.

Так во второй половине XVII в. масштабы планетной системы увеличились в 20 раз.

В то же время Гюйгенс сделал попытку оценить расстояние до самой яркой звезды неба — Сириуса. Для этого он сравнивал блеск Сириуса с блеском «искусственной звезды» — стеклянного шарика, на котором рассеиваются солнечные лучи. Предполагая, что Солнце и Сириус испускают одинаковое количество света (на самом же деле мощность излучения Солнца в 17 раз меньше, чем у Сириуса), Гюйгенс установил, что расстояние до Сириуса не менее чем в 28 000 раз превышает расстояние от Земли до Солнца.

Парадоксально, но и в этом случае найденное расстояние было в ... 19,6 раза меньше истинного расстояния до Сириуса. Однако результат Гюйгенса подтверждал выводы Коперника и Галилея о том, что масштабы звездного мира в действительности намного больше, чем это представлялось людям в прошлом.

Каждому читателю известно понятие «световой год»: $1 \text{ световой год} = 63\,240 \text{ а. е.} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}$ — это расстояние, которое проходит свет за один год, распространяясь со скоростью около 300 000 км/с. И вот именно в XVII в. было установлено, что свет распространяется не мгновенно, а с определенной, хотя и очень большой скоростью. Началось же все с того, что в 1668 г. Кассини развил теорию четырех открытых Галилеем спутников Юпитера и составил таблицы их положений. Явление затмения спутника Юпитером наблюдается на всем земном полушарии практически одновременно, и если синодический период обращения спутника известен, то эти моменты затмений можно рассчитать на много месяцев вперед, причем дать их во времени нулевого (гринвичского) меридиана T_0 . Если же затмение было зафиксировано в момент T_1 по местному времени наблюдателя, то разность $T_1 - T_0 = \lambda$ будет долготой места наблюдения, отсчитанной от нулевого меридиана. Тем самым спутники Юпитера могли играть очень важную роль в мореплавании.

Однако сам же Кассини вскоре заметил, что затмения спутников иногда несколько запаздывают, иногда же происходят раньше рассчитанного времени. Наибольшая разница между расчетными значениями составляла 22 мин. В 1675 г. приглашенный на работу в Парижскую обсервато-

рию молодой датский астроном Олаф Рёмер (1644—1710) пришел к выводу, что это явление связано с конечной скоростью распространения света: 22 мин — это время, за которое свет проходит расстояние, равное разности между наибольшим и наименьшим расстоянием между Землей и Юпитером. Отсюда следовало, что скорость света равна 215 000 км/с.

Открытие Рёмера было встречено с недоверием и даже насмешками. Ведь практически в то же время французский ученый Рене Декарт (1596—1650) утверждал, что скорость света безгранично велика. Выдающийся английский ученый Роберт Гук (1635—1703) также полагал, что скорость света хотя и конечна, но столь велика, что ее измерить невозможно. Рёмер сделал соответствующий доклад в Парижской Академии наук, но большинство его слушателей были последователями Декарта — картезианцами, а ведь их учитель говорил об астрономах, что «хотя их предположения всегда ошибочны и недостоверны, они делают весьма правильные заключения, опирающиеся на различные выполненные ими наблюдения»... Можно ли удивляться, что Кассини Рёмера не поддержал. Впрочем, уже тогда было известно, что промежутки времени между двумя затмениями несколько изменяются и вследствие эллиптичности орбит как самого Юпитера, так и его спутников!

В поисках космических сил. Уже Кеплер, выяснив геометрические соотношения планетных движений, задумывался и над их физической причиной. Он справедливо считал, что действие силы притяжения Земли простирается далее за границы земной поверхности, а моря повыливались бы на Луну, если бы их не удерживала Земля. Кеплер сделал правильный вывод, что планеты движутся вокруг Солнца под действием силы, идущей от Солнца. Он знал, что сила света изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния освещаемого тела от источника света, и в «Гармонии мира» даже поставил вопрос, не подчинено ли ослабление силы притяжения этому же закону ...

Но Кеплер не мог открыть закон всемирного тяготения. Да, он ввел в физику понятие инерции и даже сам применял этот термин, подразумевая под ним явление сопротивления покоящихся тел движению. И лишь во «Сне» или «Лунной астрономии», точнее в примечании 75, он пишет, что при взаимном уравнивании сил, действующих на тело (когда эти силы «погашаются»), «тело само в целом движет свои части». Но труд этот, как уже отмечалось, вышел в свет после смерти Кеплера. Ранее же, вслед за своими предшест-

венниками, Кеплер считал, что для движения планет необходима подталкивающая сила, источник которой он и видел во вращении Солнца. По Кеплеру природа этой силы подобна магнитной. Он говорил так: «Земля притягивает к себе все тела, летающие в воздухе, потому что они прикованы к ней магнитной силой».

Со временем (соответственно в 1632 и в 1644 гг.) ученики Галилея Бонавентура Кавальери (1598—1647) и Эванджелиста Торричелли (1608—1647) сформулировали закон инерции в его современной форме: при отсутствии возмущающих сил скорость и направление движения не изменяются. Отсюда уже логически следовало, что планета отклоняется от прямолинейного движения силой, направленной к центру Солнца.

В 1645 г. французский ученый Исмаил Буйо (1605—1694) в своей книге «Астрономия филолаическая, новое сочинение, в котором движение планет объясняется при помощи новой и истинной гипотезы» утверждал, что сила, направленная к центру мира, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. В 1666 г. итальянский математик Джованни Альфонсо Борелли (1608—1679) высказал, хотя и в не совсем четкой форме, что кроме силы притяжения, которая зависит от расстояния, на каждую планету действует еще и центробежная сила, величина которой зависит от скорости движения планет. Обе эти силы уравновешивают друг друга. Борелли построил также подвижную модель планетной системы: в сосуде, наполненном жидкостью, планета «изображалась» пробкой, Солнце — осью. Пробка притягивалась к оси, так как к ним обоим были прикреплены магниты. В сосуде была также мешалка, которая, действуя на пробку, заставляла ее вращаться вокруг оси. Вследствие этого на «планету» начинала действовать центробежная сила. Скорость вращения мешалки можно было подобрать так, чтобы обе силы — притяжения и центробежная — уравновешивались и пробка описывала в сосуде окружности.

В книге «*Horologium oscillatorium*» («Маятниковые часы», 1673 г.). Гюйгенс изложил не только теорию маятника, но и ряд вопросов, связанных с движением тела по криволинейной траектории. Здесь он впервые сформулировал закон колебания маятника. В пятой части книги Гюйгенс приводит теоремы о центробежной силе (без доказательств они были опубликованы в книге «О центробежной силе» через восемь лет после смерти ученого). В частности, Гюйгенс пишет: «Если два одинаковых тела движутся с одина-

ковой скоростью по окружности разных кругов, то их центробежные силы обратно пропорциональны диаметрам» и «Если два одинаковых тела движутся по одинаковым кругам с разной скоростью, но оба равномерно, как мы это здесь всегда подразумеваем, то их центробежные силы относятся, как квадраты скоростей».

После этого стало понятно, какой должна быть и равная центробежной силе сила притяжения, удерживающая планету на определенной орбите, хотя ... сам Гюйгенс считал понятие притяжения лишенным смысла.

Ряд важных мыслей о закономерностях движения небесных тел высказал Р. Гук. В 1666 г. он сформулировал такие предположения: 1) Между всеми небесными телами действуют силы взаимного притяжения. 2) Отклонение тела от равномерного и прямолинейного движения обусловлено действием на него определенной силы и в зависимости от характера действия этой силы могут возникать круговые, эллиптические и другие орбиты. 3) С увеличением расстояния силы притяжения убывают. Гук даже демонстрировал на примере маятника действие двух сил — центробежной и центростремительной (рис. 46). Однако все это требовало математического обоснования ...

К тому же в это время широкое распространение получили взгляды Декарта, который, кстати, в книге «Принципы философии» (1654 г.) ввел понятие о мере движения как произведении массы тела на его скорость. По Декарту первичная материя (которую якобы сотворил бог, сообщив ей при этом начальный толчок) благодаря своему движению разделилась на три элемента, отличающихся друг от друга степенью тонкости. Из самых крупных частиц образовалась Земля, планеты и кометы, из более тонких — звезды и Солнце, из самых тонких — вещество, наполняющее мировое пространство. Это «самое тонкое» вещество находится будто бы в вихревом движении. Каждая планета и каждый спутник расположены в центре своего вихря, как соломинка в

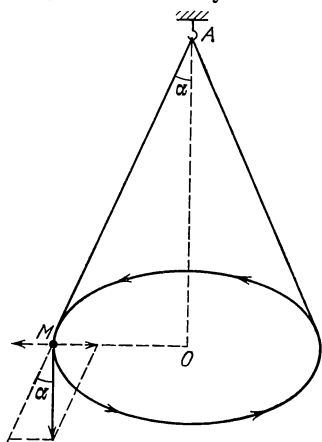


Рис. 46. Моделирование действия центробежной и центростремительной сил на примере маятника (опыт Гука)

водовороте. Вихрь Солнца заставляет планеты вращаться вокруг него, вихрь Земли движет Луну. Отклонение планет от кругового движения Декарт объяснял столкновением и искривлением вихрей. Вихрь Земли якобы «прижимает» все земные предметы к поверхности планеты, вынуждает их падать на нее. Следовательно, тяготение должно было быть стремлением тел упасть в центр вихря. Приливы, по Декарту, являются результатом давления, производимого на поверхность океана вихрем, следующим за движением Луны.

Любопытна теория Декарта о природе комет (кстати, он был одним из первых, кто признал, что кометы находятся от Земли дальше, чем Луна). Декарт утверждал, что звезды имеют ту же физическую природу, что и Солнце. На них, как и на Солнце, есть пятна. Каждая звезда окружена своим «собственным» вихрем. И если на звезде образуется слишком много пятен и она почти совсем перестает светиться, то она теряет способность удерживать около себя свой вихрь, и увлекается другими вихрями, странствуя во Вселенной. Мы будто бы и наблюдаем ее в виде кометы, как только она приближается к Солнцу. Позже, мол, когда пятна, т. е. окружающие звезды темные массы, разрушаются, комета снова превращается в звезду и, образуя вокруг себя новый вихрь, возвращается на свое первоначальное место.

Теория Декарта была неправильна в своей основе. Из нее не удалось вывести никаких закономерностей движения планет вокруг Солнца. Но она почти на сто лет завоевала большой авторитет на европейском континенте, вытесняя из университетов схоластические представления, содействовала развитию астрономии и прокладывала дорогу для динамической модели мира, построенной Ньютоном.

Как и книги Коперника, Галилея и Кеплера, «Принципы философии» Декарта были внесены в «Индекс запрещенных книг» — ведь и здесь Земля, охваченная вихрем, вращалась и двигалась вокруг Солнца. И лишь в 1758 г. католическая церковь сняла запрет на издание книг, в которых шла речь о движении Земли, лишь в 1828 г. конгрегация кардиналов в Риме постановила исключить из списка эти «еретические» книги.

Победа идей Коперника. Уже неоднократно упоминавшийся Рейнгольд писал: «Таким образом, именно теперь, когда астрономические науки уже давно жаждут обрести нового Птолемея ... можно надеяться, что он пришел к нам из Пруссии, а его божественным гением будут по праву восхищаться грядущие поколения». И хотя Кеплер в своих

«Прусских таблицах» явно о теории Коперника не говорил, но она была положена в их основу, и это способствовало популяризации идей Коперника.

Кроме Джордано Бруно, Кеплера и Галилея распространению идей Коперника способствовали и многие другие ученые. Так, в Голландии Симон Стевин (1548—1620) издал в 1605 г. «Математические размышения», в которых, в частности, высказал утверждение, что для объяснения постоянного направления земной оси в пространстве нет необходимости в придуманном Коперником «третьем движении» Земли. Три года спустя он же опубликовал работу «О движении небес», в которой изложил гелиоцентрическую модель мира. Английский ученый Томас Диггес (1546—1595) в 1576 г. опубликовал очерк гелиоцентрической теории, в который включил отдельные выдержки из работы Коперника. Его соотечественник Уильям Гильберт (1544—1603) утверждал, что движение планет происходит под действием сил магнитной природы, его «Новая философия о нашем подлунном мире» вышла в свет после смерти ее автора в 1651 г. Оба этих ученых отвергали существование сферы неподвижных звезд.

Решительным последователем теории Коперника был Гевелий, который в 1675 г. высказал утверждение о том, что кометы движутся в пространстве по параболам. Краткое изложение теории Коперника содержалось и в «Театре комет» (1667 г.) другого выдающегося польского ученого Станислава Любинецкого (1623—1675). Гюйгенс в книге «Теория космоса», изданной посмертно в 1698 г., дал прекрасное изложение системы Коперника. Ее описал в своей «Космографии» и голландский географ Виллим Янсон Блеу. Книга эта была издана в Амстердаме в 1620 г. и переиздана в 1645 г., а примерно через 20 лет под названием «Зерцало всея Вселенная» она появилась и в России, перевод был осуществлен Епифанием Славинецким с двумя помощниками. Там же, в Амстердаме, в 1650 г. была издана на латинском языке «Общая география» Бернгарда Варения, в которой много места было уделено изложению системы Коперника и доказательствам движения Земли. В 1718 г. она была издана в России почти одновременно с переводом «Теории космоса» Гюйгенса.

Известен, по-видимому, лишь один случай, когда серьезный ученый попытался «возвратить Землю на ее место» в центре мира и ... усовершенствовать систему Тихо Браге. Это уже упоминавшийся Риччоли. В его «Новом альмагесте» Луна, Солнце, а также Юпитер и Сатурн движутся вокруг

Земли, Марс же, Венера и Меркурий обращаются при этом вокруг Солнца. Но этот рецидив некоперниканской системы мира не повлиял на дальнейшее развитие астрономии. К тому же вскоре появился фундаментальный труд Исаака Ньютона, в котором были обоснованы причины движения планет вокруг Солнца ...

Забегая вперед, отметим, что, в частности, польский ученый и новгородский воевода, член Парижской Академии Юзеф Александр Яблоновский (1711—1777) в 1760 г. издал во Львове книгу «О движении Земли», в которой стремился убедить церковь в правильности учения Коперника. Три года спустя эта книга была переиздана одновременно в Гданьске и Риме. В 1768 г. иезуит, преподаватель коллегии в Люблине Григорий Аракелович (1732—1798) издал в Перемышле трактат «Космологическое рассуждение, в котором обсуждается вопрос о том, как система Коперника согласуется с философией и в особенности со священным писанием», в котором он доказывал непротиворечивость теории Коперника и Библии.

Появились в то время и сочинения, в которых рассматривалась возможность существования жизни вне нашей планеты. Так, в 1638 г. английский естествоиспытатель Джон Уилкинс (1614—1672) в книге «Открытие нового мира» излагал гипотезу о том, что Луна заселена разумными существами. В 1640 г. вышла его книга «Рассуждение о новой планете», в которой он вслед за Коперником утверждал, что Земля — лишь одна из планет, обращающихся вокруг Солнца. Кстати, позже Уилкинс стал епископом и одним из основателей Лондонского королевского общества. Обе его книги в течение XVII в. переиздавались несколько раз, были переведены на французский (1656 г.) и немецкий (1713 г.) языки. Как отмечают Е. и П. Рыбки, Уилкинс разделял мысль о множественности обитаемых миров, он выдвигал утверждение, что Библию следует понимать не дословно. Уилкинс мечтал о полетах к другим небесным телам, в частности к Луне, и не сомневался, что в будущем людям удастся побывать на ней, наивно полагая, что можно выдрессировать ... птиц настолько, чтобы они донесли человека до Луны на своих крыльях.

В 1686 г. во Франции была издана книга Бернара Ле Бовье Фонтенеля (1657—1757) «Рассуждение о множественности миров», в которой популярно излагались теории Коперника и Декарта, описывались жители Луны и других планет: «Не следует удивляться, слыша, что Луна подобна Земле и, по всей вероятности, обитаема». О спутниках Юпитера

говорилось так: «Не менее вероятно, что и они населены ...». Но, по мнению автора, это не люди («ведущие свое происхождение от Адама»), а «обитатели», так как «это вполне соответствует моей гипотезе о бесконечном разнообразии, которое природа проявляет во всех своих творениях». В 1740 г. книга Фонтенеля была издана на русском языке в переводе А. Кантемира.

ВЕЛИКОЕ ПРОНИКНОВЕНИЕ

Он «стоял на плечах гигантов». Открытие Ньютоном закона всемирного тяготения смело можно назвать актом великого проникновения человека в законы природы. Говоря о Ньюtone, С. И. Вавилов в биографии ученого подчеркнул: «Можно утверждать, что на всей физике лежит индивидуальный отпечаток его мысли; без Ньютона наука развивалась бы иначе».

Сам же Ньютон свой научный подвиг оценил так: «Если я увидел больше других, то лишь потому, что я стоял на плечах гигантов» ...

Выдающийся английский ученый, основоположник классической теоретической физики Исаак Ньютон родился 4 января 1643 г., через сто лет после смерти Коперника, в местечке Вульсторпе вблизи Грантама в семье фермера. Уже в детстве он отличался любовью к книгам и к конструированию всяческих механизмов. В 1661 г. Ньютон начал свою учебу в Колледже св. Троицы при Кембриджском университете, где познакомился с «Оптикой» Кеплера, работами Евклида и Декарта. В 22 года он вывел известную формулу бинома.

В 1665—1667 гг. в Англии свирепствовала чума. Ньютон вернулся домой и углубился в изучение труднейших научных проблем. Тогда-то он задумался и над вопросом: что же вынуждает планеты двигаться вокруг Солнца, а Луну — обращаться вокруг Земли?

Согласно легенде, когда Ньютон обдумывал эти вопросы, перед ним с яблони упало яблоко. И здесь будто бы его осенила мысль: а не является ли этой силой так хорошо известная всем сила тяготения? Но если бы на Луну действовала лишь одна сила, то она упала бы на Землю, как и это яблоко! Значит, необходимо было найти и другую силу, которая удерживает Луну от падения на Землю. И вот задолго до Гюйгенса, опубликовавшего свои формулы через шесть лет после этого, Ньютон приходит к выводу, что при движении тела по криволинейной траектории на него действует

центробежная сила. Вот как писал обо всем этом сам Ньютон в автобиографическом наброске 1714 г.:

«... Я начал размышлять о тяготении, простирающемся до орбиты Луны, и догадался, каким путем можно определить силу, с которой шар, вращающийся внутри сферы, давит на поверхность этой сферы. Исходя из правила Кеплера о том, что периоды планет находятся в полуторном отношении к расстояниям от центров их орбит, я вычислил, что силы, которые удерживают планеты на их орбитах, должны быть обратно пропорциональны квадратам расстояний от центров, вокруг которых они вращаются. А далее я сравнил силу, требуемую для удержания Луны на ее орбите, с силой тяжести на поверхности Земли и нашел, что они почти замечательно совпадают...».

Однако результаты этих своих исследований Ньютон опубликовал лишь двадцать лет спустя, в 1687 г. По-видимому, главной причиной задержки Ньютоном публикации его открытия было то, что он долгое время не мог решить задачу о притяжении сферой внешней точки. «Простое решение, состоящее в том, что такая сфера может быть заменена точкой в центре с массой всей сферы, было найдено Ньютоном много позднее» *).

В то же время «вынужденных каникул» Ньютон провел важные исследования по оптике. Он закупал призмы, линзы и полировочный порошок, стремился шлифованием улучшить качество телескопических линз, придать их поверхности идеальную форму. Но изображения светил все равно оставались плохого качества. Это привело Ньютона к мысли, что причиной является не плохое качество линз, а сама природа света. И тут же, пропуская узкий пучок солнечного света через призму, Ньютон открыл явление *дисперсии* — разложение белого света в спектр. Стало очевидно, что таким же свойством разлагать свет обладает и обыкновенная линза. Поэтому Ньютон начал строить зеркальный телескоп, в котором этого эффекта (хроматической аберрации) не было бы. Позже в 1672 г. он доложит свои результаты в сообщении «Новая теория света и цветов», а в 1704 г. выйдет его «Оптика». Как отметил С. И. Вавилов, уже в этом первом мемуаре Ньютон «впервые показал миру, что может сделать и какой должна быть экспериментальная физика. Ньютон заставил опыт говорить, отвечать на вопросы и давать такие ответы, из которых вытекала «теория». «Принципы фи-

*) Вавилов С. И. Исаак Ньютон. // Вавилов С. И. Собр. соч.: Т. III.— М.: Изд-во АН СССР, 1956.— С. 395.

лософии» Декарта начинаются мудрым правилом: «Для исследования истины необходимо раз в жизни все подвергнуть сомнению, насколько возможно». Больше, чем Декарт, этому правилу следовал Ньютон. В его оптических сочинениях и «Началах» наука как бы начинается сызнова, как будто до Ньютона науки не существовало. Большая, но несколько хаотическая работа в области учения о цветах, выполненная до Ньютона, совершенно поглощается и меркнет в его оптических исследованиях» (*Вавилов С. И.*, с. 325).

Третье открытие, сделанное Ньютоном в 1665—1667 гг., — это создание метода дифференциального и интегрального исчисления. Но публикацию своих открытий Ньютон оттягивал ...

В 1669 г. Ньютон стал профессором кафедры физики Кембриджского университета и на этой должности пробыл более тридцати лет.

При помощи собственноручно изготовленного рефлектора (о котором уже шла речь) Ньютон мог наблюдать спутники Юпитера и фазы Венеры. Через три года, в 1671 г., он построил свой второй, несколько больший телескоп-рефлектор. Этот инструмент вызвал восхищение королевской семьи и членов Лондонского королевского общества, которое через несколько месяцев избрало Ньютона своим членом.

В те годы идея тяготения уже «носилась в воздухе». Так, в 1684 г. Роберт Гук, лондонский архитектор Кристофер Рен и бывший в то время помощником королевского астронома Эдмонд Галлей (1656—1742) пришли к выводу, что сила тяготения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от центрального тела. Необходимо было доказать, что под действием такой силы планета будет описывать эллиптическую орбиту. Галлей приехал в Кембридж проконсультироваться с Ньютоном и здесь с удивлением обнаружил, что эту задачу тот давно уже решил...

Галлею удалось уговорить Ньютона передать рукопись своего труда Королевскому обществу для публикации. Но лишь в 1686 г. рукопись под заглавием «Математические начала натуральной философии» была готова полностью, в середине 1687 г. книга вышла в свет, открывая новую эпоху в развитии науки.

О том, как жил великий ученый в эти годы, рассказал его секретарь Хемфри Ньютон, проживший у Ньютона с 1685 по 1689 г.: «Все это время ... он .. был кроток, любезен, но всегда погружен в себя. Не помню, чтобы он когда-нибудь смеялся, разве только однажды, в ответ на вопрос какого-то знакомого: что он нашел интересного у Евклида?

... Сэр Исаак был затворник, вечно сидел над своими бумагами, редко бывал в гостях, да и к нему мало кто заглядывал ... Он не любил развлечений, не катался верхом, не играл в кегли — такого случая я просто не помню; все это он считал пустой тратой времени. Из своей комнаты он выходил только затем, чтобы читать лекции в университете. Но слушателей было так мало — а еще меньше таких, кто понимал его, — что нередко он читал, можно сказать, перед пустыми стенами ... Он до такой степени был погружен в свои занятия, что ел очень редко, вообще часто забывал о еде, так что, бывало, зайдешь к нему в комнату, а обед стоит нетронутый. Напомнишь ему, он отвечает: «Сейчас!» — и проглотит стоя две-три ложки, — никогда не ел сидя, как все люди. Спать ложился не ранее как в два или три часа пополудни, иногда сидел до пяти, даже до шести, и в общем почивал не более 4—5 часов, особенно весной и осенью ...

Я не замечал, чтобы он пил когда-либо вино, эль или подобные напитки, разве только за едой, да и то самую малость... Лишь один раз за все время он хворал... Болезнь свою он переносил терпеливо и мужественно, и даже как будто не дорожил жизнью; видя, как я обеспокоен его состоянием, он старался меня ободрить» *).

С 1696 г. Ньютон находится в Лондоне, в частности с 1703 г. — как президент Королевского общества. Умер он 31 марта 1727 г. в возрасте 85 лет и был похоронен в Вестминстерском аббатстве — национальном пантеоне Англии. На его могиле помещена надпись: «Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, который почти божественной силой своего ума впервые объяснил при помощи своего математического метода движения и формы планет, пути комет, приливы и отливы океана. Он первый исследовал разнообразие световых лучей и особенности цветов, следующих отсюда, которых до этого никто даже не подозревал. Старательный, проникновенный и правдивый толкователь природы, древностей и святого писания, он прославил в своем учении величие всемогущего Творца. Простоту, которую требует евангелие, он доказал своей жизнью. Пусть смертные радуются, что среди них жило такое украшение человеческого рода».

Сам же Ньютон о себе сказал однажды так: «Не знаю, как на меня посмотрит мир, но самому себе я представляюсь мальчиком, играющим на морском берегу и приходящим в восхищение, когда ему удастся порой найти более гладкий,

*) Володин Б. О яблоках и звездах // Книги, открывающие мир.— М.: Книга, 1984.— С. 69—70.

нежели обыкновенно, камешек или красивую раковину; между тем, громадный океан сокровенной истины простирается передо мной...».

«Математические начала натуральной философии». В протоколе заседания Королевского общества от 28 апреля 1686 г. записано: «Доктор Винсент представил Обществу рукописный трактат, озаглавленный «Математические начала натуральной философии» и посвященный Обществу достопочтенным Исааком Ньютоном. Автор трактата приводит математическое доказательство гипотезы Коперника о небесных движениях из единственного допущения о силе тяготения, направленной к центру Солнца и убывающей обратно пропорционально квадрату расстояния от означенного центра»...

«Начала» состоят из трех книг, которым предшествуют главы «Определения» и «Аксиомы или законы движения». Здесь, в частности, Ньютон дает определение массы, центростремительной силы, излагает собственные представления о пространстве и времени, формулирует три хорошо известных сегодня закона движения. В первых двух книгах, имеющих одинаковое название «О движении тел», Ньютон рассматривает вопрос о нахождении центростремительных сил, вывод их из законов Кеплера, определение орбит тел и, наконец, влияние среды на это движение (учитывается трение). И хотя Ньютон был одним из создателей нового математического метода — дифференциального и интегрального исчисления, в своей книге он избегает его применения. Каждое из сформулированных им утверждений или теорем он обосновывает при помощи геометрических приемов. Вероятно, это было сделано для того, чтобы облегчить читателю изучение излагаемых им проблем: к геометрическим доказательствам привыкли все, тогда как осваивать новый (принципиально новый!) метод еще лишь предстояло. Но современному читателю читать книгу Ньютона очень тяжело. Простым, привычным для нас языком результаты Ньютона были изложены Леонардом Эйлером (1707—1783) в его книге «Механика» (1736 г.).

Своими «Началами» Ньютон заложил фундамент небесной механики, полностью доказал правильность гелиоцентрической системы мира. Со времен Ньютона стало очевидно, что между «земным» и «небесным» нет никакого различия, что мир един и что это единство состоит в его материальности.

Большое внимание Ньютон уделил методам установления орбит по нескольким точкам, движениям тел по орбитам,

апсиды которых перемещаются. Он установил: если два тела притягиваются друг к другу, то ни одно из них не останется в покое, а оба они, как бы притягиваясь к общему центру, будут обращаться вокруг него. Сам же центр тяготения будет находиться в состоянии покоя или же двигаться равномерно и прямолинейно. Ньютон тщательно проанализировал движение двух меньших тел (типа Земля — Луна) вокруг третьего, большего (Солнца), а также все неминуемо при этом возникающие особенности неравномерного движения наименьшего из них (Луны) и т. д.

Третья книга «Начал», «О системе мира», начинается словами: «В предыдущих книгах я изложил основы философии, не столь философские, сколько математические, однако такие, что на них могут быть основаны размышления о вопросах физических... Остается изложить, исходя из этих основ, учение о строении системы мира».

Приступая к этой задаче, Ньютон формулирует прежде всего основные «исходные» постулаты. В первом издании это были девять «гипотез», которые во втором и дальнейших изданиях разделены на две группы и несколько изменены. После этой переработки третья книга состоит из четырех «Правил научных рассуждений», пяти «Явлений», сорока двух «Утверждений» и «Общего поучения».

В «Явлениях» Ньютон приводит законы Кеплера, в частности, для описания движения Юпитера, Сатурна и их спутников. «Явление III» звучит так: «Пять главных планет — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн — охватывают своими орбитами Солнце». В доказательство этого Ньютон приводит изменение фаз Меркурия и Венеры и полноту дисков верхних планет.

Далее в «Утверждении IV» Ньютон рассматривает движение Луны вокруг Земли и доказывает тождественность силы тяготения с силой притяжения Землей всех предметов на ее поверхности. Именно благодаря этому сопоставлению Ньютон и устанавливает закон всемирного тяготения.

Рассмотрев вопрос движения спутников вокруг Юпитера и Сатурна, Ньютон сделал такие три вывода: 1) тяготение существует на всех планетах; 2) тяготение, направленное к любой планете, обратно пропорционально квадратам расстояний мест к ее центру; 3) все планеты тяготеют одна к другой.

После этого он формулирует важное утверждение, что «все тела тяготеют к каждой отдельной планете, и вес тела на каждой планете при одинаковых расстояниях от ее центра пропорционален массам этих планет». Ибо «не вызывает

сомнения, что природа тяготения на других планетах такая же, как и на Земле.

Сопоставляя периоды обращения Венеры вокруг Солнца, одного из спутников Юпитера и Сатурна, Луны вокруг Земли, Ньютон впервые «взвешивает» Солнце и названные планеты: «... Я нашел, что веса равных тел, находящихся на одинаковых расстояниях от центра Солнца, Юпитера, Сатурна и Земли, относятся между собой соответственно как числа 1, 1/1067, 1/3071 и 1/169 282».

Если говорить конкретно о массе Луны, то Ньютон оценил ее по высоте приливных горбов. По Ньютону она в 39,788 раза меньше, чем масса Земли (на самом же деле — в 81,3 раза).

Поскольку, далее, «диаметры Солнца, Юпитера, Сатурна и Земли относятся между собой как 10 000, 997, 791 и 109 ..., то плотности их относятся как 100, $94\frac{1}{2}$, 67 и 400». Земля же «вчетверо плотнее Солнца, ибо вследствие огромной своей раскаленности Солнце разрежено».

Какой огромный скачок вперед по сравнению с началом того же XVII в.! Имея правильное значение радиуса Земли, значение расстояния от Земли до Солнца, Ньютон справедливо указывает, что размеры Солнца в 109 раз превышают размеры Земли, что плотность (средняя) солнечного вещества в четыре раза меньше земного. Ньютон даже назвал истинную причину большого разрежения Солнца — высокую температуру его недр. Но здесь существенную роль играет и химический состав, о чем, однако, он в то время еще не догадывался.

В межпланетной среде, утверждал Ньютон, вещество чрезвычайно разрежено, поэтому «движение планет может сохраняться в небесном пространстве в течение очень длительного времени». В частности, «Юпитер при обращении в среде такой плотности за 1 000 000 лет не потерял бы и одной миллионной части своего количества движения...».

В «Утверждении XXIV» Ньютон подробно обосновал тезис, что «приливы и отливы обуславливаются действием Луны и Солнца». И как не вспомнить здесь, что за две тысячи лет до Ньютона над этой проблемой задумывался и Аристотель. По этому поводу Галилей в «Диалогах» писал так: «... Причины их, непостижимые для Аристотеля, были, как говорят, причиной его смерти; наблюдая длительное время это явление со скалы Негропонта, он, охваченный отчаянием, бросился в море и нашел там добровольную смерть». В самом деле, как тут было не впасть в отчаяние, если явление приливов и отливов так не укладывалось в придуман-

ную Аристотелем схему «вынужденных» движений (вверх) и «естественных» движений (вниз).

В третьей книге Ньютон значительное место уделяет кометам. Здесь он доказывает «Лемму IV»: «Кометы расположены дальше от Луны и бывают в участке планет» и «должны опускаться далеко внутрь сферы Сатурна, что и доказано их параллаксами». Как и планеты, «кометы двигаются по коническим сечениям, имеющим свой фокус в центре Солнца и описывают радиусами, проведенными к Солнцу, площади, пропорциональные (отрезкам) времени». Если же говорить о природе комет, то они «светятся отраженным от них солнечным светом», а «хвост является не чем иным, как мельчайшим паром, выделяемым головой или ядром кометы» вследствие нагревания ее Солнцем.

Ньютон задумывался и над источниками энергии, излучаемой звездами. В конце «Начал», где он рассматривает возможность падения комет на Солнце, читаем: «Следовательно, неподвижные звезды, которые постепенно истратились на свет и испарение, могут восстанавливаться падающими на них кометами и, получив новый запас горючего, могут быть приняты за новые звезды. Такого типа те неподвижные звезды, которые появляются внезапно и вначале имеют очень сильный блеск, а со временем постепенно исчезают». Правда, на следующей странице читаем и такое: «Но кажется, что неподвижные звезды, которые по очереди появляются и исчезают, блеск которых возрастает постепенно и которые по своей яркости лишь изредка превышают звезды 3 величины, принадлежат к другому типу, а именно: они, вращаясь, поворачиваются к Земле то своей светлой, то темной стороной». По-видимому, здесь, по аналогии с Солнцем, Ньютон представлял, что поверхности звезд могут быть почти полностью покрыты темными пятнами ...

В «Общем поучении» Ньютон утверждает: «Такое утонченное единение Солнца, планет и комет не могло произойти иначе, чем по умыслу и по воле могущественного и премудрого существа», которое «управляет всем не как душа мира, а как властелин Вселенной», ибо «от слепой необходимости природы, которая всюду и везде одна и та же, не может происходить изменение вещей». Что касается причины самого тяготения, заканчивает Ньютон свои «Начала», то «причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, а гипотез я не измышляю».

Несмотря на веру Ньютона во «властелина Вселенной», ему не удалось избежать обвинений в том, что он «божье провидение заменил силой притяжения». Известный философ

Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646—1716) нападал на закон всемирного тяготения за то, что он «подрывает основы религии, а следовательно, и откровения»...

«Начала» Ньютона, изложенные в них идеи помогли объяснить огромное количество фактов, относящихся к природе отдельных тел Солнечной системы. Благодаря трудам Ньютона стало очевидно, что закон всемирного тяготения имеет всеобщий характер. Поэтому труды Ньютона были мощным двигателем дальнейших упорных и продолжительных научных поисков.

На статуе, воздвигнутой Ньютону в 1755 г. в коллегии Троицы в Кембридже, помещены слова Лукреция: «*Qui genus humanum ingenio superavit*» — «Разумом он превосходил род человеческий». Английский поэт Александр Поп (1688—1744) написал такое двустишие:

«Природы строй, ее закон в ответной тьме таился,
И Бог сказал: «Явись, Ньютон!» И всюду свет разлился...» *).

Выдающийся французский математик Жозеф Луи Лагранж (1736—1813) сказал: «Ньютон был величайшим гением из всех, когда-либо существовавших, и самый счастливый, ибо только однажды дано человеку открыть систему мира». Это — правда. Но уже в нашем веке А. Эйнштейн создал новую систему мира. И первая, и вторая являются всего лишь более или менее сложным отображением реальной картины мира. А поиски более общих законов его строения продолжаются дальше ...

*) Пер. А. П. Павлова (см. *Вавилов С. И. Собр. соч.: Т. III.* — С. 460, 464. В оригинале оно звучит так:

Nature and Nature's laws lag hid in night.
God said: «Let Newton be!» And all was light.

Ученый должен систематизировать факты. Наука состоит из них подобно тому, как здание состоит из кирпичей. Однако простое нагромождение фактов похоже на науку не более, чем груда кирпичей на дом.

Анри Пуанкаре

Г л а в а 3

ОТ НЬЮТОНА К ЭЙНШТЕЙНУ

Законы небесной механики открыты. Пришло время терпеливого, упорного и самоотверженного труда, время подбирать ключи и к пониманию физики процессов, происходящих в недрах Солнца и звезд.

ИЗМЕРИТЬ И ВЗВЕСИТЬ!

Спор о фигуре Земли. Уже упоминавшийся выше Жан Рише, находясь в Кайенне (географическая широта $\varphi = +5^\circ$), обратил внимание на то, что маятник фиксированной длины качается медленнее, чем в Париже. Отсюда следовало, что ускорение силы тяжести на экваторе меньше, чем в высоких широтах. Было найдено и объяснение этому явлению: оно обусловлено действием центробежной силы, возникающей при вращении Земли. Отсюда оставался один шаг до заключения, что по этой причине Земля «чутьочку» сплюснута у полюсов. Такое заключение сделал Гюйгенс около 1683 г. и опубликовал его в 1687 г., оценив величину сплюснутости в $1/578$.

Независимо от Гюйгенса и даже несколько раньше к тому же выводу пришел и Ньютон. В предположении об однородности Земли, учитывая взаимное притяжение всех составляющих ее материальных частиц, Ньютон нашел, что отношение полярного радиуса Земли к экваториальному составляет $229/230$, так что сплюснутость ее равна $1/230$ (современное значение $1/298,3$). Ньютон показал также, что из-за отклонения Земли от сферичности под действием притяжения Солнца и Луны происходит прецессионное движение земной оси, и подсчитал величину прецессии $50''$ в год (к тому же он показал, что это прецессионное движение не может быть вполне равномерным, так как положе-

ние Солнца и Луны относительно плоскости земного экватора изменяется; соответствующее короткопериодическое колебание — *нутация* — было открыто в 1747 г. Джеймсом Брадлеем).

Тем не менее французские астрономы на основе проводившихся в течение многих лет измерений длины дуги меридиана пришли к выводу, что длина 1° меридиана уменьшается к северу. Напрашивался вывод, что Земля должна быть вытянута у полюсов. Поэтому в среде французских ученых, где господствовала вихревая теория Декарта, к теории Ньютона относились скептически. В своих «Письмах из Лондона об английском» Вольтер в 1730 г. писал: «Француз, который попадает в Лондон, обнаруживает, что все совершенно изменилось в философии... В Париже вы видели вселенную, наполненную круговыми вихрями из тончайшей материи, в Лондоне вы ничего этого не видите... В Париже Земле придают форму дыни, в Лондоне она сплюснута у полюсов»...

Кстати, в 1733 г. Вольтер в трактате «Элементы философии Ньютона» изложил в популярной форме ньютонову теорию света и закон всемирного тяготения. Он же был инициатором перевода «Начал» на французский язык.

Между тем Парижская Академия наук приняла решение для измерения длины дуги меридиана послать экспедицию в северную часть Перу (теперь Эквадор), а также в Лапландию. К 1740 г. уже стало ясно, что с увеличением широты длина дуги, соответствующей 1° меридиана, возрастает. Это решило спор в пользу идей Ньютона и в значительной мере содействовало их распространению во Франции и в Европе в целом.

Измерения параллакса Солнца. Одной из важнейших задач, стоявших перед астрономами еще при жизни Ньютона, было уточнение расстояния от Земли до Солнца. Кроме уже упоминавшегося метода наблюдений Марса в противостоянии с двух точек Земли они решили использовать явление прохождения Венеры по диску Солнца. Впервые указал на такую возможность Галлей, который, находясь на острове св. Елены в 1676 г., наблюдал прохождение Меркурия по диску Солнца. Регистрируя моменты вступления и схождения планеты с диска Солнца, Галлей получил, однако, для параллакса Солнца явно неудовлетворительный результат $45''$ (истинное значение $8,79''$). Галлей сделал вывод, что точность метода будет намного выше, если наблюдать прохождение по диску Солнца Венеры. «Это наблюдение такого рода, которое одно только и может

дать в следующем веке расстояние от Солнца до Земли, а именно когда Венера будет находиться перед солнечным диском 26 мая 1761 г., тогда параллакс Венеры будет почти втрое больше солнечного, наблюдения будут удобными и все, что можно получить при этом, будет легко осуществимо», писал он в 1691 г.

Очевидно, что если бы плоскость орбиты Венеры совпала с плоскостью эклиптики, то прохождение Венеры по диску Солнца наблюдалось бы через каждые 584 дня в нижнем соединении планеты с Солнцем. Однако плоскость орбиты Венеры наклонена к эклиптике под углом $3,39^\circ$, и поэтому упомянутое явление имеет место лишь в случае, когда Венера в нижнем соединении находится вблизи узла своей орбиты. А поскольку эти узлы медленно передвигаются относительно точки весеннего равноденствия, то прохождения Венеры по диску Солнца происходят с интервалами 121,5; 8; 105,5 и 8 лет: в июне 1761 и 1769, в декабре 1874 и 1882 и в будущем — в 2004 и 2012, а также в 2117 и 2125 годах.

Задача заключается в том, чтобы зафиксировать моменты «касания» дисков Солнца и планеты и их «отрыва». Разность этих моментов дает длительность прохождения Венеры по диску Солнца t_A (t_A достигает 7 часов, если планета проходит через центр диска) для наблюдателя, находящегося в определенном пункте A с известными географическими координатами. Если же пункты A и B расположены на различных широтах, то для наблюдателя в пункте A Венера пройдет по хорде CD , а для наблюдателя в пункте B — по линии EF (рис. 47).

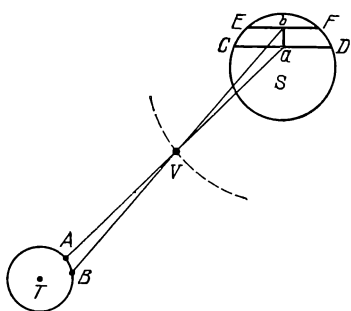


Рис. 47. Прохождение Венеры по диску Солнца, наблюдаемое из двух пунктов Земли

При прохождении Венеры по краю солнечного диска разница времени $t_A - t_B$ может достигнуть половины часа. Поскольку же $\angle aVb = \angle AVB$, по известному расстоянию

AB нетрудно определить расстояние от Земли до Венеры, а следовательно, и до Солнца.

Для регистрации моментов явления были организованы многочисленные экспедиции в Индию, на мыс Доброй Надежды в Африку, на остров Святой Елены, а в России — в г. Тобольск, кроме того, астрономы проводили наблюде-

ния «дома». Еще организованнее были наблюдения 1769 г. В итоге оказалось, что первые не отличались желаемой точностью: ведь географическая долгота многих пунктов была известна лишь приблизительно или неизвестна совсем, а ее определение по наблюдениям затмений спутников Юпитера проводилось с большими ошибками. Но в 1769 г. в тот же день произошло частное солнечное затмение, благодаря чему определение координат существенно облегчилось. В итоге параллакс Солнца по наблюдениям 1761 г. «колебался» между 8" и 10", по данным 1769 г. — между 8" и 9". Тщательная обработка этих последних данных, законченная в 1835 г., привела к величине 8,57". Это соответствует расстоянию от Земли до Солнца в 153,5 млн км, которое и было принято на многие десятилетия.

Прохождение Венеры по диску Солнца в 1761 г. наблюдал и выдающийся русский ученый-энциклопедист М. В. Ломоносов (1711—1765). Несколько недель спустя он опубликовал брошюру «Явление Венеры на Солнце, наблюденное в Санктпетербургской Императорской Академии наук Мая

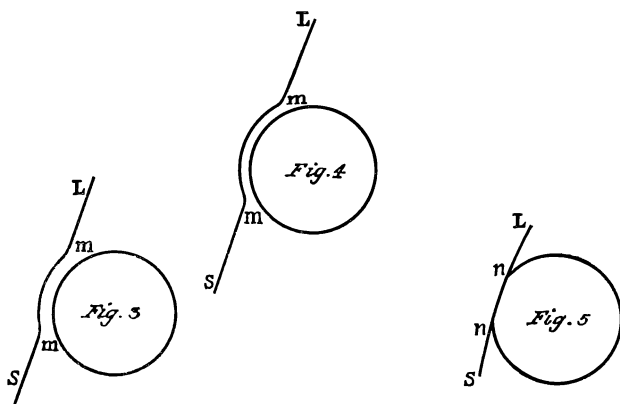


Рис. 48. Рисунок М. В. Ломоносова к описанию открытия им атмосферы на Венере 26 мая 1761 г.

26 дня 1761 года». В ней была подробно описана картина деформации края диска Солнца при приближении к нему Венеры (рис. 48), а также светлая каемка вокруг планеты. Из этого Ломоносов сделал вывод, что планета Венера окружена «знатной воздушной атмосферой, таковой (лишь бы не большею), какова обливается около нашего шара земного». Так было доказано физическое сходство одной из планет с Землей. Ломоносов сам же высказал предполо-

жение о возможности существования жизни на этой планете... К брошюре была приложена статья в защиту гелиоцентрического учения, написанная со стихотворными вставками.

Как взвесить Солнце? Не менее важной задачей, стоявшей перед астрономами XVIII в., было определение масс тел Солнечной системы не в относительных (это сделал Ньютон), а в абсолютных единицах. И с этой задачей они справились блестяще.

Напомним, что третий закон Кеплера можно представить в виде

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM},$$

где G — постоянная тяготения, M — масса «силового центра», T — сидерический период обращения материальной точки m вокруг этого центра (Земли вокруг Солнца, Луны вокруг Земли и т. д.) по эллиптической орбите, большая полуось которой a . Используя эту формулу сначала для Земли, обращающейся вокруг Солнца, и еще раз — для Луны, движущейся вокруг Земли, и разделив первое выражение на второе, получаем массу Солнца, выраженную в массах Земли: $M_{\odot} = 330\,000 M_{\oplus}$. Для определения последней достаточно установить ее среднюю плотность ρ_{\oplus} . Ньютон оценил ее, исходя из таких соображений: «Поскольку обычные верхние слои Земли имеют плотность приблизительно вдвое большую, нежели вода, а немного глубже, в рудниках, оказываются приблизительно в три, четыре и даже 5 раз тяжелее, то правдоподобно, что все количество вещества Земли приблизительно в 5 или 6 раз больше того, как если бы она состояла только лишь из воды». Это предположение, как оказалось позже, было очень точным, однако его необходимо было подтвердить непосредственными измерениями.

В 1749 г. французские астрономы Пьер Бугер (1698—1758) и Шарль Мари ла Кондамин (1701—1774), проводя наблюдения в Перу вблизи горы Чимборасо, обнаружили, что отвес (маятник) отклоняется от вертикального положения на 7—8". Это натолкнуло их на мысль, что, пользуясь маятником, можно оценить массу Земли, сравнивая ее с массой горы, которую нетрудно определить. Но их попытка тогда не увенчалась успехом.

В 1774 г. английский астроном Невилл Маскелайн (1732—1811) осуществил аналогичные измерения, избрав для этого гору Шегальен в Шотландии — узкий гранитный

хребет, протянувшийся с запада на восток. Измерения зенитного расстояния полюса проводились в двух точках, расположенных на одном меридиане, один из пунктов был севернее, второй южнее хребта. Если бы между ними не было горы, то заданному между ними расстоянию в 1330 м соответствовала бы разность зенитных расстояний полюса мира $43''$. Но после окончания наблюдений и их сопоставления оказалось, что это расстояние составляет $54,8''$: отвес отклонялся от вертикали на $5,9''$ (рис. 49). Предположив, что и масса горы, и масса Земли сконцентрированы в их центрах масс, можно было после некоторых вычислений определить, что плотность Земли в 1,8 раза превышает плотность горы. Следовательно, при средней плотности горы (гранита) $2,6 \text{ г/см}^3$ было найдено $\bar{\rho}_{\oplus} = 4,7 \text{ г/см}^3$.



Рис. 49. Отклонение отвеса у горного хребта

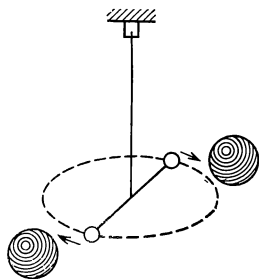


Рис. 50. Опыт Кавендиша

В 1798 г. Генри Кавендиш (1731—1810) «заменял» гору парой свинцовых шаров весом по 158 кг каждый. К этим массам притягивались пробные массы весом по 729 г, подвешенные на горизонтальной деревянной палочке, закрепленной в центре масс тонкой серебряной нитью (рис. 50). Мерой силы притяжения в данном случае был угол, на который закручивалась нить. Таким образом Кавендиш установил, что средняя плотность Земли $\bar{\rho}_{\oplus} = 5,5 \text{ г/см}^3$ и что масса Земли $M_{\oplus} = 5,98 \cdot 10^{27} \text{ г}$. А так как из третьего закона Кеплера следует, что масса Солнца в 330 тысяч раз больше, то тем самым $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33} \text{ г}$. Так удалось «взвесить» Солнце в лаборатории при помощи деревянной (из пихты) палочки...

Особенности движения Луны. Еще в 1514 г. Иоганн Вернер из Нюрнберга в комментариях к переведенной им «Географии» Птолемея предложил для определения долгот измерять расстояния от центра Луны до избранных звезд из зодиакальных созвездий. В самом деле, передвигаясь каждый час на $0,5^\circ$ — на величину своего диаметра — Луна как бы отсчитывает время на циферблате больших не-

бесных часов. И штурману, отправляющемуся в далекое плавание, следует лишь запастись таблицами положений Луны среди звезд, рассчитанных на определенное время вперед, и решать задачу в такой очевидной последовательности: 1) измерить угловое расстояние центра диска Луны от «опорной» звезды, 2) учесть рефракцию и параллакс, т. е. исправить наблюдение так, как будто оно проведено из центра Земли, 3) установить местное время наблюдения путем измерения высоты Солнца или звезды и проведения расчетов по формулам сферической тригонометрии, 4) установить путем интерполяции табличных данных время нулевого меридиана на момент наблюдения и, наконец, 5) найти разность местного времени и времени нулевого меридиана, которая и будет долготой места наблюдения, выраженной в часовой мере.

Однако, чтобы этот метод давал практически полезные результаты, необходимо было проводить расчеты таблиц положений Луны с точностью буквально до секунд дуги. Ведь погрешность в определении положения Луны в 1' приводила к тому, что координаты судна в океане по долготу находились с погрешностью . . . до 27 морских миль (т. е. до 50 км).

Поэтому на долгие годы разработка теории движения Луны оставалась в числе важнейших проблем многих выдающихся ученых и обсерваторий, в том числе Гринвичской, где, например, Эдмонд Галлей проводил наблюдения Луны непрерывно на протяжении 18 лет. В принципе было ясно, что неравенства («возмущения») в движении Луны обусловлены притяжением Солнца, но, как отмечал А. Паннекук, «теория не могла определить точное количество возмущений, хотя ей удалось показать, какие возмущения должны проявляться и с каким периодом, а также как они зависят от Солнца, узлов и афелиев»...

Вот несколько эпизодов из этой поистине героической эпопеи. В 1746 г. французский астроном Алексис Клеро (1713—1765) обнаружил, что большая ось лунной орбиты согласно теории вращается со скоростью 20° в год, тогда как наблюдения указывали на вдвое большую величину. Клеро даже предпринял попытку «уточнить» закон всемирного тяготения, представив его в виде
$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \left(1 + \frac{\alpha}{r^n} \right), \text{ где } \alpha — \text{постоянная величина, } n=1$$

или 2. Позже, конечно, необходимость в ней отпала...

Большую роль в разработке теории движения Луны сыграли работы Леонарда Эйлера. Этот выдающийся уче-

ный родился в Базеле (Швейцария), учился в Базельском университете. В 20 лет, в 1727 г., он был приглашен для работы в Петербургскую Академию наук. В 1741 г., сохраняя с ней тесные контакты, он на 25 лет переехал в Берлин, после чего возвратился в Россию, где в 1783 г. «перестал жить и вычислять». В 1735 г. Эйлер ослеп на один глаз, но это, как отмечают его биографы, вызвало у Эйлера лишь замечание, что «теперь он меньше будет отвлекаться от математики». В 1766 г. он ослеп и на другой глаз, но и это мало повлияло на его изумительно богатую научную деятельность. В 1753 г. Эйлер опубликовал «Теорию движения Луны», которая для немецкого астронома Тобиаса Майера (1723—1762) послужила основой при составлении таблиц движения Солнца и Луны, позволявших определять долготы с точностью выше 1° . Через 11 лет, в 1766 г., Маскелайн издал «Морской альманах и астрономические эфемериды на 1767 г.», где были даны расстояния центра Луны от Солнца и от избранных звезд через каждые три часа. Именно с того момента и начался отсчет долгот от гринвичского меридиана, во всяком случае — для тех, кто пользовался этим «Морским альманахом», который издается непрерывно и по сей день. Формально же рекомендация об отсчете долгот от гринвичского меридиана была принята Международной меридианной конференцией в октябре 1884 г. Как отмечает А. Паннекук, с появлением таблиц Майера вопрос о «тонкостях» в движениях Луны для практического мореплавания был разрешен.

Однако астрономы столкнулись с другой проблемой. Еще в 1693 г. Галлей, сопоставив моменты затмений по античным и арабским источникам с теоретически рассчитанными, пришел к выводу, что период обращения Луны вокруг Земли уменьшается. Иначе говоря, происходит «вековое ускорение» Луны. Майер нашел, что величина этого ускорения составляет $9''$ в сто лет. Позже, в 1770 г., Парижская Академия наук даже предложила премию за исследование, можно ли это явление объяснить, исходя из закона всемирного тяготения. Перед этой проблемой оказался бессильным и Эйлер, он высказался так: «Кажется твердо установленным с несомненной очевидностью, что вековые неравенства лунного движения не могут вызываться силами тяготения». Эйлер сделал попытку объяснить это торможение Луны сопротивлением материальной среды, заполняющей мировое пространство... Не смог объяснить его и другой выдающийся ученый — Жозеф Луи де Лагранж (1736—1813). Решить задачу взялся его соотечествен-

ник, французский астроном и математик Пьер Симон Лаплас. В 1783 г. он пришел к такому выводу: торможение Луны обусловлено действием . . . других планет Солнечной системы, но не прямо, а косвенно. Под их влиянием, дескать, изменяется эксцентриситет земной орбиты, и если он уменьшается, то среднее расстояние Земли от Солнца несколько увеличивается. Благодаря этому возмущающее влияние Солнца на Луну становится меньше... Лаплас путем теоретического расчета нашел величину эффекта в $10''$ за столетие, и «волнение снова улеглось».

Лапласу удалось разработать теорию движения Луны, на основе которой ее положения определялись с точностью до $0,5'$. Слагаемые, которыми в этой теории описывались изменения долгот апогея и узла, оказались зависящими от величины сплюснутости Земли. Еще одно слагаемое, вызывающее «параллактическое неравенство» с амплитудой около $2'$, зависело от отношения расстояний Солнца и Луны от Земли. По этому поводу Лаплас писал: «Замечательно, что астроном, не покидая своей обсерватории, а лишь сравнив наблюдения Луны с данными математического анализа, может вывести точную величину и форму Земли и расстояние ее от Солнца и Луны, для чего раньше были необходимы трудные и продолжительные путешествия». И в самом деле, Лаплас, на основании данных наблюдений и пользуясь развитой им теорией, нашел сплюснутость Земли равной $1/305$, а параллакс Солнца $8,6''$.

При выводе выражения для истинной долготы Луны Лаплас включал члены до третьего порядка в эксцентриситете и наклоне плоскости лунной орбиты. В 1857 г. немецкий астроном Петер Андреас Ганзен (1795—1874) уточнил теорию движения Луны с учетом членов восьмого порядка. В итоге расхождение между теорией и наблюдениями за сто лет (1750—1850) не превышало $2''$. Но в это время английский астроном Джон Кауч Адамс (1819—1892) убедительно показал, что Лаплас ошибся: лишь $5,7''$ в ускорении Луны можно объяснить уменьшением эксцентриситета Земли. И, наконец, в 1865 г. французский астроном Шарль Эжен Делонэ (1816—1872) нашел ответ: недостающие секунды в вековом ускорении Луны — это не что иное, как результат замедления вращения Земли, обусловленного приливным трением, т. е. трением о морское дно (и слоев воды друг о друга) бегущей вслед за Луной приливной волны. Вскоре английский астроном и математик Джордж Хауэрд Дарвин (1845—1912) провел соответствующие расчеты, из которых следовало, что примерно

4 млрд лет назад Луна находилась на расстоянии около 14 тыс. км от Земли, а земные сутки тогда длились всего около 5 часов. Через несколько миллиардов лет расстояние Луны от Земли увеличится почти в полтора раза, причем период обращения Луны увеличится до 628 часов (47 современных суток) и такими же будут тогда и земные сутки. После этого, согласно Дарвину, приливное трение будет оказывать на Луну обратное действие: она будет приближаться к Земле...

И когда все, казалось, уже было учтено, Ганзен обнаружил в долготах Луны, зарегистрированных на протяжении многих десятков лет на Гринвичской обсерватории, «еще одну медленную флуктуацию», всего несколько десятков секунд. Но их ведь также чем-то следовало объяснить! Ганзен и «обвинил» в этом планету Венеру. И тут за дело взялся американский астроном Саймон Ньюком (1835—1909). Он собрал и обработал все наблюдения Луны, начиная с древнейших времен, проехал в 1871 г. по Европе и собрал из архивов все наблюдения затмений, покрытий Луною звезд и т. д. В итоге — вывод: да, действительно, между теорией и наблюдениями имеется расхождение, отклонение на 17" за 273 года. Как отмечает А. Паннекук, на какое-то мгновение Ньюком подошел к идее, что причина этого — не в теории и не в Луне, а . . . в неравномерности осевого вращения Земли. Это и было обосновано по наблюдениям планет и спутников Юпитера уже в XX в.

Современная теория движения Луны разработана американским астрономом Джорджем Уильямом Хиллом (1838—1914). На ее основе другой американский астроном Эрнест Уильям Браун (1866—1938) рассчитал таблицы движения Луны, используемые и сегодня при составлении астрономических ежегодников.

ТРИУМФ ВЕЛИКОГО ЗАКОНА

Комета Галлея. Еще раньше, чем удалось полностью описать все особенности неравномерного движения строптивой Луны, великий закон всемирного тяготения уже праздновал свою первую победу. Ее принесли кометы.

Изучая особенности движения комет в мировом пространстве, Кеплер полагал, что они перемещаются в нем по прямым линиям. В 1664 г. Борелли пришел к выводу, что кометы движутся по параболическим орбитам. В «Началах» Ньютон обосновал тезис, согласно которому орбиты комет являются коническими сечениями. В частности, это может

быть эллипс с большим эксцентриситетом. Ньютон предложил также метод вычисления параметров орбит комет.

В 1705 г. были опубликованы «Очерки кометной астрономии» Галлея, где излагались результаты вычислений 24 орбит комет. Галлей обратил внимание на то, что орбиты трех комет, наблюдавшихся в 1531, 1607 и 1682 гг., очень близки друг к другу. Он предположил, что это одна и та же комета, обращающаяся вокруг Солнца по сильно удлиненному эллипсу с периодом около 75—76 лет, и предсказал ее повторное возвращение к Солнцу в 1758 г. Проследив весь путь кометы за 76 лет, Клеро сообщил Парижской Академии наук, что из-за притяжения Юпитера и Сатурна комета «затратила на последнее обращение на 618 дней больше, чем на предыдущее» и что ее прохождение через перигелий состоится в апреле 1759 г. Клеро тогда же, в ноябре 1758 г., писал: «...Это замедление далеко от того, чтобы повредить теории всемирного тяготения, а необходимо вытекает из него...». И в самом деле, в конце 1758 г. комета была обнаружена и в марте следующего года прошла около Солнца. Как отмечает А. Паннекук, «это предсказание и предвычисление возвращения кометы Галлея стало общеизвестным и справедливо рассматривается как триумф теории тяготения Ньютона».

Об этом же французский ученый, выдающийся популяризатор астрономии Камилл Фламмарин в своей книге «Звездное небо» написал такие проникновенные строки: «Астроном Галлей в 1705 г. рассчитал путь большой кометы 1682 г., назначив ей возвращение в 1759 г... он следил в мысли за этим странствующим в глубинах неба светилом, на расстояниях сотен миллионов миль за пределами видимого мира,... одни считали его безумцем, другие называли нечестивцем и богохульником; сам же он покорялся всеобщей судьбе — старел, дряхлел и в свою очередь сошел в тьму могилы... Наконец, и сама его могила была забыта, ... когда в один ясный вечер на горизонте, еще в страшной глубине неба заметили вдруг какое-то дивное сияние... Это была комета Галлея, которая слышала его голос в безднах небес и которая появилась теперь на его зов! Это была астрономическая Истина, воссиявшая теперь над забытой могилой своего пророка и провозвестника!»...

Уран и его проблемы. 13 марта 1784 г. английский ученый Вильям Гершель (1738—1822) открыл новую планету: «Занимаясь исследованием слабых звезд вблизи Н Близнецов, я заметил одну, показавшуюся мне заметно боль-

шей других; пораженный ее необычным видом, я... заподозрил в ней комету». Дальнейшие наблюдения и вычисления показали, что это была планета, обращающаяся вокруг Солнца в 19 раз дальше, чем Земля, и вдвое дальше, нежели Сатурн. Она получила имя Уран. Ее орбиту рассчитал петербургский академик А. И. Лексель (1740—1784), имя предложил немецкий астроном Иоганн Боде (1747—1826). Так неожиданно границы Солнечной системы отодвинулись далеко за орбиту Сатурна...

И, как отмечают в книге «Поиски и открытия планет» Е. А. Гребеников и Ю. А. Рябов (а эта книга читается как превосходный детективный роман), «история Урана с первых же дней его открытия и до середины XIX века — это цепь научных неприятностей, недоразумений и замечательных достижений» (2-е изд. — М.: Наука, 1984. — С. 38).

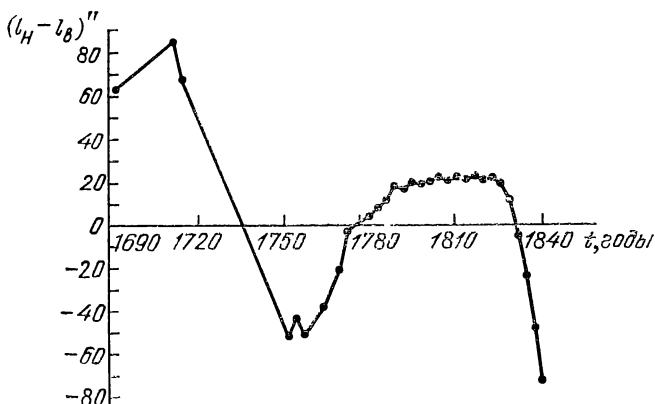


Рис. 51. Разность между наблюдаемой l_H и вычисленной l_B средними долготами Урана по 30 наблюдениям 1690—1840 гг.

Например, оказалось, что планету задолго до ее формального открытия уже наблюдали: 23 декабря 1690 г. — первый директор Гринвичской обсерватории Джон Флемстид (1646—1719), он же «зафиксировал» эту «звезду» в апреле 1712 г. и марте — апреле 1715 г. В журналах наблюдений 1750—1771 гг. двенадцать раз Уран был отмечен французским астрономом Пьером Лемонье (1715—1799), по одному разу — Бадлеем (в 1753 г.) и Майером (в 1756 г.). Позже эти результаты были использованы для расчета его орбиты.

Оказалось, что в своем движении вокруг Солнца Уран отклоняется от «теоретически предписанного ему пути»

(рис. 51), причем «не помогал» и учет возможных возмущений его движения со стороны других планет, прежде всего — Юпитера и Сатурна. Поэтому, начиная с 1832 г., было выдвинуто несколько гипотез: Уран, дескать, в своем движении испытывает сопротивление газопылевой среды, заполняющей межпланетное пространство; или же — у него имеется еще не открытый спутник, который и вызывает наблюдаемые отклонения; далее — планета в недалеком прошлом «пережила» сближение с кометой. Ну и, конечно же, снова был поставлен вопрос: а справедлив ли на столь больших расстояниях закон всемирного тяготения? После тщательного анализа всех возможных вариантов французский астроном Алексис Бувар (1767—1843), приложивший исключительно много усилий для построения теории движения Урана, пришел к вполне определенному выводу: все странности в поведении планеты Уран объясняются тем, что на ее движение оказывает влияние еще одна, до сих пор не открытая и неизвестная планета! Бувар вполне был уверен в том, что положение неизвестной планеты можно рассчитать, а потом «организовать поиски в близкой окрестности».

Но вот что на это ответил директор (с 1836 по 1881 гг.) Гринвичской обсерватории Джордж Биддел Эри (1801—1892): «... я без колебаний высказываю мнение, что сейчас нет ни малейшей надежды выяснить природу внешнего воздействия. Если же такое есть, то я очень сомневаюсь в возможности определить положение планеты, оказывающей это действие. Я уверен, что этого нельзя сделать, пока природа нерегулярностей не будет хорошо определена после нескольких последовательных оборотов Урана». Словом, так как период обращения Урана 84 года, то Эри советовал подождать лет 250 ... Это было сказано в 1834 г., а три года спустя Эри пишет племяннику Бувара: «Если это эффект какого-то невидимого тела, то будет почти невозможным когда-либо найти его положение».

Тем не менее, в середине 30-х годов XIX в. многие астрономы всерьез говорили о не открытой еще планете. В «Популярной астрономии» (1841 г.) директор Дерптской (Тартуской) обсерватории Иоганн Мэдлер (1794—1874) писал: «Мы приходим к выводу о существовании планеты, действующей на Уран... Мы можем даже выразить надежду, что в некотором будущем математический анализ реализует свой наибольший триумф — открытие, сделанное глазами разума там, куда непосредственно взор человека не в состоянии проникнуть».

В те годы появились даже конкретные указания, где должна быть эта «заурановая» планета: «примерно на двойном расстоянии от Солнца по сравнению с Ураном, а... ее период обращения должен составлять ... около 243 лет». И здесь необходимо сделать небольшое отступление.

Правило Тициуса — Боде. В 1772 г. немецкий астроном Иоганн Даниель Тициус (1729—1796) обнаружил, а Боде широко популяризировал, что размеры планетных орбит можно представить в виде следующего числового ряда: 4, $4+3=7$, $4+3\times 2=10$, $4+3\times 4=16$, $4+3\times 16=52$, $4+3\times 32=100$, $4+3\times 64=196$. Это правило, или закон, Тициуса—Боде обычно записывается в виде

$$a_n = 0,3 \cdot 2^n + 0,4, \quad (3.1)$$

тогда расстояния a_n выражаются в астрономических единицах, как это видно из табл. 3.

Т а б л и ц а 3

n	a_n	Планета	Истинное значение большой полуоси	n	a_n	Планета	Истинное значение большой полуоси
$-\infty$	0,4	Меркурий	0,39	4	5,2	Юпитер	5,20
0	0,7	Венера	0,72	5	10,0	Сатурн	9,54
1	1,00	Земля	1,00	6	19,6	Уран	19,19
2	1,6	Марс	1,52	7	38,8	Нептун	30,07
3	2,8	Астероиды	2,88			Плутон	39,52

Исходя из этого правила, Боде и предположил, что между Марсом и Юпитером существует неизвестная планета, среднее расстояние которой от Солнца равно 2,8 а.е. По инициативе австрийского астронома Франца Цаха (1754—1832) в 1796 г. на астрономической конференции в г. Готе было даже решено начать систематические поиски этой планеты. Открыл же новый объект 1 января 1801 г. совершенно случайно итальянский астроном Джузеппе Пиацци (1746—1826), составляя новый звездный каталог. Это была первая из малых планет, или астероидов. Пиацци назвал ее Церерой по имени богини плодородия и земледелия, покровительницы Сицилии. Орбиту Цереры рассчитал немецкий математик и астроном Карл Фридрих Гаусс (1777—1855), благодаря чему она была опять найдена на небе, после того как скрывалась от наблюдателей в лучах

Солнца. Обнаружил ее в 1802 г. немецкий астроном Генрих Вильгельм Ольберс (1758—1840), в том же году он открыл вторую малую планету — Палладу, а в 1807 г. четвертую — Весту. Третья, Юнона, была открыта несколько раньше немецким астрономом Карлом Людвигом Гардингом (1765—1834). В 1900 г. малых планет уже было известно около 450.

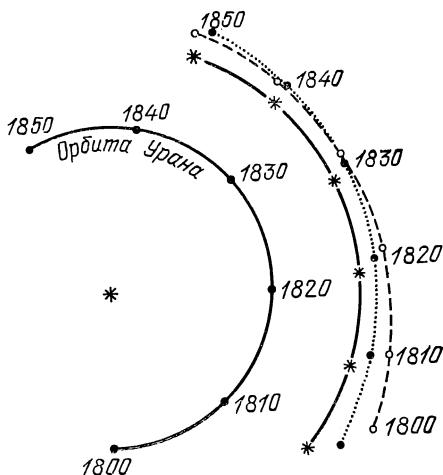
На кончике пера... Именно исходя из правила Тициуса — Боде и предполагали, что новая, «заурановая» планета «находится примерно на двойном расстоянии от Солнца по сравнению с Ураном». Уже упоминавшийся английский астроном Адамс в 1841 г. записывает себе в дневник: «Принял решение ... приступить к исследованию неправильностей в движении Урана, ... что приведет, вероятно, к открытию планеты». Два года спустя Адамс, став победителем математического конкурса, получил степень бакалавра в колледже при Кембриджском университете и был включен в ученый совет колледжа. В начале лета 1843 г. он уже получает первые результаты. Всего же до сентября 1845 г. Адамс рассмотрел шесть вариантов задачи, но по своей скромности их не опубликовал. Лишь в частном порядке он сообщил их Эри и директору Кембриджской обсерватории Джеймсу Челлису (1803—1882). В то время, однако, ни тот, ни другой поисками новой планеты не занялись ...

Между тем в ноябре 1845 г. французский астроном Урбен Жан Жозеф Леверье (1811—1877) сделал доклад на заседании Парижской Академии наук о проблеме Урана. Доклад был опубликован, через семь месяцев была опубликована его же вторая статья. Лишь после этого Эри обращается к Челлису с просьбой начать поиск планеты (в Кембридже был 30-сантиметровый телескоп, тогда как в Гринвиче всего 17-сантиметровый). Челлис приступил к работе лишь 29 июля. Он решил отмечать все звезды до 11-й величины, поле зрения его окуляра составляло всего 9'...

31 августа 1846 г. Леверье представляет третью статью и, так как парижские астрономы не торопятся проводить поиск, он обращается 18 сентября с письмом к немецкому астроному (такому же молодому, как и сам Леверье) Иоганну Готфриду Галле (1812—1910): «... Я хотел бы найти настойчивого наблюдателя, который согласился бы уделить некоторое время наблюдениям в той области неба, где может находиться неизвестная планета». Получив письмо, Галле уговорил директора обсерватории Иоганна

Франца Энке (1791—1865) провести незапланированные наблюдения. Вместе со студентом Генрихом Луи д'Аррестом Галле на протяжении нескольких часов безуспешно искал среди звезд «объект с видимым диском 3''», о котором писал Лавуазье. И лишь после того как д'Аррест предложил воспользоваться картой звездного атласа, изданной Берлинской Академией наук в конце 1845 г., они нашли искомую планету на расстоянии всего лишь 52' от указанного Лавуазье места. Потом было установлено, что Адамс

Рис. 52. Отрезок орбиты и положения на ней планеты Нептун (сплошная линия) и теоретически вычисленные орбиты Лавуазье (пунктир) и Адамса (штриховая линия)



дал координаты новой планеты с погрешностью немногим меньше 2° . Удивительно близкими были и расчеты ее орбиты, сделанные обоими учеными (рис. 52).

Так, «на кончике пера», была открыта еще одна планета Солнечной системы, знаменуя триумф великого закона всемирного тяготения... Сам же Лавуазье предложил именовать новую планету Нептуном.

Позже оказалось, что Челлис три раза видел новую планету: 4 и 12 августа, а также 29 сентября, но ... карты у него не было, а убедиться в том, что наблюдаемый объект имеет диск, он не сумел.

Более того, уже в феврале 1847 г. было установлено, что планету Нептун наблюдали французский астроном Жозеф Лаланд (1732—1807) в мае 1795 г. и ... Галилео Галилей в декабре 1612 г. и январе 1613 г. (недалеко от Юпитера как звездочку 8-й величины, но ведь звезда тогда его не заинтересовала...).

За Нептуном — Плутон! После открытия Нептуна Леверье стал уточнять теорию движения Урана с учетом воздействия Нептуна (оказавшегося гораздо ближе, чем предполагалось!) и строить теорию движения Нептуна. К 1875 г. стало ясно, что полного согласия наблюдений и теории нет как для одной, так и для другой планеты. И снова возникло подозрение, что виной этому еще одна планета, которую предстоит открыть. За дело взялся американский астроном Персиваль Ловелл (1855—1916). Первое решение задачи о «планете Икс» он получил в 1905 г., через три года — второе, а в 1915 г. «Сообщением о транснептуновой планете» Ловелл подвел итог своим многолетним исследованиям. На построенной им в 1894 г. в штате Аризона обсерватории он в 1915 г. и начал поиск планеты Икс, фотографируя с интервалом в несколько дней отдельные участки неба и сравнивая между собой положения звезд, надеясь найти движущийся объект. После смерти Ловелла эту его работу никто не продолжил. А между тем, как оказалось позже, в определении долготы планеты он ошибся всего на $6,6^\circ$...

Поиски новой планеты возобновились в конце 1919 г. по инициативе американского астронома Вильяма Пикеринга (1858—1938), который провел самостоятельный расчет элементов орбиты планеты и (опять-таки это стало известно позже) ошибся в определении ее долготы всего на $1,1^\circ$. На обсерватории Маунт Вилсон были сфотографированы соответствующие участки неба, но... планета найдена не была. А потом оказалось, что ее на этих пластинках можно было обнаружить, но ведь искали объект в узкой полосе вблизи эклиптики (в полосе $\pm 2^\circ$ от нее). Планета же была на расстоянии в 4° от эклиптики...

Открыл планету, которой было дано название Плутон, Клайд Уильям Томбо (род. 1906 г.) в феврале, но первое сообщение об этом появилось 13 марта 1930 г. В процессе поиска, продолжавшегося 13 месяцев, Томбо на 33-сантиметровом телескопе терпеливо и упорно фотографировал отдельные участки неба и сравнивал между собой пластинки, охватывавшие поле размером $13^\circ \times 13^\circ$. На каждой из них было от 100 000 до 400 000 звезд. А так как Томбо не доверял расчетам ни Ловелла, ни Пикеринга, то пришлось сделать много лишней работы. Ведь Плутон оказался совсем недалеко от предсказанного Пикерингом места вблизи звезды δ Близнецов ...

Но... требуется ОТО! Раньше чем заняться проблемой Урана, Леверье в 1840 г. по поручению директора Париж-

ской обсерватории астронома и физика Доминика Франсуа Араго (1786—1853) взялся за разработку теории движения Меркурия. В 1859 г. Леверье на основе 397 проведенных в Парижской обсерватории меридианных наблюдений Меркурия и данных о 14 его прохождениях по диску Солнца предложил свою теорию движения этой планеты. На светлом фоне этого исключительно строгого исследования было одно темное пятнышко: небольшой избыток в величине движения перигелия. Всего за сто лет перигелий смещался на 566", из них на 281" «за счет» Венеры, на 84" за счет Земли, за счет Марса — менее 3", Юпитера — почти 153", Сатурна — 7". В сумме это давало 527"; куда же девать остальные 39"?

Существовали две возможности устранить расхождение теории с наблюдениями: 1) предположить, что вокруг Солнца обращается неизвестная еще планета, орбита которой находится внутри орбиты Меркурия, или 2) увеличить массу Венеры. Был еще один «выход» — уточнить закон всемирного тяготения. Все это и было испробовано...

Увеличив массу Венеры на 10 %, Леверье получил желаемое схождение теории и наблюдений для Меркурия. Но тут же оказалось, что избыточная масса Венеры приводит к возмущениям в движении Земли, в том числе в наклоне эклиптики, что обязательно было бы замечено. Вариант оказался неприемлемым.

Если же говорить о воздействии на Меркурий «еще неизвестной материи», то фактически можно было рассматривать две возможности: одиночная планета или рой астероидов. Конечно, более заманчивой была первая. Но Леверье, рассудив, что большую планету никто еще не замечал ни при солнечных затмениях, ни в прохождении по диску Солнца, в том же мемуаре писал: «Те, кому эти возражения покажутся слишком серьезными, придут к мысли заменить одиночную планету рядом астероидов, чьи гравитационные возмущения, складываясь, произведут то же влияние на перигелий Меркурия... Гипотеза, к которой мы пришли, вполне мыслима».

Однако почти немедленно появились сообщения о том, будто уже наблюдались прохождения этой неизвестной планеты по диску Солнца. Для нее французский астроном М. Бабине еще в 1846 г. и название предложил: Вулкан. В середине XIX в. очень многие астрономы склонны были поверить в его существование. Оценки приводили к таким параметрам: среднее расстояние от Солнца 0,20 а.е., масса 1/14 массы Земли, в астрономической литературе тогда уже

было 21 упоминание о возможных прохождении планетного тела по диску Солнца ...

В 1876 г. Леверье рассчитал орбиту Вулкана и указал моменты его прохождений по диску Солнца. Но, как отмечает Н. Т. Роузвер, за время двадцатилетних старательных поисков мало кто из астрономов сообщил об успешных наблюдениях *). Пришлось возвращаться к гипотезе о кольце астероидов. Беда, однако, заключалась в том, что для обеспечения требуемого смещения узлов орбиты Меркурия это кольцо должно было бы быть наклонено под углом около $7,5^\circ$ к орбите планеты. А здесь возникали новые вопросы об устойчивости кольца во времени ...

Поэтому в 1894 г. Асаф Холл (1829—1907), американский астроном, открывший в 1877 г. спутники Марса, предложил «уточнить» закон всемирного тяготения, представив его в виде $F = \frac{Gm_1m_2}{r^n}$ при $n=2,000\,000\,16$. Это, однако, как оказалось в 1897 г., противоречит теории движения Луны. «На сцене» появилась гипотеза немецкого астронома Хуго Зелигера (1849—1924), основанная на факте существования зодиакального света, впервые как будто замеченного еще Кассини. Зелигер предположил, что околосолнечное пространство заполнено разреженным веществом, которое и приводит к рассматриваемому эффекту. Серьезным критиком этой гипотезы был Ньюком, но и он согласился с ней. В 1919 г. после анализа распределения яркости света вблизи Солнца при полном его затмении (яркость спадает гораздо круче, чем этого требовала гипотеза Зелигера) и этот вариант решения задачи о смещении перигелия Меркурия был отброшен. Нужна была общая теория относительно-сти ...

ТРУДНАЯ ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ

Устойчивость планетной системы. Несколько повторяясь, напомним, что для предвычисления положения планеты на десятки дней или лет вперед (для составления ее *эфемерид*) необходимо знать следующие элементы ее орбиты: 1) большую полуось a , 2) эксцентриситет e ; этим определяются размеры и форма орбиты. Далее, 3) наклон i плоскости орбиты к плоскости эклиптики, 4) угловое расстояние Ω от точки весеннего равноденствия до *восходящего*

*) Роузвер Н. Т. Перигелий Меркурия: От Леверье до Эйнштейна. — М.: Мир, 1985.— С. 46.

узла, т. е. до точки, в которой планета пересекает плоскость эклиптики, двигаясь к северному полюсу мира, это — *долгота восходящего узла*. Тем самым определяется положение плоскости орбиты в пространстве. Кроме того, необходимо знать положение орбиты в ее плоскости, т. е. 5) угловое расстояние ω перигелия от восходящего узла, или *долготу перигелия* (рис. 53). И, наконец, задается

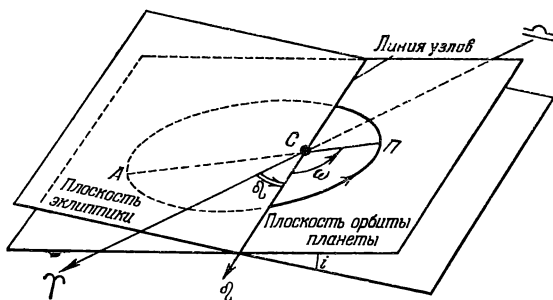


Рис. 53. Элементы орбит планет

6) момент прохождения планеты через перигелий t_0 . Метод определения элементов орбит по нескольким (не менее трех) наблюдениям наиболее полно разработал К. Гаусс.

Как мы уже видели, из-за взаимного притяжения планет каждая из них несколько отклоняется от движения по эллипсу, и эти отклонения называются возмущениями. Говорим так: планета в каждый момент времени движется по эллиптической орбите, однако параметры ее все время меняются. Такую орбиту принято называть *варьирующей*, или *оскулирующей*. Усилиями выдающихся математиков (Клеро, Эйлер; Лагранж, Лаплас и другие) удалось получить формулы для оценки отклонений элементов орбит от их начальных значений. Именно благодаря этому и удалось открыть Нептун и Плутон.

И здесь неминуемо возникает такой вопрос: насколько устойчива планетная система в целом? Всегда ли возмущения элементов орбиты той или другой планеты будут оставаться небольшими? Не накапливаются ли они со временем, что в будущем могло бы привести к уходу планеты из системы или, наоборот, к ее падению на Солнце?

Уже Кеплер в 1625 г. обнаружил, что Юпитер и Сатурн уклоняются от движения по своим эллиптическим орбитам. Позже Галлей установил, что Юпитер движется ускоренно, его орбита со временем как бы уменьшается, тогда как движение Сатурна, наоборот, замедленное, его

орбита становится больше. Конечно, эффект в числовом выражении был относительно невелик: от расчетных положений эти планеты за 1000 лет должны были бы отклониться соответственно на $0^{\circ}57'$ и $2^{\circ}19'$.

В попытке объяснить это явление Эйлер и начал исследование уравнений возмущенного движения планет, используя метод представления каждого из параметров орбиты планеты в виде ряда

$$\Pi = \Pi_0 + \mu \Pi_1(t) + \mu^2 \Pi_2(t) + \dots + \mu^n \Pi_n(t) + \dots,$$

где μ — масса возмущающей планеты, выраженная в массах Солнца (для Юпитера $\mu_J = 0,001$). Если планета движется под действием только солнечного притяжения, то $\mu = 0$. Малые добавки $\mu \Pi_1(t)$ называются возмущениями первого порядка, добавки $\mu^2 \Pi_2(t)$ — возмущениями второго порядка и т. д.; здесь t — время.

Как показал анализ, функции $\mu^n \Pi_n(t)$ имеют сложную структуру и состоят из слагаемых трех типов: 1) $\mu^n A_n \sin v_n t$ (A_n и v_n — постоянные), 2) $\mu^n B_n t^n$ (B_n — постоянная) и 3) $\mu^n C_n t^n \sin v_n t$ (C_n и v_n — постоянные). Члены первого типа называются *периодическими неравенствами*, второго типа — *вековыми неравенствами* и третьего типа — *смешанными неравенствами*. Если при этом v_n — малая величина, то период $T_n = \frac{2\pi}{v_n}$ будет очень большим, и такое возмущение (неравенство) называется *долгопериодическим*.

Вначале Эйлер сделал вывод, что в упомянутом движении Юпитера и Сатурна возмущения действуют постоянно и в одном направлении. Вскоре, в 1773 г., немецкий астроном Иоганн Генрих Ламберт (1728—1777) в противовес найденному ранее обнаружил замедление Юпитера и ускорение Сатурна. Теоретические исследования Лагранжа и Лапласа привели к таким выводам: взаимное притяжение планет приводит не к вековым, но лишь к периодическим изменениям больших полуосей планет, а изменения эксцентриситетов также обладают свойствами периодичности. Именно в этом и заключался ответ на поставленный Лапласом в 1773 г. вопрос об устойчивости Солнечной системы в целом.

В 1784 г. Лапласу удалось объяснить загадочное поведение Юпитера и Сатурна: если T_J и T_S — соответственно сидерические периоды обращения Юпитера и Сатурна, то $5T_J \approx 2T_S$ и в движении их из-за резонанса возникают большие долгопериодические возмущения. Изменения в

долготах планет и происходят в связи с накоплением эффекта эксцентриситета. Период колебания оказался близким к 900 годам, а наибольшие отклонения по долготе у Юпитера могут доходить до $21'$, у Сатурна — до $49'$. Позже Лаплас об этом скажет так: «Неравенства обеих планет, которые раньше казались необъяснимыми при помощи закона всемирного тяготения, теперь составляют одно из наиболее удивительных доказательств в его пользу. Такова

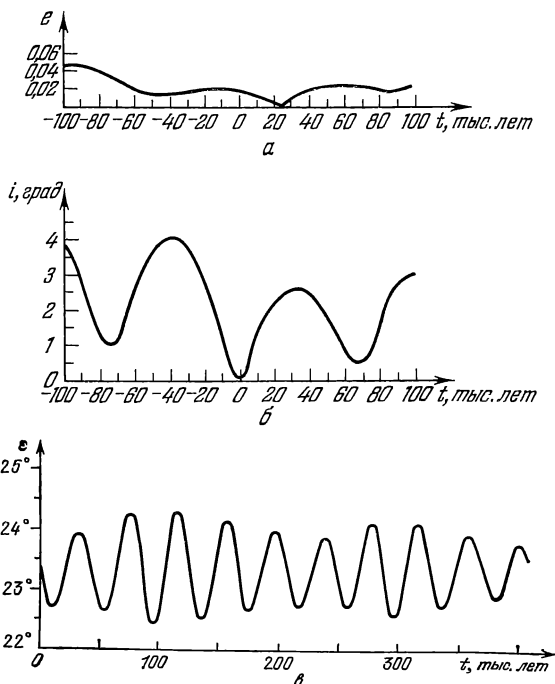


Рис. 54. Изменение во времени эксцентриситета (а), наклона земной орбиты (б) (здесь $t=0$ соответствует 1850 г.) и наклона небесного экватора к эклиптике (в)

судьба этого блестящего открытия [Ньютона], которое любое возникающее затруднение превращает в повод для нового триумфа,— обстоятельство, являющееся вернейшим доказательством истинной системы природы».

В 1784 г. Лаплас опубликовал две теоремы об устойчивости планетной системы:

1. Если массу каждой планеты умножить на квадратный корень из большой полуоси ее орбиты и на квадрат эксцентриситета, то сумма таких произведений за вычетом

периодических членов есть величина постоянная:

$$m_1 e_1^2 \sqrt{a_1} + m_2 e_2^2 \sqrt{a_2} + \dots + m_n e_n^2 \sqrt{a_n} = \text{const.}$$

2. Если массу каждой планеты умножить на квадратный корень из большой полуоси ее орбиты и на квадрат тангенса наклона, то сумма этих произведений для всех планет за вычетом периодических неравенств есть величина постоянная:

$$m_1 \sqrt{a_1} \text{tg}^2 i_1 + m_2 \sqrt{a_2} \text{tg}^2 i_2 + \dots + m_n \sqrt{a_n} \text{tg}^2 i_n = \text{const.}$$

Отсюда следует, что если эксцентриситет одной орбиты увеличивается, то эксцентриситет другой должен уменьшаться. Это относится и к наклонам орбит i .

После открытия Нептуна и Плутона, уточнения параметров орбиты Урана, масс Марса, Венеры и Меркурия (этих последних — по возмущениям в движении некоторых малых планет, имеющих относительно малое перигелийное расстояние) проводились повторные вычисления возмущений параметров орбит каждой из планет, пересматривался вопрос об устойчивости планетной системы в целом. Строго говоря, точного ответа на него нет и сегодня, но «вероятность устойчивости Солнечной системы очень велика»...

В частности, из расчетов следует, что эксцентриситет земной орбиты может изменяться от нуля до 0,067735, а наибольшее значение наклона земной орбиты составляет $3^{\circ}6'0''$ (рис. 54).

«ОТКРЫЛАСЬ БЕЗДНА, ЗВЕЗД ПОЛНА...»

Мир «дивных» звезд... На протяжении многих столетий усеянный звездами небосвод служил всего лишь как бы фоном, на котором происходило движение Солнца и Луны, планет и изредка комет. И, конечно же, большой неожиданностью было появление на небе новых звезд в 1572 и 1604 гг., а в 1596 г. немецкий астроном Давид Фабриций (1564—1617) заметил в созвездии Кита звезду, которой там раньше не было видно и которая вскоре исчезла. Тридцать лет спустя нидерландский астроном Фокилид Гольварда (1618—1651) наблюдал ее исчезновение и повторное появление в 1639 г. Эту звезду Байер обозначил греческой буквой α , а Гевелий дал ей название «Мира» (т. е. «Удивительная»). В 1667 г. французский астроном (кстати, как и Фабриций, он был священником) Исмаэль Буллио (1605—1694) впервые измерил период изменения блеска Миры, оценив его в 333 дня (современные данные — 331,5 суток).

Он же высказал предположение, что причиной изменения блеска может быть вращение звезды вокруг оси.

В 1667 г. итальянский астроном Джеминиано Монтанари (1633—1687) открыл переменность блеска звезды β Персея. Впрочем, эту звезду гораздо раньше уже знали арабские астрономы, назвавшие ее «Эль-Гуль», или «Аль-голь», «Глаз дьявола». В 1782 г. английский астроном Джон Гудрайк (1764—1786), потерявший в детстве после тяжелой болезни речь и слух, определил величину периода изменения блеска Алголя, а также разгадал причину этого явления: «Если бы не было еще слишком рано высказывать соображения о причинах переменности, я мог бы предположить существование большого тела, вращающегося вокруг Алголя». Два года спустя Гудрайк обнаружил, что звезда δ Цфея регулярно меняет свой блеск с периодом 5,37 суток. Он же установил переменность звезды β Лиры. Его друг Эдуард Пиготт (1750—1807) в 1784 г. открыл переменность звезды η Орла, в 1785 г. — R Северной Короны и R Щита. В составленном Пиготтом каталоге переменных звезд (1786 г.) уже насчитывалось 12 объектов.

Заинтересовался изменениями блеска звезд и Гершель. Со свойственной ему фундаментальностью он решил проверить блеск всех 3000 звезд, включенных Флемстидом в его изданный посмертно в 1725 г. «Британский каталог» (кстати, Флемстид звездам каталога присвоил номера в порядке роста их прямых восхождений в пределах каждого созвездия; этими номерами пользуются и в настоящее время), а также сравнить этот блеск с данными атласа Байера. Итогом этой работы были четыре каталога, опубликованные в 1796—1799 гг., еще два каталога вышли после смерти Гершеля. Расхождения в блеске действительно были, но открыть переменную Гершелю удалось лишь одну — ею была звезда α Геркулеса.

Гершель изобрел систему запятых и черточек для фиксирования различий в блеске звезд, однако она оказалась неудобной. К тому же в изучении переменных звезд наступил перерыв до 1843 г., когда появилась статья Аргеландера о звезде β Лиры. Немецкий астроном Фридрих Вильгельм Август Аргеландер (1799—1875) разработал метод численной оценки небольших различий в блеске переменной звезды и звезды сравнения (используемый и ныне метод «степеней»), впервые начал определять звездные величины с точностью до десятых долей, ввел классификацию переменных звезд, сохранившуюся в основном и сегодня. В 1843 г. Аргеландер опубликовал «Новую уранометрию» —

атлас и каталог всех звезд, видимых невооруженным глазом. Позже, в 1852—1859 гг., он руководил работой над созданием каталога «Боннское обозрение», в котором для 324 198 звезд ярче 9-й звездной величины от Северного полюса мира до склонения $\delta = -2^\circ$ были указаны координаты с точностью до $0,1'$ и блеск с погрешностью $0,3^m$. Но еще ранее, в 1844 г., Аргеландер написал «Воззвание к друзьям астрономии», в котором предложил с помощью небольших телескопов или даже визуально исследовать метеоры, блеск и цвет звезд и особенно изменения их блеска. Благодаря в значительной степени энтузиазму любителей астрономии к 1889 г. было уже зарегистрировано 225 переменных звезд. К 1919 г. лишь звезд типа Алголя было известно 131, звезд типа δ Цефея — *цефеид* — 169, *долгопериодических переменных* типа Миры Кита — более 600.

Были сделаны попытки установить причину переменности блеска звезд отдельных типов. Легче всего оказалось это сделать в случае Алголя и ей подобных. В 1889 г. немецкий астроном Герман Карл Фогель (1841—1907) совместно с Ю. Шейнером, изучая спектр Алголя, обнаружил регулярные изменения в положениях отдельных спектральных линий в полном соответствии с кривой блеска. Тем самым было подтверждено высказанное Гудрайком предположение о двойственности Алголя, оказавшегося *затменной двойной* звездой.

В 1894 г. выдающийся русский астроном А. А. Белопольский (1854—1934) установил периодичность изменения лучевой скорости звезды δ Цефея синхронно с изменением ее блеска. Аналогичные изменения были найдены и у других звезд этого типа. Около 20 лет разрабатывалась гипотеза, согласно которой цефеиды — двойные звезды, у которых компоненты находятся очень близко друг к другу. Но еще в 1896 г. при защите докторской диссертации А. А. Белопольским известный русский физик Н. А. Умов (1846—1915) высказал предположение, что цефеиды — пульсирующие звезды, периодически сжимающиеся и расширяющиеся.

Во второй половине XIX в. наблюдалось несколько вспышек новых: в 1866 г. в Северной Короне, в 1876 г. в Лебеде, в 1892 г. в Возничем. Объяснение же этого феномена было дано лишь в середине XX в.

... И **примечательных туманностей**. Современник Галилея немецкий астроном Симон Марий (1573—1624), предложивший, кстати, сохранившиеся до сих пор названия спутников Юпитера — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто,

был первым, кто обратил внимание на туманное пятно в созвездии Андромеды. Оно, мол, «напоминает огонек свечи, на который смотришь ночью издали сквозь прозрачную роговую пластинку».

Гевелий уже наблюдал 16 «туманных звезд», в частности четыре — в Козероге, две — в Лебеде, три — в Геркулесе, две — в Скорпионе. Шесть туманностей знал Галлей: кроме туманности в Андромеде, также в Мече Ориона, в Стрельце, Кентавре, Орле и Геркулесе. Английский астроном Вильям Дерхэм (1657—1735) составил каталог этих объектов и провел их тщательное исследование. Туманность в Орле оказалась звездным скоплением. В отношении остальных он спрашивает: «...Не являются ли эти туманности особыми пространствами света, или, скорее, не могут ли они быть, по всей вероятности, расселинами или отверстиями в огромные регионы света позади звезд?». Так возникла еще одна проблема — установить природу туманностей...

Новый список туманностей опубликовал в 1755 г. французский астроном Никола Луи де Лакайль (1713—1762). Он писал: «Первый вид туманностей — не что иное, как беловатый участок пространства без четких границ, более или менее светящийся и часто самой неправильной формы; эти пятна обычно схожи с ядрами слабых комет, лишенных хвоста. Второй вид туманностей включает звезды, которые представляются туманностями только невооруженному глазу, а в телескоп видны как скопления отдельных, но расположенных очень близко друг к другу звезд. К третьему типу принадлежат звезды, которые действительно окружены белыми пятнами или туманностями первого вида».

Немногом раньше Лакайля, в 1733 г., французский ученый Жан-Жак Дорту де Мэран в книге «Физический и исторический трактат о северном сиянии» высказал предположение о том, что звезды могут выбрасывать потоки газа. Этот газ в дальнейшем может образовать облака громадных размеров, которые могли бы быть видны с больших расстояний как туманные пятна. Он писал: «В конце концов, несмотря на восхитительное единообразие, царящее в природе, во Вселенной есть и чудища, как в малом, так и в большом»...

Обсуждая природу объектов типа туманности из созвездия Андромеды, немецкий философ Иммануил Кант (1724—1804) в своей «Общей естественной истории и теории неба» (1755 г.) доказывал, что такие пятна света «могут быть только слитной массой множества неподвижных звезд». Кант писал: «Поскольку эти туманные звезды, не-

сомненно, находятся от нас по меньшей мере столь же далеко, как и остальные неподвижные звезды, удивительными должны быть не только их размеры — так как они по необходимости окажутся во много тысяч раз больше самых больших звезд,— но главное то, что, будучи светящимися телами и солнцами, они при такой необычайной величине обладают наиболее тусклым и слабым светом. И естественно считать их не гигантскими едиными звездами, но системами из многих звезд».

Но Кант полностью осознавал, что туманности различных типов могут иметь различную природу: «Тут нас ожидают большие открытия, ключом к которым должны послужить наблюдения. Туманные звезды . . . должны быть исследованы и проверены...».

В 1731 г. английский физик и любитель астрономии Джон Бевис, а спустя 27 лет, в 1758 г., французский астроном Шарль Мессье (1730—1817) независимо обнаружили в созвездии Тельца «белесоватое вытянутое пятно света, по форме напоминающее свечу, не содержащее внутри себя звезд». В середине XIX в. этот объект получил название «Краб». В 1781 г. Мессье составил каталог туманностей и звездных скоплений, содержащий 103 объекта, из которых 68 впервые были открыты им самим. Составил же он его для облегчения поисков комет, которых Мессье в 1763—1802 гг. открыл 14. Туманность из созвездия Тельца стоит в каталоге Мессье под номером 1, туманность Андромеды — под номером 31 (краткое обозначение объектов — М 1 и М 31).

Но это была лишь крупица того, чем, как оказалось, богато окружающее нас пространство Вселенной. Собрать же щедрый урожай удалось Гершелю...

«Он сломал засовы небес». «Coelorum perrupit claustra» — эти слова написаны на могиле выдающегося английского астронома Вильяма Гершеля, ученого, который целью своей жизни избрал познание строения небес.

Музыкант по профессии, Гершель очень увлекся астрономией. Чтобы осмотреть сказочные чудеса неба, столь захватывающе описанные в одной из прочитанных им книг, Гершель начал самостоятельно изготавливать зеркала для телескопов и очень скоро стал выдающимся мастером этого дела. Гершель писал: «Я решил ничего не принимать на веру, но собственными глазами увидеть все, что другие видели до меня..., дав себе слово не оставлять ни единого, даже малюсенького кусочка неба без надлежащего исследования».

Первый телескоп Гершеля (1774 г.) имел диаметр глав-

ного зеркала 20 см и длину 168 см. В этот инструмент Гершель смог хорошо рассмотреть яркую туманность в созвездии Ориона. Успех окрылил ученого. С этого времени он с головой окунулся в работу: днем шлифовал зеркала, вечером давал концерты и уроки музыки, ночью наблюдал звездное небо. Он писал своему брату: «...Мне необходимо занятие: от безделья я становлюсь больным, оно меня убивает».

Помогала Гершелю его сестра Каролина. Вот что она писала про лето 1774 г., о заботах, в которых нуждался ее брат: «...Когда он шлифовал, мне даже приходилось самой класть ему пищу в рот, иначе он совсем изголодался бы: однажды, кончая шлифовать семифутовое зеркало, он не отрывал от него рук в течение шестнадцати часов»... Иначе нельзя: если остановиться, чтобы отдохнуть, форма зеркала в итоге будет с дефектами. В 1787 г. Гершель построил свой наибольший телескоп с диаметром зеркала 147 см (рабочий диаметр 122 см), фокусным расстоянием более 12 м и весом 2 т. Всего же он отшлифовал около 400 зеркал. После открытия планеты Уран (см. с. 200) Гершель стал астрономом-профессионалом.

Гершель — основоположник звездной астрономии, науки, изучающей строение и развитие звездных систем. Он впервые «переадресовал» внимание астрономов с Солнечной системы на более отдаленные объекты Вселенной. Гершель «сломал засовы небес», открыл окно в Большую Вселенную, в величественный по своей красоте мир звезд и туманностей.

Уже ранее шведский философ Эммануил Сведенборг (1688—1772) в своем труде «Опыт философии и минералогии» впервые высказал мысль о том, что звезды, большинство которых мы наблюдаем в виде Млечного Пути, объединяются в гигантскую звездную систему, причем в безграничной Вселенной таких систем может быть очень много. Эти представления развил английский астроном Томас Райт (1711—1786) в своей книге «Теория Вселенной» (1750 г.). Он подчеркнул при этом, что наша звездная система имеет форму плоского диска. Ламберт в «Космологических письмах о строении Вселенной» (1761 г.) утверждал, что Вселенная представляет собой безграничную «иерархическую лестницу» — безграничную геометрическую прогрессию космических систем. В этой схеме Солнце вместе с планетами и кометами создает систему первого порядка. Систему второго порядка составляет Солнце вместе со многими другими звездами, вращающимися вокруг ка-

кого-то массивного центрального тела. Млечный Путь по Ламберту — это система третьего порядка. По его мнению, таких систем во Вселенной неисчислимо множество, в частности это и туманности, наблюдаемые в отдельных участках неба. Совокупность многих млечных путей представляет систему четвертого порядка и т. д. Ламберт оценил расстояние до звезд первой величины (в частности, до Сириуса) числом 500 000 а. е. По его подсчетам, протяженность Млечного Пути в 150 000 раз превышает эту величину, т. е. она должна бы равняться 75 млрд а. е. (1 200 000 световых лет).

Но все это были догадки. Конкретные же выводы об устройстве Галактики, о природе туманностей могли быть сделаны в результате многих и тщательных наблюдений. Ими мы и обязаны Гершелю...

Прежде всего, Гершель дал убедительное свидетельство того, что расстояния до различных звезд неодинаковы и что Солнце по отношению к ближайшим звездам движется в пространстве. Еще в 1718 г., сравнивая каталоги звезд, составленные Гиппархом, Тихо Браге и Флемстидом, Галлей обнаружил, что звезды Сириус, Арктур и Альдебаран проявляют свое *собственное движение* на фоне далеких «неподвижных» звезд. До 1760 г. Майер уже обнаружил этот эффект у 57 звезд. И вот в 1783 г., сравнивая собственные движения 59 звезд, Гершель заметил, что в направлении созвездия Геркулеса звезды как бы расходятся, тогда как на противоположном участке неба сближаются. Из этого он сделал такой вывод: поскольку некоторые звезды движутся, а, кроме того, все звезды притягивают друг друга, то все звезды, в том числе и Солнце, перемещаются в пространстве. При этом движение Солнца может быть обнаружено по кажущимся смещениям звезд в противоположном направлении. Точку неба (по расчетам Гершеля она находится недалеко от звезды λ Геркулеса), по направлению к которой движется Солнце, Гершель назвал *апексом* (лат. арех — вершина). Гершель оценил и скорость движения Солнца по отношению к ближайшим звездам: «...Мы можем обычным путем установить, что солнечное движение определенно не может быть меньше того движения, которое Земля совершает по своей годичной орбите», хотя и завысил ее по крайней мере в полтора раза.

В телескоп Гершеля были видны звезды до 15^м. Гершель решил составить представление о строении звездной системы на основании наблюдений и для этого использовал «метод черпков». Он провел воображаемую плоскость через сере-

дину Млечного Пути (такую плоскость принято называть *галактической*) и подсчитывал число звезд, видимых в телескоп, в каждом из 1083 участков неба, расположенных на разных угловых расстояниях от этой плоскости. При этом ему пришлось иметь дело с подлинным морем звезд. Так, по его оценкам, в плотных частях Млечного Пути в полосе шириной 2° перед его глазами за 15 минут проходило... более 116 тысяч звезд! На основании анализа полученных результатов Гершель пришел к выводу, что звездная система — *Галактика*, в которую входит и наше Солнце, — имеет вид сплюснутого диска диаметром 5800 и толщиной 1100 световых лет. (Именно Гершель и ввел световой год как единицу измерения расстояний.) Как нам известно, он преуменьшил размеры Галактики в... 15 раз.

Большое внимание уделил Гершель туманностям. В 1786 г. вышел его «Каталог тысячи туманностей и звездных скоплений». Во втором каталоге 1789 г. содержалось еще более 1000 объектов, а в 1802 г. вышло третье дополнение из 500 объектов, всего их Гершель насчитал свыше 2500. Он первым обнаружил разнообразие форм туманностей, отдельно выделив «планетарные» и «кометарные» туманности. Гершель допускает существование в межзвездной среде «самосветящейся диффузной материи». Он говорит: «Быть может, было слишком поспешным заключить, что все млечные туманности, которых так много на небе, обязаны [своим видом] лишь свету [скопившихся здесь] звезд... Эти туманные звезды могут служить ключом к разгадке других таинственных явлений».

Изучая Большую туманность Ориона, Гершель приходит к выводу, что «светящаяся материя подходит для нее значительно лучше, чем скопление удаленных звезд». В 1802 г. он делает попытку классифицировать туманности с учетом истинной их природы, а не по внешним признакам. Так он выделил шесть классов: туманности, «звезды с шипами, или звездные туманности», «млечные туманные образования», «планетарные туманности» и «планетарные туманности с яркими центрами». Объекты первых двух классов Гершель считал далекими звездными системами «типа нашей звездной системы». Расположены они далеко за пределами Галактики. Ближайшей из них и должна быть система из созвездия Андромеды. Он писал: «Я не считаю необходимым повторять, что небеса состоят из участков, в которых солнца собраны в системы».

В другом месте Гершель пишет: «Хотя мы привыкли называть Млечным Путем часть неба, ограниченную яркой

зоной, возможно, следует указать некоторые другие необычайно интересные туманности, которые не могут быть меньшими и, вероятно, намного даже более протяженные, чем наша собственная система. А поскольку они также имеют вытянутую форму, то жители планет, обращающихся вокруг звезд, составляющих эти системы, должны, как и мы, наблюдать такое же явление. Поэтому эти туманности также могут быть названы млечными путями — с малой буквы в отличие от нашей системы». Последняя же, по Гершелю, является лишь островком в океане Вселенной...

Гершель сделал также попытку оценить расстояние до этих далеких млечных путей. За единицу масштаба он принял расстояние «Солнце — Сириус», считая его равным 6,38 светового года (в действительности оно равно 8,7 светового года). Кстати, именно в этих единицах он дал и размеры нашей Галактики: протяженность 850 и толщина 200—250 световых лет (в 1817 г. он «увеличил» протяженность до 1800 единиц). Итак, расстояние до туманности Андромеды Гершель оценил в 200 расстояний «Солнце — Сириус», т. е. всего в 12 760 световых лет, допустив ошибку почти в 200 раз. Однако расстояния до самых слабых «туманностей» — далеких галактик, которые ему удавалось наблюдать, он оценивал правильно — в 1 млн световых лет.

Оценив расстояния до далеких туманностей — звездных систем, Гершель вполне справедливо указывает, что их возраст измеряется миллионами веков, так как при помощи телескопов астрономы заглядывают в далекое прошлое этих объектов... «Такой объект,— говорит Гершель,— должен был существовать много лет назад, чтобы мы могли лишь теперь обнаружить его».

Гершель обратил внимание на особенности в распределении туманностей на небесной сфере — неравномерность и тенденцию к скучиванию. Он писал: «... Я уже вскоре заметил, что в одних направлениях туманности обнаруживаются, в других — нет» и «когда я наталкивался на одну туманность, я обычно обнаруживал по соседству еще несколько их». К тому же они в ряде случаев образуют целые «пакеты», или «пласты»...

Три последних класса выделенных Гершелем туманностей, по его мнению, определенно не состоят из звезд, а представляют собой массы диффузной самосветящейся материи в различных состояниях сгущения.

Еще в 1785 г. он высказал мысль, что во Вселенной продолжается рождение новых объектов. «Материалом» при

этом будто бы являются старые скопления звезд (как он тогда думал, это — планетарные туманности). В них звезды уже настолько сближены, что движутся сквозь атмосферы друг друга. Тормозясь, они падают друг на друга, образуя новые тела, что, в частности, могло бы быть причиной вспышки новой звезды.

После того как он убедился в существовании в межзвездном пространстве настоящих газовых туманностей, Гершель в 1791 г. приходит к выводу, что они как раз могут быть тем материалом, из которого формируются звезды. Звезда образуется вследствие сжатия туманности, а ее масса к тому же может еще возрастать за счет выпадения на нее окружающего вещества. Гершель писал: «Этот взгляд проливает новый свет на строение неба. Оно мне представляется теперь чудесным садом, в котором размещено огромное количество самых разнообразных растений, высаженных на различные грядки и находящихся на разных стадиях развития; из такого состояния вещей мы можем иметь по крайней мере одну пользу: можем наш опыт растянуть на огромные отрезки времени.. Ведь не все ли равно, будем мы последовательно присутствовать при зарождении, цветении, одевании листьями, оплодотворении, увядании и, наконец, окончательной гибели растений или одновременно будем наблюдать много образцов, взятых на разных ступенях развития, через которые растение проходит в течение своей жизни?».

На протяжении более сорока лет Гершель изучал тесные пары звезд и уже в 1782 и 1784 гг. опубликовал два каталога «двойных» звезд. Но лишь в 1803 г. он смог уверенно сообщить об установлении им определенной физической связи для 50 пар звезд, орбитальное движение компонент которых он уже зафиксировал. В 1822 г. был опубликован третий каталог 145 двойных звезд с подробным исследованием их орбит. Всего же Гершель открыл свыше 800 двойных и кратных систем звезд.

Да, Гершель открыл целый мир — мир двойных звезд и самых разнообразных туманностей. Можно, конечно, если говорить о мире туманностей, утверждать, как это делает Ч. Уитни, что «он открыл его загадки, но не нашел их решения». Но ведь до разработки метода спектрального анализа оставалось более чем полвека! Поэтому сын Вильяма Гершеля Джон Фредерик Вильям Гершель (1792—1871) спустя четыре года после смерти отца спокойно мог сказать: «Поле предположений так широко и аналогии, на которые мы должны полагаться, так ненадежны, что в на-

стоящее время нам, пожалуй, следует отказаться от гипотез и обратиться (быть может, на века) к наблюдениям»...

Коперник прав: доказательства найдены! Попытки обнаружить годичное смещение звезд повторялись неоднократно многими астрономами. Ведь оно было бы непосредственным доказательством правильности гелиоцентрической модели мира. Время от времени то тот, то другой астроном утверждал, что ему удалось измерить это смещение. Среди них был и Гук. Да, все тот же Гук, низенький, скрюченный и горбатенький, успевающий за день посетить несколько лондонских кофеен и поделиться с каждым встречным новостями астрономии и физики, который благодаря своему таланту сумел подняться из непроглядной нищеты до кресла секретаря Королевского общества, Гук, который многое действительно открыл первым, но очень часто так и не сумевший сориентироваться в том, что же ему «приплыло в руки». Вот этот самый Гук однажды уведомил всех, что он измерил годичный параллакс звезды γ Дракона и получил число $30''$. Увы, будь он повнимательнее — ведь он действительно открытие сделал — да, будь он повнимательнее, и мы в школе заучивали бы важную фразу: «Гук открыл явление аберрации света и дал первое доказательство правильности теории Коперника». Но...

В конце 1725 г. уже упоминавшийся английский астроном Джеймс Бадлей решил проверить результаты Гука. Для этого он использовал зенитный сектор радиусом $7,2$ м, дуга которого имела всего несколько градусов. Инструмент был установлен в меридиане так, чтобы он не менял своего положения на протяжении года и чтобы его можно было направлять на звезду, проходящую через зенит.

И в самом деле, оказалось, что угловое расстояние звезды γ Дракона от зенита на протяжении года изменяется! С декабря до марта звезда сместилась на $20''$ на юг, с марта по сентябрь — на $40''$ на север, а к началу декабря снова, как и в июне, возвратилась на свое «среднее» место. Погрешность наблюдений Бадлея не превышала $2''$.

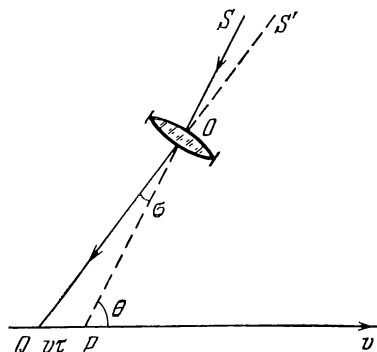
И все же это не было параллактическим смещением! Ведь взаимное положение звезды γ Дракона и Солнца на небесной сфере таково, что, «отображая» движение Земли вокруг Солнца, эта звезда должна была бы достигать наибольшего смещения в ту или другую сторону на три месяца раньше, чем об этом свидетельствовали наблюдения. Это не могло быть связано и с колебательным движением земной оси (Бадлей позже открыл это *нутац*ионное движение с периодом 19 лет и амплитудой $18''$), так как оказалось,

что чем ближе звезда к эклиптике, тем ее смещение вдоль меридиана меньше.

По преданию Брайлей, плавая на лодке по Темзе, заметил, что флажок на мачте изменяет свое направление по отношению к берегу каждый раз, как только лодка меняет свой курс. Ведь направление, указываемое флажком, является результатом сложения скорости ветра и лодки. А что, если вместо ветра представить себе поток света, идущий от звезды, а вместо лодки Землю? И Брайлей в 1729 г. написал: «Наконец я догадался, что все упоминаемые явления происходят в результате поступательного распространения света и годичного движения Земли по своей орбите». Вследствие этого «...всегда будет существовать разница между действительным и видимым положением объекта, если только глаз не будет двигаться прямо к нему или от него».

В самом деле, за время прохождения светового луча от объектива до окуляра сам телескоп (вследствие движения

Рис. 55. Аберрация; наблюдатель, движущийся со скоростью v , увидит светило не в направлении SP , а в направлении $S'Q$



Земли) смещается (рис. 55). Поэтому его необходимо наклонять слегка в направлении движения Земли, чтобы избранное светило оставалось в центре поля зрения. Это явление, названное позже *абберацией*, явилось серьезным доказательством правильности теории Коперника.

Второе доказательство — годичное параллактическое смещение близких звезд на «общем звездном» фоне — было получено столетием позже. Стремление обнаружить упомянутые смещения было, вероятно, у всех, кто занимался измерением точных координат звезд, начиная с Тихо Браге. Попытки, как правило, были неудачными, и это все более укрепляло уверенность в том, что расстояния до звезд поистине огромны. Например, в книге «Рассуждение о строе-

нии мира» (1770 г.) петербургского академика Франца Эпинуса (1724—1802), в которой, кстати, излагалась коперниканская теория строения Солнечной системы, указывались следующие расстояния до звезд: «восемь тысяч крат тысяча миллионов миль не довольны к измерению расстояния самой ближайшей неподвижной звезды от нас». А это соответствует расстоянию... в 6,5 светового года (1 миль = 7,5 км)!

Еще Галилей в «Диалогах» устами коперниканца Сальвиати предложил дифференциальный метод обнаружения параллактического смещения звезд: измерять угловое расстояние между двумя близкими на небесной сфере звездами, существенно различающимися между собой по блеску. И Брайлей сделал правильный вывод о том, что с помощью имевшихся в его время инструментов обнаружить смещения звезд, вызванные годичным движением Земли, нельзя.

После Гюйгенса совершенствовались попытки установить расстояния до звезд фотометрическим путем. Так, в 1801 г. Ольберс, сравнивая блеск Альдебарана с блеском Марса, нашел для этой звезды параллакс $\pi = 0,60''$ (истинное значение $0,048''$), а из сравнения блеска Проциона и Сатурна — параллакс Проциона $0,57''$ (истинное значение $0,288''$). Джон Гершель в работе «О параллаксах неподвижных звезд» (1826 г.) предложил измерять изменения позиционных углов близких оптических пар звезд — угол между направлением на полюс мира и на вторую звезду с вершиной в первой. Расчет показывает, что если звезды находятся на расстоянии $5''$ и параллакс одной из них равен $1''$, то это приведет к колебаниям величины позиционного угла почти на $11,5^\circ$, а если угловое расстояние между звездами равно $1''$, то на 53° . Так Гершель для 69 звезд нашел величины параллаксов в пределах от $0,020''$ до $0,136''$.

Первый в истории астрономии индивидуальный параллакс звезды определил и опубликовал в 1822 г. в третьем томе «Дерптских наблюдений» В. Я. Струве (1793—1864). Это была звезда α Орла — Альтаир. По Струве ее параллакс $0,181''$ (истинное значение $0,198''$). Струве использовал метод наблюдений пар звезд, прямые восхождения которых отличаются примерно на 12 часов, фиксировал моменты их кульминаций (верхних и нижних) и в итоге получал линейные комбинации параллаксов обеих звезд каждой наблюдавшейся им пары *). В целом в упомянутой работе

*) *Ерпылев Н. П.* Развитие звездной астрономии в России в XIX в. — ИАИ. — 1958. — Вып. IV. — С. 75.

Струве показал, что параллаксы 27 ярких звезд не превышают 0,5".

В 1837 г. В. Я. Струве издал каталог «Микрометрические измерения», в который вошли результаты его 15-летних наблюдений двойных звезд. Там же он сообщает об определении параллакса звезды α Лиры (Веги), 0,125" (истинное значение 0,121").

В 1839 г. были опубликованы результаты измерений параллакса звезды 61 Лебеда, полученные немецким астрономом, директором Кенигсбергской обсерватории Фридрихом Вильгельмом Бесселем (1784—1846): $\pi=0,314''$ (истинное значение 0,293"). В том же году английские астрономы Томас Гендерсон (1798—1844) и Томас Маклир (1794—1879) — второй сменил первого на посту директора Капской обсерватории (Южная Африка) — определили параллакс звезды α Кентавра: $\pi=0,976''$ (истинное значение — 0,751")... По этому поводу Джон Гершель сказал: «Стена, препятствовавшая нашему проникновению в звездную вселенную,... была пробита почти одновременно в трех местах. Это — самый величественный, самый славный триумф, который когда-либо переживала практическая астрономия».

Были получены доказательства и вращения Земли вокруг своей оси. В 1791 г. итальянец Джованни Гульельмини обнаружил, что металлический шар, падающий с высоты 73 м, отклоняется к востоку почти на 1 см. Именно так и должно быть: ведь вершина башни, с которой падает шар, расположена дальше от оси вращения планеты и поэтому имеет большую линейную скорость движения. Ее и сохраняет шар при падении.

В 1851 г. французский физик Жан Бернар Леон Фуко (1819—1868) под куполом парижского Пантеона подвесил на проволоке длиной 67 м тяжелый металлический шар (весом 28 кг) и придал этому маятнику колебательное движение. Плоскость колебаний маятника непрерывно поворачивается, свидетельствуя о вращении Земли. Если бы маятник был установлен на полюсе, то, сохраняя плоскость своих колебаний неподвижной относительно звезд, он за сутки поворачивался бы на 360°, тогда как на экваторе эта плоскость сохраняет свое положение. Если же наблюдатель находится на географической широте φ , то угол поворота маятника за 5 мин колебаний равен $1,25^\circ \sin \varphi$.

В звездном водовороте. На протяжении всего XIX в. продолжалась тяжелая (почему бы не сказать — изнурительная, самозабвенная?) работа по «инвентаризации» отдель-

ных объектов звездной Вселенной, уточнению их координат, выявлению собственных движений, измерению их параллаксов. Ко всему сказанному выше добавим здесь еще несколько характерных штрихов.

Прежде всего, об одном из основателей астрометрии — Бесселе. Он был учеником конторщика в крупном торговом доме, перед ним вырисовывались широкие возможности. Но он... предпочел «бедность и звезды» и поступил ассистентом на частную обсерваторию немецкого астронома Иоганна Иеронима Шрётера (1745—1816), занимавшегося изучением Луны и планет, с ничтожным жалованием... В 1802 г. Бессель писал брату, что «математика — самая увлекательная наука из всех наук. Вместе с астрономией она заменяет мне... развлечения, которые я знаю только по имени». В 1810 г. его пригласили для организации Кенигсбергской обсерватории, директором которой он и был до конца своей жизни.

С 1821 по 1833 г. на установленном им меридианном круге Бессель провел наблюдения более 75 000 звезд в зоне от $+47^\circ$ до -16° по склонению. И вот в 1834 г., изучая собственные движения звезд, Бессель обнаружил еле заметные отклонения этого движения у Сириуса, а в 1840 г. — то же самое у звезды Процион: пути обеих звезд выглядели «волнистыми». Объяснил это Бессель тем, что у каждой из этих звезд есть темный невидимый спутник, который, обращаясь вокруг главной звезды, возмущает ее движение. В обоих случаях период обращения спутника Бессель оценил в 50 лет. Бессель писал: «Тот факт, что мы видим бесчисленное множество ярко блистающих звезд, не может еще сам по себе служить доводом для того, чтобы отрицать возможность существования бесчисленного множества темных невидимых звезд».

И в самом деле, в январе 1862 г. Альван Кларк (1804—1887) — известный американский оптик-шлифовальщик, испытывая только что изготовленный объектив диаметром 46 см, обнаружил спутник Сириуса в виде звездочки не ярче 8^m . Через 34 года, в 1896 г., американский астроном Джон Мартин Шеберле (1853—1924) открыл спутник Прокциона — звезду 13^m . Как оказалось позже (см. с. 269), это были представители нового типа звезд — белых карликов.

В 1839 г. была основана Главная астрономическая обсерватория Петербургской Академии наук в Пулкове, первым директором которой был выдающийся русский астроном В. Я. Струве. Еще в 1827 г. он, просмотрев около

120 000 звезд, опубликовал «Новый каталог» двойных звезд, в котором насчитывалось 3110 объектов, причем 2343 из них были открыты самим Струве. Большое значение для развития звездной астрономии имела книга Струве «Этюды звездной астрономии» (1847 г.). Здесь Струве на основании многочисленных наблюдений не только сделал правильный вывод о том, что «существует потеря света, поглощение при прохождении света через мировое пространство», но и нашел, что блеск звезды ослабляется в среднем на $0,6^m$ на каждые 1000 парсеков *). Анализируя наблюдения В. Гершеля, Струве пришел к выводу, что реальная проникающая сила телескопа Гершеля была почти в три раза меньше определенной теоретически. Струве писал: «Я не вижу никакого другого объяснения [этого факта], помимо допущения, что интенсивность света убывает быстрее, чем обратно пропорционально квадрату расстояния...». Увы, существование поглощения света в межзвездном пространстве было окончательно признано астрономами лишь после 1930 г.

В 1847 г., спустя всего восемь лет после основания Пулковской обсерватории, об уровне ее работ директор Гринвичской обсерватории Эри сказал следующее: «Я ничуть не сомневаюсь в том, что одно пулковское наблюдение стоит не меньше двух, сделанных где бы то ни было в другом месте»... Неслучайно поэтому при составлении фундаментальной системы положений звезд — каталога Босса — объем работ, выполненных пулковскими астрономами, достигал 30 %. Совершенно заслуженно американский астроном Бенджамин Анторп Гулд (1824—1896), посетив Пулковскую обсерваторию, назвал ее «астрономической столицей мира»...

В середине XIX в. «созрел» вопрос об особенностях движения звезд в Галактике. Поставил его Аргеландер: «Если Солнце подобно другим (неподвижным) звездам движется, то по какому закону происходит это движение? Подчиняются все эти бесчисленные небесные тела только их взаимному тяготению, образуют они многие системы или повинуются все они преобладающей силе тяготения единственного большого центрального тела?». Проанализировав известные ему данные о собственных движениях 390 звезд, Аргеландер сделал вывод, что, «по-видимому, в центре звездной систе-

*) 1 парсек (1 пк) — это расстояние, при котором параллакс звезды равен $1''$ (т. е. расстояние, с которого диаметр земной орбиты виден под углом $1''$); $1 \text{ пк} = 3,26$ светового года.

мы находится массивное тело». Однако он возражал против высказанного Кантом предположения, будто им является Сириус: эта звезда находится на угловом расстоянии в 22° от антиапекса, а если бы он находился в центре движений звезд (и Солнца), то этот угол должен быть близок к 90° . По Аргеландеру, местом нахождения центрального тела должно быть созвездие Персея...

Иной взгляд был высказан Медлером, бывшим с 1840 по 1866 г. директором Дерптской (Тартуской) обсерватории, в его двухтомном труде «Исследования системы неподвижных звезд» (1847—1848 гг.) Медлер исходил из предположения об отсутствии в центре нашей звездной системы массивного тела. Он рассмотрел движение звезд в поле тяготения всей совокупности примерно равных по массе звезд. Геометрический центр этого движения, по Медлеру, находился в скоплении Плеяды. Он писал: «Плеяды образуют гравитационный центр всего звездного мира, включающего и кольцо Млечного Пути. Этот центр не представляет собой материального тела большой массы, он является скорее мнимым центром тяжести, по отношению к которому общее притяжение звезд находится в равновесии. Отсутствие массивного тела в центре является причиной того, что притяжение растет с увеличением расстояния до центральной точки. Той отдельной звездой, в которой можно поместить центр тяжести с большей вероятностью, чем где-либо еще, является Альциона». Звезды в Галактике будто бы образуют систему концентрических колец, а радиус нашей звездной системы составляет 3648 световых лет, причем Солнце будто бы находится вблизи центра Галактики.

Критикуя эти взгляды Медлера, профессор Казанского университета М. А. Ковальский (1821—1884) разработал метод определения движения Солнца в пространстве, впервые дал математическую постановку задачи о вращении нашей звездной системы, установил, что звезды в галактическом поясе движутся медленнее, чем вне его. Ковальский опроверг гипотезу Медлера о существовании динамического центра звездной системы в Плеядах и показал, что при движении звезд проявляются более сложные закономерности, обусловленные взаимодействием звезд.

В середине XIX в., как только ирландский астроном Уильям Парсонс — лорд Росс (1800—1867) в 1845 г. закончил строительство крупнейшего по тем временам телескопа с диаметром зеркала 183 см и фокусным расстоянием 15,8 м, снова заострился вопрос о природе туманностей. Ведь В. Гершель в последние годы своей жизни как будто скло-

нен был относить подавляющее число туманностей в разряд «самосветящейся диффузной материи». В телескоп же Росса были видны многочисленные детали туманностей, и Росс сделал вывод, что он различает в них отдельные звезды. Поэтому вскоре к числу звездных систем были отнесены даже кольцевая (планетарная) туманность в созвездии Лиры, Крабовидная туманность и ... туманность Ориона.

Весной 1845 г. Росс заметил, что туманность М 51 в созвездии Гончих Псов имеет спиральную форму (рис. 56),

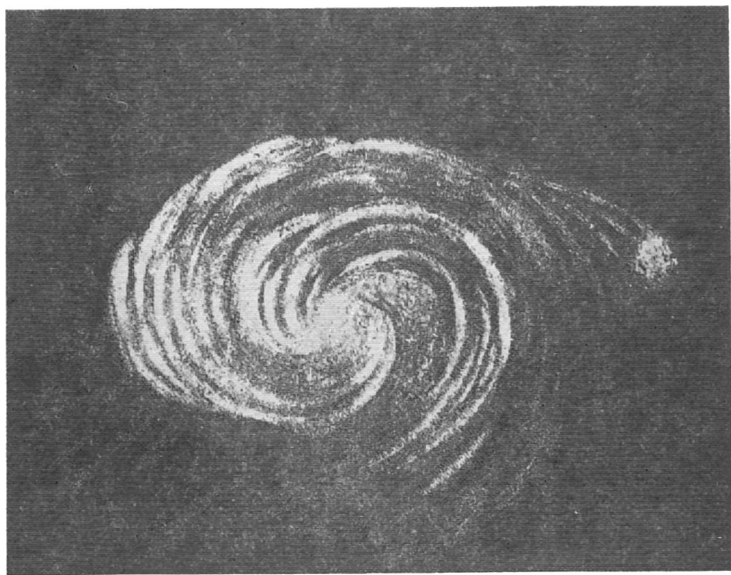


Рис. 56. Туманность М 51 по рисунку Росса («Водоворот Росса»)

она и получила на долгое время название «Водоворота Росса». Аналогичная спиральная структура была замечена им еще примерно у двадцати других туманностей. Росс, а вслед за ним и многие другие астрономы полагали, что веществу этих объектов присуще мощное вихревое движение, которое они и пытались измерить. Но мир туманностей оставался и дальше загадочным — до тех пор, пока не стали известны расстояния до этих объектов.

Парадоксы бесконечного. Как известно, парадоксом называется явление или взгляд, резко расходящийся с общепризнанными представлениями. Так называемые космологические парадоксы возникли при экстраполяции (рас-

пространении) законов классической физики на всю бесконечную Вселенную. Их существование давало, в частности, повод отрицать саму идею бесконечности Вселенной. В определенной степени анализ этих парадоксов содействовал развитию астрономии.

Первым среди них является *фотометрический парадокс*, высказанный в 1744 г. французским астрономом Жаном Филиппом Шезо (1718—1751) и заново сформулированный в 1826 г. Ольберсом: «Если бы Вселенная была бесконечной, число звезд в ней — беспредельно велико и если бы эти звезды были распределены во Вселенной равномерно, то все небо должно было бы выглядеть ослепительно ярким». В действительности такое явление не наблюдается.

Сущность *гравитационного парадокса* высказана в 1895 г. Зелигером: «Если в беспредельном пространстве плотность вещества не бесконечно мала, а каждые две материальные частички притягиваются взаимно по закону Ньютона, то сила тяготения, действующая на какое-либо тело, была бы неограниченно велика, под ее действием тела приобрели бы бесконечно большие ускорения».

Как оказалось, устранить оба этих парадокса можно, приняв предложенную Ламбертом иерархическую схему распределения вещества во Вселенной. Кроме того, фотометрический парадокс устраняется учетом факта «красного смещения» в спектрах галактик (см. с. 289); так же в рамках общей теории относительности нет места и для гравитационного парадокса. Подробнее об этом см. книгу И. Д. Новикова «Эволюция Вселенной» (М.: Наука, 1983).

В 1850 г. немецкий физик Рудольф Клаузиус (1822—1888) в своем труде «О движущей силе теплоты» пришел к выводу, что в природе существует переход теплоты от теплого к более холодному телу. Отсюда следовало, что «состояние Вселенной должно все больше и больше изменяться в определенном направлении». Несколько позже английский физик Уильям Томсон (лорд Кельвин, 1824—1907) предположил, что выравнивание температуры во Вселенной происходит из-за процессов превращения световой энергии в теплоту. Это будто бы в конечном итоге должно привести к «тепловой смерти» Вселенной — равномерному распределению тепла между телами Вселенной, при котором какие-либо процессы станут невозможными.

По этому поводу Ф. Энгельс указал: «Вопрос о том, что делается с потерянной как будто бы теплотой, поставлен, так сказать, *nettement* (начистоту, без уверток.— *Ред.*) лишь с 1867 г. (Клаузиус). Неудивительно, что он еще не ре-

шен; возможно, что пройдет еще немало времени, пока мы своими скромными средствами добьемся его решения. Но он будет решен; это так же достоверно, как и то, что в природе не происходит никаких чудес» *).

И действительно, физики вскоре пришли к выводу, что принцип «выравнивания температуры», являющийся статистическим законом и установленный в земных масштабах для замкнутых систем, ни в коей мере не может быть распространен на бесконечную Вселенную.

ПЕРВЫЕ ШАГИ АСТРОФИЗИКИ

На языке цветов. Разложив белый солнечный свет в спектр, Ньютон предсказывал этому эффекту большое будущее: «... безусловно, тот, кто будет внимательно и настойчиво исследовать эти вещи, не останется без богатых плодов своего труда». И действительно, изучение дисперсии света привело к развитию спектрального анализа, благодаря которому стали возможны исследования физической природы небесных тел ...

В 1802 г. английский физик Вильям Волластон (1766—1828) сообщил, что по его наблюдениям солнечный свет после прохождения через призму не является непрерывным рядом всех цветов от красного до фиолетового. Он перерезан темными линиями, параллельными щели, через которую свет проходит. То же самое он наблюдал и в спектрах различных раскаленных тел.

Более подробно этот вопрос исследовал немецкий физик Иосиф Фраунгофер (1787—1826), который раньше других догадался рассматривать спектр через зрительную трубу. Он открыл, что в спектре пламени растительного масла и спирта в одном и том же месте есть четкая sdвоенная желтая линия. Исследуя солнечный спектр, Фраунгофер открыл в нем и описал более 500 отдельных темных линий, называемых теперь *фраунгоферовыми*. Самые яркие из них он обозначил прописными латинскими буквами (от красного до фиолетового участка спектра) — А, В, С, D, E, F, G, H (из них хорошо известная линия водорода H_{α} была обозначена буквой С, линия H_{β} — F и т. д.).

Фраунгофер начал исследования спектров других небесных тел и обнаружил при этом, что в спектрах Луны и планет есть такие же темные линии, как и в солнечном, в отличие от спектров звезд.

*) Маркс К., Энгельс Ф. Соч.— Т. 20.— С. 599.

Но самым главным было другое. Сравнивая спектр пламени растительного масла с солнечным, Фраунгофер обнаружил, что яркая линия пламени занимает то же место, что и темная линия D солнечного спектра. Так было получено первое доказательство того, что Солнце состоит из тех же химических элементов, что и Земля; тем самым были заложены основы спектрального анализа.

Фраунгофер первым начал использовать дифракционную решетку, натягивая металлические проволоочки через углубления в резьбе двух параллельно укрепленных винтов. Именно ему пришла в голову счастливая мысль установить одну из осей телескопа параллельно оси мира, а для ведения инструмента вслед за светилom использовать часовой механизм. Преждевременная смерть в 39 лет прервала деятельность талантливого ученого. На его могиле установлена надпись: «Он приблизил к нам звезды»...

Позже, в 1857 г., Вильям Сван (1817—1871) установил, что желтая линия D излучается натрием, очень распространенным в природе. Обобщил это открытие немецкий физик Густав Роберт Кирхгоф (1824—1887), который вместе с Робертом Вильгельмом Бунзеном (1811—1899) осуществил целый комплекс исследований. Вот что Кирхгоф писал в 1859 г. по этому поводу: «Во время проведенного совместно Бунзеном и мною исследования о спектрах окрашенного пламени, давшего нам возможность определить содержание сложных смесей по спектру их пламени на паяльной трубке, я сделал несколько наблюдений, которые дают неожиданное указание в отношении происхождения фраунгоферовых линий и позволяют сделать на их основании выводы о составе атмосферы Солнца и, возможно, ярчайших звезд».

И далее: «Фраунгофер заметил, что в спектре пламени свечи видны две светлые линии, совпадающие с двумя темными линиями солнечного спектра. Те же светлые линии будут более яркими в пламени, к которому примешана кухонная соль ...

Из этих наблюдений я делаю вывод, ... что темные линии солнечного спектра, которые не образуются атмосферой Земли, возникают благодаря наличию в атмосфере Солнца веществ, которые в спектре пламени дают на том же месте светлые линии. Можно допустить, что светлые линии, которые в спектре пламени совпадают с D, всегда обусловлены наличием натрия; следовательно, наличие темных линий D в спектре Солнца позволяет сделать вывод, что в атмосфере Солнца есть натрий».

Всего Кирхгоф измерил положение нескольких тысяч

фраунгоферовых линий в спектре Солнца и установил их тождество с эмиссионными линиями десятка земных элементов. Обобщая этот огромный экспериментальный материал по изучению спектров поглощения и испускания различных тел и веществ, Кирхгоф сформулировал фундаментальный закон электромагнитного излучения: отношение испускательной и поглощательной способностей тела не зависит от его природы и для всех тел является функцией температуры и длины волны.

Так были заложены основы *астрофизики* (этот термин был введен в 1865 г.) — науки о физическом строении небесных тел. И очень скоро она праздновала свою первую победу. Наблюдая в 1868 г. спектр Солнца, английский астроном Джозеф Норман Локьер (1836—1920) обнаружил в нем яркую желтую линию вблизи линии D натрия. Неизвестный элемент, которому принадлежала эта линия, получил название гелий, т. е. «солнечный». И лишь в 1895 г. гелий был найден на Земле во время исследования спектров отдельных минералов. Это открытие стало превосходным доказательством материального единства Вселенной.

Поэтому сегодня могут лишь вызывать усмешку пессимистические утверждения французского философа Огюста Конта (1798—1857), сделанные им, в частности, в книге «Курс позитивной философии» (1835 г.). Он писал о небесных телах так: «Мы представляем себе возможность определения их форм, расстояний, размеров и движений, но никогда, никакими способами мы не сможем изучить их химический состав, их минералогическое строение, природу органических существ, живущих на их поверхности». И далее: «Я остаюсь при своем мнении, что любое знание истинных средних температур звезд неминуемо должно быть навсегда скрыто от нас».

Действительно, пессимизму Конта можно удивляться. Ведь в это время уже был осуществлен анализ химического состава метеоритов, а немецкий ученый Эрнст Флоренс Фридрих Хладни (1756—1827) еще в 1794 г. доказал их космическое происхождение, хотя и испытал в определенное время насмешки. Известно ведь, что когда в 1790 г. во французской провинции Гасконь выпал метеоритный дождь, Парижская Академия наук отказалась составить об этом протокол, чтобы не поддерживать «суеверия, недостойного этого просвещенного времени», хотя еще в 1660 г. Паоло Терцаго предположил, что метеориты являются продуктами вулканических извержений на Луне. Хладни же не сомневался в том, что метеориты образовались в процессе фор-

мирования других небесных тел и имеют одинаковый с ними химический состав.

«Горящий вечно Океан». Уже в середине XVIII в. М. В. Ломоносов, рассуждая о физической природе Солнца, назвал его «горящим вечно Океаном»:

«Там огненны валы стремятся
И не находят берегов,
Там вихри пламенны крутятся
Борющиеся множество веков,
Там камни, как вода, кипят,
Горящи там дожди шумят».

Тем не менее на протяжении последующих ста лет о физической природе Солнца высказывались самые неправдоподобные и наивные суждения. Так, Боде в 1776 г. высказал предположение, согласно которому Солнце — это темное, подобно Земле, тело, что оно частично покрыто жидкостью, частично материками, среди которых возвышаются горы, что оно окружено двумя атмосферами — одной из паров, другой из светлого вещества. Пятна, считал Боде, — это твердая темная поверхность, которую мы видим сквозь облака...

Примерно тех же взглядов придерживался и В. Гершель. Разработанная им в 1795 г. теория строения Солнца пользовалась признанием более полувека. Гершель полагал, что само Солнце — холодное, твердое, темное тело, окруженное двумя облачными слоями, из которых наружный, *фотосфера*, крайне раскален и ярок. Внутренний же слой облаков, как своеобразный экран, защищает центральное ядро от действия жара. Темные пятна — это как раз внутренняя поверхность твердого ядра, видимая через разрыв в облаках, полутень же соответствует внутреннему облачному слою, освещаемому сверху. Гершель писал: «С этой новой точки зрения Солнце представляется мне необычайно величественной, огромной и яркой планетой; очевидно, это первое или, точнее говоря, единственно первичное тело нашей системы... всего вероятнее, что оно обитаемо, подобно остальным планетам, существами, органы которых приноровлены к особенным условиям, господствующим на этом громадном шаре». Это, как отмечает А. Паннекук, показывает, «насколько познания в физике отставали тогда от высокого уровня астрономических знаний. Только с появлением учения об энергии проложил себе дорогу более глубокий взгляд, и тогда во второй половине века знания о Солнце стали быстро увеличиваться»...

Впрочем, установить агрегатное состояние вещества

внешних слоев Солнца (и других звезд), причем лет за тридцать до разработки Кирхгофом и Бунзенем метода спектрального анализа, удалось Араго. Этот ученый экспериментально обнаружил, что свет, исходящий от раскаленных твердых и жидких тел под малыми углами к излучающей поверхности, является поляризованным, тогда как в излучении нагретого газа этот эффект не обнаруживается. Построив полярископ, Араго изучал идущий от краев солнечного диска свет и пришел к выводу, что фотосфера Солнца находится в газообразном состоянии. Аналогичный вывод в случае звезд Араго сделал на основании наблюдений переменных звезд в минимуме их блеска, полагая, что ослабление света переменной звезды обусловлено или ее затмением темным спутником или же наличием на ее поверхности большого числа темных пятен — в обоих случаях к наблюдателю приходят лучи преимущественно от края диска. Для Араго было также очевидным, что протуберанцы являются огромными газовыми облаками, формирующимися в атмосфере Солнца ...

В попытке «заглянуть» в глубокие недра Солнца (и других звезд), установить распределение плотности и температуры от его внешних, наблюдаемых, слоев и вплоть до центра, пионерской была статья американского физика Джонатана Гомера Лейна (1819—1880) «О теоретической температуре Солнца при гипотезе газообразной массы, сохраняющей свой объем при помощи внутреннего тепла и зависящей от газовых законов, известных из земных экспериментов» (1869 г.). Здесь впервые показано, что большие газовые шары — Солнце и звезды — находятся в равновесии за счет возрастания давления в направлении к их центрам. Имея определенные экспериментальные данные о количестве энергии, излучаемой раскаленными телами, Лейн пришел к выводу, что температура на поверхности Солнца составляет 30 000 градусов, а плотность солнечной атмосферы 0,00036 г/см³. Цифры неточные, но они были первыми!

Но, как отмечает А. Паннекук, для того чтобы астрофизика смогла стать наукой, теоретическая физика должна была сначала разработать вполне надежную и совершенную теорию излучения. А этого удалось достичь лишь в XX в. ... Неудивительно поэтому, что из-за неопределенности представлений об общих законах излучения, скажем, в 1870 г. итальянский астроном Анджело Секки (1818—1878) определил температуру солнечной поверхности в несколько миллионов градусов, тогда как французский физик Клод Пуйе (1790—1868) ... всего в 1700 °С или еще меньше.

Важным вкладом в астрофизику были труды австрийских физиков Иозефа Стефана (1835—1893) и Людвика Больцмана (1844—1906). Первый из них в 1879 г. обнаружил из экспериментов, а второй в 1884 г. обосновал теоретически, что количество энергии ε , излучаемое нагретым абсолютно черным телом с единицы поверхности в единицу времени, пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры,

$$\varepsilon = \sigma T^4, \quad (3.2)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5}$ эрг/см²·К⁴·с. В 1893 г. немецкий физик Вильгельм Вин (1864—1928) установил известный *закон смещения Вина*: длина волны, соответствующая максимуму интенсивности излучения абсолютно черного тела, обратно пропорциональна его температуре. Благодаря этим законам к концу XIX в. удалось определить истинное значение температуры поверхности Солнца: она оказалась близкой к 6000 К.

Так подтвердилось предвидение М. В. Ломоносова: Солнце и в самом деле оказалось поистине горящим океаном...

Был достигнут прогресс и в изучении отдельных деталей поверхности Солнца. Так, в 1843 г. немецкий астроном-любитель, по профессии фармацевт, Генрих Самуэль Швабе (1789—1875), надеясь найти планету внутри орбиты Меркурия, на основании многолетних наблюдений солнечных пятен установил, что в их количестве наблюдаются максимумы и минимумы, повторяющиеся примерно через 10 лет. В 1852 г. швейцарский астроном Рудольф Вольф (1816—1893) уточнил период солнечной активности (он оказался в среднем равным 11,1 года) и ввел в астрономическую практику *числа Вольфа* $W = k(10g + f)$, где g — число групп солнечных пятен, f — общее число всех пятен, $k \approx 1$ — некоторый коэффициент. Английский астроном Ричард Кристофер Кэррингтон (1826—1875) в 1863 г. обнаружил, что период вращения Солнца возрастает по мере удаления от экватора, а в сентябре 1859 г. он же наблюдал явление солнечной вспышки. Тогда же немецкий астроном Густав Шпёрер обнаружил, что первые пятна нового цикла появляются на широтах 25—30°, тогда как в последующие годы их широты непрерывно уменьшаются и они исчезают на широте 5°. Во время наблюдавшегося в 1851 г. солнечного затмения было установлено, что наблюдаемые у края солнечного диска образования — *протуберанцы*, о которых говорили, будто это «розовые облака, плавающие в атмосфере Луны», на самом деле принадлежат Солнцу, что они представляют собой

выступы тонкой розовой оболочки — *хромосферы*, окружающей Солнце. В 1869 г. американский астроном Чарльз Огастес Юнг (1834—1908) доказал, что корона Солнца является частью его же атмосферы, а не ореолом, возникающим в атмосфере Земли, что корона имеет газообразную природу. Он же на многие десятилетия ввел в солнечную физику понятие «обращающего слоя», находящегося будто бы между фотосферой и хромосферой и несколько более холодного, чем фотосфера, в котором возникают линии поглощения. В спектре солнечной короны Юнг открыл необычную зеленую линию ($\lambda=5303 \text{ \AA}$), что привело к представлению о существовании особого химического элемента «корония» (лишь в 1942 г. шведский астрофизик Б. Эдлен доказал, что эту линию излучают 13-кратно ионизованные атомы железа).

Физика звезд и туманностей. Установление природы звезд и туманностей, изучение происходящих в них процессов стало возможным благодаря быстрому развитию спектральных методов исследований и фотографическому методу регистрации одновременно многих сотен и тысяч объектов на фотопластинке. Напомним, что история фотографии начинается с 1839 г., когда Араго сообщил на заседании Парижской академии наук об открытии Дагерром «скрытого изображения». В 1842 г. во Франции была получена первая фотография Солнца, в 1850 г. на Гарвардской обсерватории (США) получены первые удачные снимки Луны и звезд Вега и Кастор. В 1851 г. осуществлен переход на мокрый коллоидный способ получения негативного изображения, а с 1882 г. — на сухие бромо-желатиновые пластинки.

Совершенствовались приборы и методы определения блеска звезд. В частности, в 1856 г. английский астроном Норман Роберт Погсон (1829—1891) принял, что освещенность от звезды 1-й звездной величины ровно в сто раз больше, чем от звезды 6-й величины (впрочем, это было замечено еще Джоном Гершелем), или что для двух соседних величин она различается в $\sqrt[5]{100} = 2,512$ раза. Тем самым была установлена современная шкала звездных величин.

Было обращено внимание и на различие в цветах звезд. Одним из первых провел измерение цветов немецкий астроном Юлиус Шмидт (1825—1884). Он выразил цвета в виде ряда чисел: 0 — чисто-белый цвет, 2—4 — различные оттенки желтого, 6—10 все более глубокие оттенки красного цвета.

Но главным было изучение спектров звезд. Начал его Фраунгофер, который в 1817 г. обнаружил в спектрах неко-

торых звезд, в частности Сириуса и Кастора, темные линии, положение которых во многом отличалось от солнечных. Одним из пионеров использования спектрального анализа для изучения звезд был итальянский астроном Джованни Баттиста Донати (1826—1873), который получил спектры 13 ярких звезд (1862 г.) и который сделал вывод, что вид спектра в определенной степени зависит от цвета звезды.

Исключительно важные результаты были получены английским астрономом Уильямом Хеггинсом (1824—1910). Изучив спектры более двух десятков звезд, он уже в 1863 г. установил, что в звездах содержатся те же химические элементы — водород, натрий, кальций, магний и железо, что на Земле и на Солнце. И здесь вспоминаются слова М. В. Ломоносова, подчеркнувшего материальное единство Вселенной еще в 1756 г. в своих «Замечаниях к теории электричества»: «Во всех системах Вселенной элементы и начала одни и те же, и материя пылающего Солнца та же, что и внутренняя (материя) в раскаленных телах»...

Об этом периоде в истории астрономии Хеггинс позже писал так: «Для астрономов это было поистине несравненное время напряженнейших надежд и научных восторгов, ибо чуть ли не каждое наблюдение приносило тот или иной новый фактор и редкая ночь не ознаменовалась каким-либо открытием». И в самом деле, направив в 1864 г. свой спектроскоп на планетарную туманность в Драконе, он вместо привычного спектра обнаружил одну яркую и несколько слабых линий. Такие же отдельные линии были открыты Хеггинсом и в спектре большой туманности Ориона. Из этого следовал вывод: эти туманности состоят не из звезд, а из разреженного горячего газа! И наоборот, свет туманности Андромеды «разложился в полный спектр», а это означало, что она-то состоит из огромного множества звезд. Изучив спектры около 60 туманностей и скоплений, Хеггинс обнаружил, что примерно треть из них состоят из разреженного газа и являются туманностями в прямом значении слова, остальные же объекты слагаются из звезд.

В 1842 г. австрийский физик Христиан Доплер (1803—1853) установил, что если источник света движется по отношению к наблюдателю со скоростью v , то вместо длины волны λ_0 , которую он излучает, наблюдатель регистрирует волну длиной λ , причем разность этих длин волн $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ зависит от скорости источника v и скорости света c таким образом:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}. \quad (3.3)$$

При этом если источник света движется к наблюдателю ($v < 0$), то спектральные линии сдвигаются к фиолетовой части спектра и наоборот.

Этот эффект Доплера и использовал Хеггинс для выяснения вопроса: удаляются или приближаются звезды по отношению к Земле, т. е. для измерения их лучевых скоростей. Вскоре было обнаружено, что по отношению к некоторым звездам мы то приближаемся, то удаляемся от них. Говоря словами А. Паннекука, «для тех, кому это еще было необходимо, оно одновременно могло служить доказательством орбитального движения Земли вокруг Солнца».

Важные исследования туманностей были выполнены американским астрономом Джеймсом Эдвардом Килером (1857—1900). К 1890 г. он осуществил очень точные измерения лучевых скоростей туманности Ориона и 13 планетарных туманностей и показал, что по характеру движения эти объекты аналогичны звездам и, следовательно, принадлежат нашей Галактике. Позже Килер пришел к выводу о существовании физической связи между туманностью Ориона и входящими в нее звездами. Осуществляя фотографический обзор всех более ярких туманностей из каталога Джона Гершеля, Килер открыл огромное число новых объектов и пришел к выводу, что среди туманностей спиральные формы явно преобладают.

Классификация спектров звезд. По мере того как увеличивалось число изученных спектров звезд, возникла необходимость в их классификации. И уже в 1862 г. американский астроном Л. Резерфорд разделил спектры ярких звезд на три группы: 1) с линиями и полосами, 2) такие, как у Сириуса, и 3) такие, как у Спика и Ригеля. Более основательную классификацию предложил Секки, выделив группу «белых звезд», в спектрах которых мало линий металлов, группу «желтых звезд», подобных Солнцу, группу «красных звезд» типа Антареса, в спектрах которых были видны несколько темных полос, и, наконец, группу «интенсивно красных звезд», у которых в красной области спектра наблюдаются широкие более темные полосы. Всего к 1868 г. Секки изучил спектры около 4000 звезд. Фогель, обсуждая проблему классификации спектров звезд, высказал следующее: «Рациональная классификация звезд по их спектрам, вероятно, может быть получена только исходя из той точки зрения, что фаза развития данного небесного тела в общем отражена в его спектре». Глубокая мысль эта, однако, в то время была лишена теоретического обоснования... Фогель делил звезды на три класса: сильно разогретые, желтые и

красные. В 1883 г. он опубликовал первый каталог спектров, содержащий 4051 звезду до $7,5^m$ в полосе неба по склонению δ от $+20^\circ$ до -1° .

Особого упоминания заслуживает американский астроном, медик по профессии, Генри Дрэпер (1837—1882), уделивший много свободного времени шлифованию зеркал (все-го он изготовил их около сотни) и наблюдениям различных объектов неба. В 1864 г. была опубликована его монография «Об изготовлении телескопа с посеребренным зеркалом диаметром в 15,5 дюйма и о его применении для фотографирования неба», ставшая на много лет справочником для изготовителей телескопов. В 1872 г. Дрэпер впервые сфотографировал спектр звезды (это была Вега). Выхав для наблюдения солнечного затмения в Скалистые горы, Дрэпер заболел воспалением легких и умер в возрасте 45 лет. После его смерти его жена передала все инструменты и некоторую сумму денег Гарвардской обсерватории для завершения работы над составлением каталога спектров звезд. После многолетних усилий он и был опубликован в девяти томах (1918—1924 гг.), содержащих сведения о звездных величинах и спектрах 225 300 звезд. При составлении этого «Каталога Генри Дрэпера» была разработана классификация спектров. Первоначально было введено 16 классов, обозначавшихся буквами латинского алфавита A, B, C, ..., Q. Тогда же Антония Каэтана Мори (1866—1952) сначала предложила обозначать *спектральные классы* римскими цифрами от I до XXII, но в 1897 г., уменьшив число классов, заменила их буквами латинского алфавита: O, B, A, F, G, K, M, N (рис. 57). Другая сотрудница Гарвардской обсерватории Энни Джамп Кэннон (1863—1941), приняв упомянутые обозначения, ввела для большей детализации деления на *подклассы*, например A4, K7 и т. д. Руководил этой многолетней работой Пикеринг.

Определенную роль в изучении спектров сыграло открытие в 1885 г. немецким физиком Иоганном Бальмером (1825—1893) того факта, что длины волн четырех известных тогда водородных линий H_α , H_β , H_γ и H_δ могут быть найдены из одной формулы $\lambda = 3645,6 \frac{n^2}{n^2 - 4}$ при $n=3, 4, 5$ и 6. Тут же оказалось, что обнаруженные Хеггинсом и Дрэпером линии в ультрафиолетовых спектрах Веги и хромосферы Солнца также подчиняются этой закономерности при $n=7, 8, 9$ и т. д. А в 1896 г. Пикеринг в спектре звезды ζ Кормы обнаружил серию линий, которую можно было описать той же формулой Бальмера, если вместо целых чисел 3, 4,

5 ... использовать дробные: $3\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $5\frac{1}{2}$... Тогда было высказано предположение, что эта «серия Пикеринга» принадлежит водороду, который, однако, находится в необычных и неизвестных еще условиях. И лишь после того как в

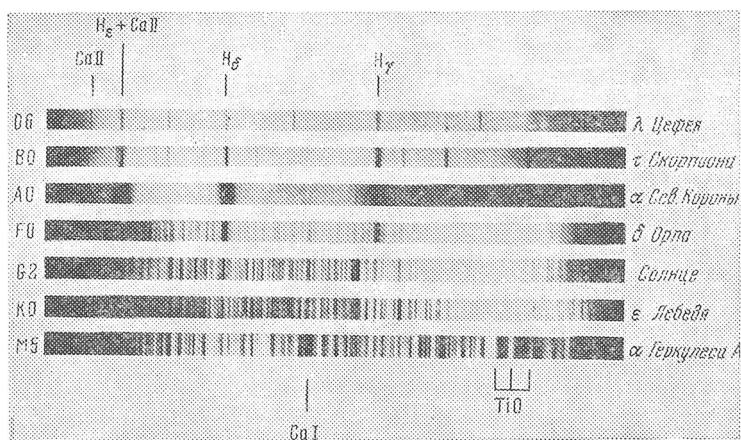


Рис. 57. Гарвардская классификация спектров

1913 г. датский физик Нильс Бор (1885—1962) предложил свою планетарную модель атома, стало ясно, что серия Пикеринга образуется атомами ионизованного гелия.

К ТАЙНАМ СТРОЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ

Представление о политропе. На протяжении всего XIX в. у астрономов все больше крепло убеждение в том, что звезды — это исполинские газовые шары, состоящие из того же вещества, которое окружает нас на Земле. Задача заключалась в том, чтобы изучить строение их недр, так как лишь после этого можно было бы говорить об эволюции этих объектов.

Важную роль в установлении теории внутреннего строения звезд сыграла работа Уильяма Томсона (лорда Кельвина) о конвективном равновесии сплошной среды (1862 г.). Речь идет о перемещении масс вещества вверх и вниз без теплообмена с окружающей его средой, так что приток (или отток) энергии к каждой единице массы $dQ=0$. При таком адиабатическом процессе существует следующая связь меж-

ду давлением p и плотностью ρ , которыми описывается состояние вещества: $p = \text{const } \rho^\gamma$, где $\gamma = c_p/c_v$ — отношение удельных теплоемкостей при постоянных давлении и объеме.

Кельвин показал, что это соотношение можно обобщить на случай, когда $dQ \neq 0$, если только величина притока (или оттока) тепла будет пропорциональна изменению температуры, т. е. если $dQ = c dT$. При этом вместо γ следует принять величину $\gamma' = \frac{c_p - c}{c_v - c}$. Изменения состояния газа, описываемые обобщенными таким путем соотношениями, принято называть *политропными*. Оказалось также более удобным использовать индекс политропы $n = \frac{1}{\gamma' - 1}$. Это и дает возможность записать соотношение между давлением p и плотностью ρ в виде $p = K\rho^{1+\frac{1}{n}}$, где K — постоянная.

Следующий шаг был сделан Лейном в уже упомянутой выше его работе. Он пришел к выводу, что в недрах звезд давление, плотность и температура по направлению от поверхности к центру звезды увеличиваются.

Тогда же Лейн нашел, что «при однородном расширении (или сжатии) газового шара давление, плотность и температура в каждой его точке изменяются соответственно обратно пропорционально четвертой, третьей и первой степени отношения начального и конечного значения расстояния элемента газа до центра звезды», т. е. r_1 и r_2 , что эквивалентно отношению радиусов: R_1/R_2 .

Тем же путем, но совершенно независимо, шел и немецкий физик Август Риттер (1826—1908). В 1878 г. он доказал такую теорему: «Если газовый шар однородно расширяется (или сжимается), проходя через последовательность равновесных конфигураций, то вещество в каждой точке претерпевает политропные изменения, которые определяются показателем $\gamma' = 4/3$ или $n = 3$ ». Риттер также вывел формулу для определения потенциальной энергии звезды Ω :

$$\Omega = -\frac{3}{5-n} \frac{G\mathfrak{M}^2}{R}. \quad (3.4)$$

Здесь \mathfrak{M} и R — соответственно масса и радиус звезды. Потенциальной энергией звезды принято называть работу, которую необходимо выполнить, чтобы «распылить» вещество звезды, превратив звезду в газовое облако. Понятно, что если звезда формируется путем сжатия из фрагмента такого облака, то в процессе его сжатия эта энергия выделяет-

ся, сам же процесс называется *гравитационным сжатием* облака (или протозвезды).

Риттер нашел, что если при медленном сжатии распределение параметров в недрах звезды описывается индексом политропы $n=3$, то в случае одноатомного газа ($\gamma=5/3$) при гравитационном сжатии звезды ровно половина освобождающейся энергии теряется на разогрев вещества ее недр. Другая половина излучается.

Тогда же Риттер установил, что если газовый шар вывести из положения равновесия, то он будет пульсировать (расширяться и сжиматься), причем период пульсации P будет обратно пропорционален корню квадратному из средней плотности звезды $\bar{\rho}$, так что

$$P \sqrt{\bar{\rho}} = \text{const.} \quad (3.5)$$

Итог всей работы по анализу свойств однородных (другое их название — гомогенных) газовых конфигураций, находящихся в состоянии механического равновесия, был подведен в монографии «Газовые шары» (1907 г.) швейцарского астрофизика Роберта Эмдена (1862—1940). В ней были даны результаты расчета моделей звезд, т. е. распределения давления, плотности и температуры от центра звезды к ее поверхности для различных значений индекса политропы n . Приблизительно можно сказать, что Солнце и подобные ему звезды «являются политропами индекса $n=3$ ».

Источник энергии Солнца: первые гипотезы. Представления о Солнце как обитаемой планете, поверхность которой холодна и напоминает земную, могли существовать лишь до того времени, пока не был поставлен вопрос: сколько излучает энергии Солнце в единицу времени и вытекающий из него второй — откуда берется эта энергия ...

В 1837 г. Джон Гершель и Клод Пулье независимо друг от друга оценили количество теплоты, приходящей от Солнца на единицу земной поверхности за единицу времени. Гершель, в частности, рассчитал, что теплоты, получаемой Землей на протяжении года, было бы достаточно, чтобы растопить на ней слой льда толщиной в 36 м. Оценка была занижена, так как в действительности следует говорить о слое льда в 62 м. Но и эта первая оценка помогла сформулировать вопрос: откуда же Солнце черпает такое колоссальное количество теплоты, ведь на Землю попадает лишь его одна двухмиллиардная часть.

Как раз в это время немецкий физик Роберт Майер (1814—1878) в работе «Замечания о силах неживой природы»

(1842 г.) сформулировал закон сохранения энергии: «Силы являются причинами; следовательно, к ним полностью применима аксиома: причина равна действию ...». И далее: «... причины неразрушимы и способны к преобразованиям...» Здесь под «силой» Майер понимал энергию. Напомним, что термин «энергия» был предложен еще Томасом Юнгом (1773—1829), но права гражданства он завоевал лишь после 1849 г., когда его использовал в своих трудах Вильям Томсон (лорд Кельвин).

В своей книге «Органическое движение в связи с обменом веществ» (1845 г.) Майер указывал, что источником энергии на Земле является Солнце: «Поток этой силы, проливающейся и на нашу Землю, является той пружиной, которая непрерывно заводится и поддерживает в состоянии движения механизм всей деятельности, происходящей на Земле». В «Динамике неба» (1848 г.) Майер поставил вопрос и об источниках энергии Солнца. По его мнению, Солнце пополняет их за счет падающих на его поверхность метеоритов. Но, как показали расчеты, такое увеличение массы Солнца (около 0,01 массы Земли за год) привело бы к ежегодному уменьшению продолжительности тропического года примерно на 0,34 с. А так как этого не наблюдается, то Майер допустил, будто излучение Солнца сопровождается одновременной потерей его массы.

В 1854 г. немецкий физик Герман Гельмгольц (1821—1894) в одной из своих популярных лекций высказал предположение, что Солнце излучает часть энергии, освобождающейся при его непрерывном сжатии. Соответствующее уменьшение радиуса Солнца (30 м в год) настолько незначительно, что его невозможно было бы заметить в течение многих веков. Но и эта *контракционная* гипотеза Гельмгольца не оправдала возлагавшихся на нее надежд. Ведь согласно вычислениям если бы Солнце сжималось от очень больших размеров до современных, то всей освободившейся энергии было бы достаточно, чтобы при теперешней светимости оно обогревало Землю на протяжении всего лишь 23 млн лет.

Проблемы эволюции. В попытке дать ответ на вопрос о происхождении Земли и всей планетной системы в целом, Солнца и звезд после работы Ньютона было высказано много десятков гипотез ...

В 1748 г. переводчик трудов Ньютона французский естествоиспытатель Жорж Бюффон (1707—1788) в книге «Естественная история» высказал мысль, что Земля, как и другие планеты, образовалась из осколков, оторвавшихся от Солнца при его катастрофическом столкновении с кометой. Чтобы

составить определенное представление о возрасте Земли, Бюффон осуществил опыты по охлаждению раскаленных каменных пушечных ядер различного диаметра. Так он пришел к выводу, что охлаждение Земли от начальной высокой температуры до современной продолжалось 75 000 лет. Увы, Бюффона обвинили в безбожии, его главные тезисы в январе 1751 г. на заседании совета Парижского университета были преданы осуждению, сам же Бюффон направил совету письменное отречение от своей гипотезы.

Конечно, гипотеза Бюффона не подтверждалась ни фактами, ни расчетами. Бюффон не рассчитал вероятности встречи кометы с Солнцем, он не имел представления о величине масс комет (а они ничтожно малы). Главное, как это позже доказал Лаплас, выброшенные из Солнца сгустки не могли двигаться по почти круговым орбитам, а, описав вытянутые эллиптические орбиты, они должны были бы упасть обратно на Солнце.

Гораздо шире подошел к проблеме развития небесных тел Иммануил Кант. В своей «Общей естественной истории и теории неба» (1755 г.) Кант высказал предположение о том, что вначале мир находился в «самом примитивном состоянии, наступившем после небытия», при этом все пространство вначале было более или менее равномерно заполнено неподвижными холодными и твердыми частицами. Кант пишет: «С крайней осмотрительностью я избегал всяких произвольных выдумок. Приведя мир в состояние простейшего хаоса, я для развития великого порядка природы не применял никаких других сил, за исключением силы притяжения и силы отталкивания, двух сил, одинаково несомненных...». Но способен ли вообще человеческий разум уяснить, как происходило развитие мира? На этот вопрос Кант отвечает утвердительно: «... из всех предметов природы, для которых мы ищем исходное начало, происхождение системы мира и образование небесных тел вместе с причиной их движений является тем предметом, который раньше других можно надеяться основательно и уверенно исследовать... Небесные тела ... имеют простейшую форму ... Их движения также не усложнены... Мне представляется, здесь можно было бы, рассуждая здраво, сказать без всякой дерзости: дайте мне материю, и я построю из нее мир, т. е. дайте мне материю, и я покажу вам, как из нее должен образоваться мир...».

По представлениям Канта, частицы хаоса в первый момент были неподвижными, но «У материи сразу же появляется стремление формироваться». Элементы, имеющие боль-

шую плотность, по закону всемирного тяготения притягивали менее плотные, вследствие этого образовались отдельные сгустки материи. Под действием сил отталкивания (которые якобы особенно эффективны, когда вещество находится в распыленном состоянии) прямолинейное движение частиц к центру тяготения заменялось кругообразным. Вследствие столкновения частиц вокруг отдельных сгустков формировались как огромные (звездные), так и намного меньшие по размеру (планетные) системы.

По Канту, поверхность Солнца на раннем этапе развития не была такой раскаленной, как сейчас, после окончания процесса формирования.

В отношении же будущего этих систем Кант писал так: «Протек, может быть, ряд миллионов лет и столетий, прежде чем та сфера организованной природы, в которой мы находимся, достигла совершенства, которым она теперь обладает, и, может быть, пройдет столь же длительный период, прежде чем природа сделает другой такой же шаг в хаосе...». Но «мы не должны, однако, сожалеть о гибели мироздания как действительной утрате природы... Природа... одинаково богата, одинаково неисчерпаема в созидании как самых выдающихся, так и самых ничтожных созданий». Поэтому «целые миры и системы миров покидают сцену после того, как сыграли свою роль».

И далее: «Нельзя ли думать, что природа, сумевшая из хаоса привести себя к закономерному порядку и стройной системе, будет так же способна из нового хаоса, в который повергло ее уменьшение ее движений, столь же легко снова возродить себя и возобновить бывшие связи? Без колебаний можно согласиться с тем, что после того, как окончательная слабость вращательных движений в мироздании низвергнет все планеты и кометы на Солнце, его жар неимоверно увеличится вследствие смещения столь многих и больших масс... И жар... рассеет эти элементы в том же огромном пространстве, которое они занимали до первого формирования природы, чтобы позднее, когда сила центрального огня, вследствие почти полного рассеяния его массы, ослабеет, повторить с наименьшей правильностью, путем совместного действия сил притяжения и отталкивания, прежние творения и создать новое мироздание».

Поэтому «пустынное пространство может вновь оживиться мирами и системами миров. Если же мы через всю бесконечность времени и пространства проследим за этим фениксом природы, который лишь для того сжигает себя, чтобы вновь возродиться молодым из своего пепла, если обра-

тим наше внимание на то, как природа даже там, где она распадается и стареет, неисчерпаема в новых формированиях..., тогда дух наш, размышляя обо всем этом, погружается в глубокое удивление...».

Как известно, оценивая вклад Канта в естествознание, Ф. Энгельс писал в «Анти-Дюринге» (1878 г.): «Кантовская теория возникновения всех теперешних небесных тел из вращающихся туманных масс была величайшим завоеванием астрономии со времени Коперника. Впервые было поколеблено представление, будто природа не имеет никакой истории во времени. До тех пор считалось, что небесные тела с самого начала движутся по одним и тем же орбитам и пребывают в одних и тех же состояниях; и хотя на отдельных небесных телах органические индивиды вымирали, роды и виды все же считались неизменными. Было, конечно, очевидно для всех, что природа находится в постоянном движении, но это движение представлялось как непрестанное повторение одних и тех же процессов. В этом представлении, вполне соответствовавшем метафизическому способу мышления, Кант пробил первую брешь...» *).

Как и Бюффон, Кант допустил грубые ошибки. Силы отталкивания Канта напоминали взаимное расталкивание молекул при столкновениях. Но такие, постулируемые им силы отталкивания не могли породить кругового движения. И если в туманности вначале не было преимущественного движения (вращения), то никакие внутренние силы не смогут ей или образовавшимся звездам сообщить такое вращательное движение ... В этом — сущность закона сохранения момента количества движения в изолированной системе!

Но, повторим еще раз, главным в гипотезе Канта было другое: это была одна из первых попыток создания естественной картины образования Солнечной системы. Она положила начало большому классу космогонических гипотез, получивших название *небулярных* (лат. *nebula* — туманность), тогда как гипотеза Бюффона — классу гипотез «катастрофических».

... В 1796 г. Лаплас опубликовал свою большую книгу «Изложение системы мира». В ней популярно, без единой формулы или рисунка было дано описание законов движения небесных тел, физики планет и звезд, приведены сведения из истории астрономии. В седьмом примечании к книге Лаплас изложил гипотезу Бюффона и показал ее несостоятель-

*) Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 20.— С. 56.

ность. Он же перечислил пять основных особенностей Солнечной системы, которые должна объяснить теория происхождения планет:

1) планеты обращаются вокруг Солнца в одном направлении и примерно в одной плоскости;

2) спутники движутся вокруг своих планет в том же направлении, что и планеты вокруг Солнца;

3) вращение всех планет и Солнца вокруг своих осей происходит в ту же сторону, и плоскости их экваторов имеют слабый наклон к плоскостям их орбит;

4) эксцентриситеты орбит планет и спутников очень малы;

5) орбиты комет, наоборот, имеют большие эксцентриситеты и любые углы наклона к плоскости эклиптики.

Перечислив эти закономерности в строении Солнечной системы, Лаплас далее излагает свою гипотезу. По Лапласу, раньше на месте Солнечной системы была огромнейшая сильно раскаленная туманность, медленно вращавшаяся вокруг оси, проходящей через ее центр. Вследствие охлаждения туманность сжималась, ее угловая скорость вращения при этом увеличивалась, сама же туманность сплющивалась. Центробежная сила, действующая на материальные частицы, достигала наибольшего значения в экваториальной плоскости. И как только эта сила превышала силу тяготения, от туманности отрывалось тонкое кольцо вещества, продолжавшее вращаться в том же направлении, что и вся туманность. Со временем каждое из таких колец распадалось на отдельные сгустки, которые объединялись между собой, образуя планеты. Аналогично, по Лапласу, образовывались и спутники планет.

Гипотеза Лапласа удовлетворительно объясняла ряд закономерностей в планетной системе (первые четыре из перечисленных выше). Что же касается комет, то, по Лапласу, это тела, блуждающие от одной звезды к другой. Притяжение планет и сопротивление межпланетной среды, дескать, иногда изменяют орбиты комет, превращая их в эллиптические. А вот иллюстрацией правильности гипотезы является кольцо Сатурна ...

На самом же деле гипотеза Лапласа оказалась ошибочной. И дело даже не в том, что еще при жизни ее создателя было установлено, что два спутника Урана обращаются вокруг планеты в обратном направлении и плоскости их орбит почти перпендикулярны плоскости орбиты самой планеты (теперь известно 15 таких ее спутников, да и сама планета Уран вращается в обратную сторону «лежа»), что та-

кое же обратное движение у четырех спутников Юпитера и у одного спутника Сатурна, что спутник Марса Фобос делает один оборот вокруг планеты почти вдвое быстрее, чем она сама вокруг своей оси, что внутренний край колец Сатурна также вращается быстрее чем сама планета и что, наконец, Венера вращается в обратную сторону, хотя все это — весьма серьезные затруднения для гипотезы. Главное в том, что гипотеза Лапласа не могла объяснить, почему планеты, масса которых составляет около 0,15 % массы Солнца, имеют 98 % момента количества движения Солнечной системы. Другими словами, Солнце вращается вокруг

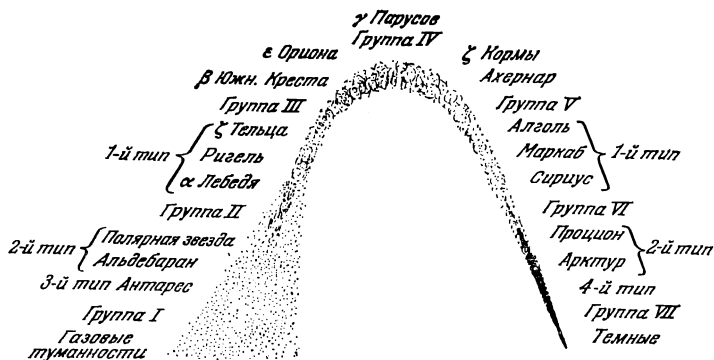


Рис. 58. Схема эволюции звезд по Локьеру

своей оси с л и ш к о м м е д л е н н о, и если бы планеты были «уложены» на его поверхность с сохранением их момента количества движения, скорость его вращения оставалась бы в 7,5 раза меньше «первой космической скорости» непосредственно у поверхности Солнца. Соответственно центробежная сила была бы в 55 раз меньше той, которая необходима для отделения колец ...

К тому же разогретый газ не может сгущаться, и отделившиеся кольца (даже если бы такое и произошло) рассеивались бы в пространстве.

Но все это стало очевидно лишь в начале XX в., а это значит, что гипотеза Лапласа «продержалась» более 100 лет...

Во второй половине XIX в. были составлены определенные представления и об эволюции звезд. Уже упоминавшийся Риттер записал уравнение для потенциальной энергии звезды, высказал подтвердившееся позже соображение, что наибольшая светимость, которую может достигнуть звезда, определяется значением ее массы. Рассматривая

эволюционные пути звезд, Риттер предположил, что красные звезды больших размеров находятся на восходящей ветви эволюции, тогда как красные звезды малых радиусов — на нисходящей.

Детальнее эту точку зрения развил Локьер. По его мнению, первоначальным состоянием вещества, из которого образуются звезды, был метеорный рой, который из-за взаимных столкновений разогревался и превращался в газ. Схема эволюции звезд по Локьеру выглядит так, как это показано на рис. 58. Начальной стадией развития звезды является красный надгигант типа звезды Антарес, далее звезда превращается в оранжевый гигант (как Альдебаран), позже — в желтый гигант (как Полярная), белый гигант (как Денеб). На вершине эволюции находятся звезды, имеющие голубой цвет (спектральный класс О, как γ Парусов, ζ Кормы). В дальнейшем мощность излучения звезд уменьшается, а их цвет изменяется в сторону красного: звезда последовательно проходит стадии бело-голубой (как Ахернар), белой (как Сириус), бело-желтой (как Процион), желтой (как Солнце) и, наконец, звезда становится красным карликом, после чего угасает и становится невидимой.

На пороге стоял уже XX век с его величайшими достижениями в познании законов эволюции звезд, их систем и всей Вселенной в целом.

Две вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них,— звездное небо надо мной и моральный закон во мне.

Иммануил Кант

Глава 4

ГОРИЗОНТЫ XX ВЕКА

Наступил золотой век астрономии. Наблюдения небесных объектов проводятся во всех диапазонах электромагнитных волн. Раскрыты тайны источников энергии звезд. Становятся понятными пути эволюции звезд и галактик на протяжении миллиардов лет. Осознав место своей крошечной планеты в безграничной Вселенной, человек гордо устремился ввысь к другим небесным телам...

КЛЮЧИ ОТ НЕБА

Вестники далеких миров. В своем путешествии сквозь века, начав с дебрей темноты и суеверий, мы переступили порог XX века. Он еще не закончился. И тем более примечательно, что едва ли не основные сведения о строении и эволюции окружающего нас звездного мира были получены совсем недавно, буквально в последние 50—30 лет ... Сегодня астрономы уже имеют четкие ответы на вопросы о масштабах окружающего нас мира звезд и галактик, знают, что представляют собой звезды и Солнце как одна из них, какие процессы происходят в их недрах, какие законы управляют их развитием.

Чаще всего мы даже не отдаем себе отчет в том, сколь огромны расстояния до объектов, о природе и строении которых так спокойно говорим, читаем и пишем. Десятки, сотни тысяч, миллионы и миллиарды лет движутся световые лучи в пространстве Вселенной раньше чем они попадут в телескоп наблюдателя на Земле. И разве не удивительно то, что, улавливая и анализируя эти слабые световые потоки, астрономы определяют расстояния до далеких светил и их систем так, как будто измерили их своими шагами; говорят о температуре их поверхностей, как будто побывали на

них; взвешивают их так, как будто укладывали их на огромные весы; рассказывают о строении звездных недр, как будто им удалось пробуровать каждую звезду до самого ее центра; устанавливают химический состав звездных атмосфер, как будто удалось уже на сверхскоростной ракете приблизиться к той или другой звезде и зачерпнуть крупицу вещества ее атмосферы и, наконец, строят схемы развития звезд и галактик на протяжении миллиардов лет, как будто хотя бы один из них проследил за изменением важнейших характеристик этих объектов хотя бы на протяжении нескольких сотен лет...

Ничего этого, конечно, нет. До последнего времени астрономические наблюдения проводились с поверхности Земли, «со дна воздушного океана», как принято образно говорить, и единственным источником информации для астрономов были слабые световые потоки, идущие от далеких небесных светил. Для этого и необходимы телескопы. Но уловить луч света — это лишь начало. Могучим оружием в исследовании Вселенной стал для астрономов спектральный анализ — изучение интенсивности излучения в отдельных спектральных линиях, в отдельных участках спектра. Но в своем стремлении объяснить природу небесных тел астрономы не сдвинулись бы с места ни на шаг, если бы они не знали, как возникают в мировых пространствах электромагнитные волны той или другой частоты.

Вестником далеких звездных и галактических миров являются фотоны — кванты света, частицы, движущиеся со скоростью $c=300\,000$ км/с. Как известно, каждый фотон переносит определенную порцию энергии $\varepsilon=h\nu$, где ν — частота, $h=6,62\cdot 10^{-27}$ эрг·с — постоянная Планка. Именно Макс Планк (1858—1947), немецкий физик-теоретик, в 1900 г. предположил, что излучение электромагнитных волн происходит определенными порциями. Конкретизируя это представление, один из создателей современной физики Альберт Эйнштейн (1879—1955) в 1905 г. пришел к выводу, что многие физические явления, в том числе фотоэффект, «лучше объясняются предположением, что энергия света распределяется по пространству дискретно». Планк вывел формулу, по которой при заданной температуре абсолютно черного тела (это представление-идеализация и сейчас используется в астрофизике) можно рассчитать величину интенсивности излучения в зависимости от частоты ν . Конечно же, совершенно нельзя представить себе современную астрофизику без теории атома Бора, конкретизированной квантовой механикой. В 1920—1921 гг. на ее основе индийский физик

Мегнад Саха (1893—1956) разработал теорию ионизации газов, благодаря чему стало возможным объяснение спектральной последовательности ...

Механизм образования спектральных серий читателю, конечно, известен. Но, как оказалось, природа исключительно богата в своих проявлениях. Так, в 1950 г. советский ученый А. Я. Киппер (1907—1984) открыл возможность излучения не одного, а *д в у х* фотонов при переходе электрона в атоме водорода со второго на первый энергетический уровень. Эта возможность реализуется в газовых туманностях.

В 1945 г. нидерландский астроном Хендрик ван де Хюлст (род. 1918 г.) предсказал принципиальную возможность наблюдения линии водорода $\lambda=21,11$ см ($\nu=1420,4$ МГц), возникающей при переориентации спинов электронов в атомах нейтрального водорода (так называемые переходы между подуровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома водорода). В 1949 г. советский астрофизик И. С. Шкловский (1916—1985) рассчитал вероятность такого перехода и соответствующую ему интенсивность излучения (речь идет о так называемых запрещенных переходах, вероятность которых в 10^{23} раза меньше, чем вероятность перехода электрона со второго уровня на первый! Поэтому они могут осуществляться лишь в условиях исключительной разреженности водорода, а такое состояние как раз и характерно для межзвездной среды и газовых туманностей). Через два года излучение межзвездного водорода было зарегистрировано Х. Юином и Э. Парселлом (Англия), а также К. Мюллером и Я. Оортом (Нидерланды). Исследование в линии 21 см дало очень ценные сведения о структуре нашей Галактики и ее вращении, о распределении в ней межзвездного газа и т. д.

В 1952 г. Дж. Вилд (США) и в 1959 г. Н. С. Кардашев (СССР) отметили принципиальную возможность наблюдать переходы электронов между двумя близкими высокими уровнями атома водорода (например, переход с уровня $n=100$ на $n=99$; при $n>28$ излученные линии находятся в радиодиапазоне). Осуществляются такие переходы в случае исключительной разреженности среды. Регистрация излучения водорода в упомянутых линиях, так же как и в линии $\lambda=21$ см, дает важные сведения о распределении, температуре, скоростях и других его параметрах в Галактике.

Пока здесь шла речь об излучении атомов. Но еще в 1949 г. И. С. Шкловский высказал предположение о том,

что присутствующие в межзвездном пространстве молекулы ОН, СН и др. также излучают радиоволны, которые можно улавливать с помощью уже существующей техники. Он же показал, что, в частности, молекула ОН излучает (и, конечно, поглощает) в линиях 17,24, 18,0, 18,01 и 18,57 см. Четыре года спустя, в конце 1963 г., сотрудники Массачусетского технологического института С. Вайнреб, А. Баррет, М. Микс и Дж. Генри (США) обнаружили в спектре радиоисточника Кассиопея А (с. 292) две линии поглощения молекулы ОН. Это было доказательством существования молекул в межзвездной среде, сегодня же их обнаружено более 50, а уже в 1965 г. в Галактике обнаружены области, интенсивно излучающие в линиях ОН и др., — *космические мазеры* (с. 282).

Нетепловое излучение. Описанное выше излучение атомов и молекул в непрерывном спектре и в отдельных спектральных линиях называется *тепловым*. В данном случае излучающие частицы распределены по скоростям в соответствии с известной формулой Максвелла. Зависимость же излучения в непрерывном спектре от частоты (по крайней мере — в «нулевом приближении») описывается уже упоминавшейся формулой Планка, из которой для радиодиапазона (где $h\nu \ll kT$, k — постоянная Больцмана) следует формула Рэлея — Джинса: $I_\nu = \frac{2k\nu^2}{c^2} T$. Как видим, здесь интенсивность теплового излучения прямо пропорциональна квадрату частоты.

Но, как оказалось, в природе реализуются и другие варианты рождения электромагнитных волн — действуют *нетепловые механизмы*. Это прежде всего *магнитотормозной*, или *синхротронный механизм* и возбуждение плазменных колебаний, переходящих в *электромагнитное излучение*. Синхротронное излучение возникает при движении электронов, скорость которых близка к скорости света (т. е. релятивистских электронов), поперек магнитных силовых линий. И как только в 1942 г. американский радиоинженер Гроут Рёбер (род. 1911 г.) составил первую радиокарту неба, возник вопрос о природе этого космического радиоизлучения. В 1950 г. Х. Альвен и Н. Герлофсон (Швеция) и независимо от них К. Киппенхойер (ФРГ) пришли к выводу, что источниками упомянутого излучения могут быть релятивистские электроны, движущиеся в межзвездных магнитных полях. Теория синхротронного излучения была развита в 1950—1953 гг. советскими физиками В. Л. Гинзбургом, Г. Г. Гетманцевым и М. И. Фрадкиным. Они полу-

чили зависимость интенсивности излучения от частоты: $I_\nu \sim \nu^{-\alpha}$, причем для большинства реальных источников синхротронного излучения $\alpha \approx 0,5-0,8$; с увеличением частоты интенсивность излучения уменьшается.

А ведь если бы это свечение не было замечено раньше в земных условиях на ускорителях элементарных частиц (электронов), вряд ли так быстро была бы разгадана его природа, и сколько самых невероятных предположений о физической природе галактической среды и отдельных космических объектов было бы построено! Таким образом, мы еще раз убеждаемся, что истинным ключом к познанию тайн далекой Вселенной является правильная теория...

Механизм *плазменных колебаний* был предложен И. С. Шкловским в 1946 г. для объяснения всплесков радиоизлучения Солнца. В 1958 г. В. Л. Гинзбург и В. В. Железняков, а в 1959 г. Е. Паркер (США) подробно рассмотрели вопрос о возбуждении колебаний плазмы потоком электронов, движущихся через корону. Год спустя нидерландский астроном Корнелис де Ягер более детально проанализировал возможности применения теории к явлениям на Солнце.

Как оказалось, при изучении природы источников радиоизлучения (впрочем, и излучающих в других диапазонах) следует учитывать возможное изменение частоты электромагнитных волн на релятивистских электронах, т. е. *эффект Комптона*. Напомним, что эффект этот был открыт в 1923 г. американским физиком Артуром Холли Комптоном (1892—1962) как эффект уменьшения частоты рентгеновского излучения вследствие его рассеяния на электронах вещества. В космическом же пространстве, по-видимому, происходит обратное — существенное увеличение частоты фотона при его столкновении с релятивистским электроном. Эффект этот приводил бы к тому, что если только на пути фотонов света имеется облако релятивистских электронов, то вместо, скажем, слабого источника радиоизлучения наблюдатель регистрировал бы мощный источник рентгеновского излучения ...

И, наконец, в 1945 г. В. Л. Гинзбург (род. 1916 г.) и И. М. Франк (род. 1908 г.) (СССР) опубликовали результаты исследований перехода электрического заряда через границу двух сред (например, электрона из вакуума в пылевую частицу, а затем из частицы в вакуум). Было отмечено, что при этом происходит перестройка создаваемого зарядом электромагнитного поля и возникает *электромагнитное переходное излучение*.

К гигантам XX века. Развитие современной астрономии немислимо без мощных телескопов. Путь же к их созданию был длинным и нелегким.

Как мы уже видели, из-за хроматической аберрации телескопы-рефракторы в XVII в. приходилось делать длинно-фокусными, и управлять этими «воздушными трубами» было крайне тяжело. Поэтому главным инструментом на протяжении всего XVIII в. у астрономов был рефлектор, зеркало которого изготавливалось из металла. В XIX в. строители телескопов научились изготавливать двухлинзовые ахроматические объективы (т. е. с исправленной хроматической и частично сферической аберрацией), и число крупных рефракторов быстро возрастало. Оказалось, однако, что возможности здесь весьма ограничены. Так, Альван Кларк с двумя своими сыновьями сумел изготовить 66-сантиметровый объектив для Вашингтонской обсерватории (1873 г.), 76-сантиметровый — для Пулковской (1885 г.), 91-сантиметровый — для Ликской (1888 г.) и уже его сыновья отшлифовали 102-сантиметровый объектив для Йеркской обсерватории (1896 г.). Отлить заготовку для рефрактора Ликской обсерватории удалось лишь с 19-й попытки ... Йеркский же объектив так и остался до сих пор крупнейшим. Ведь в трубе телескопа объектив крепится за тонкие края, линзы же тяжелы и от собственной тяжести прогибаются ...

Между тем в 1856 г. Ю. Либих (Германия) изобрел химический способ серебрения стеклянных зеркал астрономических рефлекторов. С того времени началась новая эра в телескопостроении. Среди крупнейших инструментов XIX в. наибольшую известность имеет 91-сантиметровый рефлектор Ликской обсерватории, изготовленный в Англии в 1879 г. и подаренный любителем астрономии Э. Кросслеем упомянутой обсерватории в 1895 г. Кстати, первым директором этой обсерватории был крупный американский астроном Джордж Эллери Хэйл (1868—1938). Это он (почти так же, как описано в книге Т. Драйзера «Финансист») уговорил чикагского трамвайного магната Ч. Йеркса финансировать строительство упомянутого 91-сантиметрового рефрактора. Позже, в 1904 г. Хэйл начал строительство обсерватории Маунт Вилсон, директором которой он был до 1923 г. (позже — почетным директором). На этой обсерватории в 1908 г. был уже установлен 150-сантиметровый рефлектор, стеклянный диск которого был изготовлен во Франции, шлифовку же зеркала осуществил Джордж Уиллис Ричи (1864—1945). Дальше мы процитируем П. В. Щеглова:

«Экспозиции на 150-сантиметровом телескопе на несовершенных фотопластинках начала века достигали 10—15 часов. Каждые 1,5 ч Ричи вынимал кассету и заново фокусировал телескоп — из-за остывания изготовленного из стекла зеркала фокус постепенно менялся.

Днем зеркало охлаждали с помощью специального холодильника (что было в 1910 г. известным новшеством), а башню закрывали брезентовым балдахином для того, чтобы не дать телескопу нагреться. Дрожание изображения компенсировалось смещением кассеты; путем длительной тренировки Ричи удавалось выполнять до четырех коррекций в секунду (каждой рукой). Имелся тренажер, на котором он днем совершенствовал свое искусство. В зубах наблюдатель держал электроконтакт, который позволял быстро закрыть затвор кассеты в момент ухудшения изображений» ... *)

Таков «легкий хлеб» астронома-наблюдателя!

Следующим был 2,5-метровый телескоп той же обсерватории. Диск также был заказан во Франции, шлифовал зеркало Ричи. И вот что об этом рассказывает П. В. Щеглов: «Ричи начал обработку, которая затянулась на 6 лет, — существовало опасение, что диск лопнет на станке. Нервное напряжение в оптической мастерской было столь велико, что Ричи испортил отношения с большинством обсерваторских астрономов, а один из его помощников даже лишился рассудка»... 2,5-метровый телескоп был введен в действие в начале 1918 г. На протяжении 65 лет на нем был получен огромный материал, в частности известным американским астрономом Эдвином Пууэллом Хабблом (1889—1953). В 1984 г., однако, было принято решение «отправить его на заслуженный (вполне!) отдых»... По сравнению с телескопами «нового поколения» он уже оказался «нерентабельным».

Закончив создание 2,5-метрового, Хэйл сразу же начал усилия по созданию более крупного инструмента. Решено было изготовить из кварца зеркало с диаметром в пять метров. К 1931 г. работы были заброшены, через два года они возобновились, но уже в новом варианте: диск было решено изготавливать из пирекса и для облегчения веса с тыльной стороны сделать ребристым. В первой отливке один из выступов на дне формы оторвался и всплыл, испортив заготовку. Вторая (декабрь 1934 г.) была удачной. Весной 1936 г. диск был переправлен к месту обработки, которую выпол-

*) Щеглов П. В. Оптические телескопы сегодня и завтра. — М.: Знание, 1980. — С. 17.

нил оптик М. Браун. В октябре 1947 г. зеркало было доставлено на Паломарскую обсерваторию, а 12 декабря 1949 г. телескоп, получивший имя Хэйла, вступил в строй.

В СССР большую роль в развитии отечественного телескопостроения сыграли работы выдающихся оптиков и конструкторов Д. Д. МаксUTOва (1896—1964) и Н. Г. Пономарева (1900—1942), а также Б. К. Иоаннисиани (род. 1911 г.). Были построены по схеме Д. Д. МаксUTOва два крупных менисковых телескопа: 50-сантиметровый для Алма-Атинской обсерватории (1950 г.) и 70-сантиметровый для Абастуманской (1955 г.). В 1954 г. было принято решение изготовить силами отечественной промышленности телескоп с диаметром зеркала 2,6 м. Работа была блестяще выполнена под руководством Б. К. Иоаннисиани: 2,6-метровый рефлектор, получивший имя советского астронома Г. А. Шайна (1892—1956), в 1961 г. установлен на Крымской обсерватории. В 1976 г. его дубликат начал свою работу в Бюраканской обсерватории АН АрмССР.

В 1960 г. в СССР был утвержден эскизный проект 6-метрового рефлектора. Заготовка зеркала была отлита на Лыткаринском заводе оптического стекла, масса готового зеркала 42,7 т, на его тыльной стороне имеется 66 углублений для облегчения веса. Заслуживает упоминания тот факт, что отжиг 70-тонной заготовки продолжался 2 года и 6 суток (температура понижалась со скоростью 0,03 К в час). Далее грубая обработка заготовки заняла 1 год и 4,5 месяца. Как отмечает П. В. Щеглов, за это время с помощью алмазного инструмента было удалено более 23 т стекла (израсходовано 12 000 карат естественного алмаза). В 1968 г. была закончена шлифовка, а в середине 1974 г. — полировка зеркала. В следующем, 1975 г., 6-метровый телескоп уже был введен в действие. В отличие от всех предыдущих он установлен не на параллактической, а на азимутальной монтировке (рис. 59). Управление телескопом осуществляется с помощью ЭВМ.

Осталось напомнить, что в 1929 г. Д. Стронг (США) изобрел способ алюминирования зеркал распылением в вакууме. Алюминиевый слой прочнее серебряного, очищается мытьем простой губкой (тогда как к серебряному практически нельзя прикасаться) и, что очень существенно, гораздо лучше отражает ультрафиолетовые лучи. Поэтому примерно в 1934 г. у крупных телескопов мира была произведена замена серебряного покрытия на алюминиевое. Сегодня серебрятся зеркала лишь небольших любительских телескопов.

В 1973 г. на обсерватории Китт Пик (США) был установлен первый телескоп «третьего поколения» — рефлектор системы Ричи — Кретьена с диаметром зеркала 381 см. «Старые» параболические рефлекторы обладают крупным

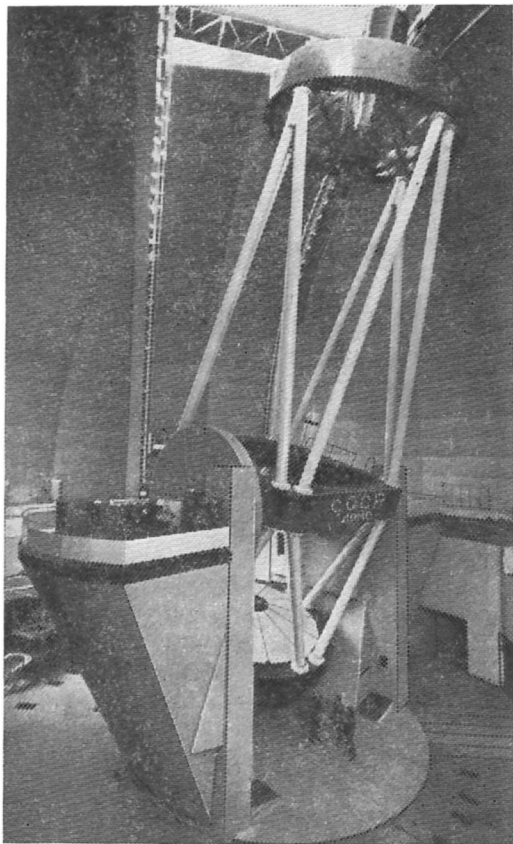


Рис. 59. Крупнейший в мире 6-метровый телескоп на азимутальной монтировке

недостатком — крайне малым размером рабочего поля (у 5-метрового оно составляет всего 2,5', у 6-метрового 2'; для его увеличения примерно в десять раз — устранения аберрации комы используются специальные корректоры). Система Ричи — Кретьена такая же, как и кассегреновская, однако главное зеркало делается гиперболоидом вращения,

это позволяет исправить сферическую аберрацию и кому, увеличить поле зрения инструмента в несколько раз и существенно уменьшить размеры телескопа. В 1975 г. установлен 3,9-метровый англо-австралийский телескоп этого типа в обсерватории Сайдинг Спринг (Австралия), в 1976 г. — 3,6-метровый западноевропейский и 4-метровый телескоп США в Чили, в 1979 г. — английский на о. Гавайи, в 1986 г. — 4,2-метровый английский на о. Пальма.

Сейчас проектируются телескопы «четвертого поколения». Вероятно, это будут многозеркальные инструменты, варианты которых существуют самые разнообразные *).

До сих пор речь шла о «звездных» телескопах. Большая яркость Солнца позволяет строить крупные (длиннофокусные) инструменты, дающие его изображение в большом масштабе. Обычно используются горизонтальные или вертикальные солнечные телескопы. *Вертикальный*, или *башенный* (тауэр) телескоп был изобретен Хэйлом и в 1908 г. установлен в обсерватории Маунт Вилсон (фокусное расстояние главного зеркала $f=18$ м). Четыре года спустя Хэйл в той же обсерватории построил 45-метровый башенный телескоп.

В 1939 г. в Пулковской обсерватории Н. Г. Пономаревым был построен горизонтальный солнечный телескоп, размещавшийся вдоль меридиана в павильоне длиной 25 м. Один из крупнейших башенных телескопов мира построен под руководством А. Б. Северного (род. 1913 г.) в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Здесь можно видеть изображение Солнца диаметром 70 см.

Вспомогательные инструменты и методы. Телескоп собирает слабые световые потоки, идущие от далеких объектов, в фокальной плоскости. Их следует зафиксировать или непосредственно оценить в определенной шкале. Как уже отмечалось, с середины XIX в. для этого с большим успехом используется фотографический метод.

Но уже в 1910 г. Д. Стеббинс (США) провел первые фотоэлектрические наблюдения с селеновым фотоэлементом. С середины 40-х годов в астрономии используются фотоэлектронные приемники излучения (*фотоумножители*). А сегодня этим методом выполняется примерно половина всех астрономических наблюдений.

В середине XX в. появляются приборы фотоэлектронного изображения. Так, французский астроном Андре Лал-

*) Оптические и инфракрасные телескопы 90-х годов. — М.: Мир, 1983, 292 с.

леман (род. 1904 г.) в 1951 г. создал *электронную камеру*, с помощью которой удается в 30—40 раз уменьшить экспозицию при фотографировании слабых объектов или их спектров. Немногом ранее, в 1949 г., началось использование *электронно-оптических преобразователей* (ЭОП). Тогда же сделаны первые попытки наблюдать астрономические объекты с помощью *телевизионных систем*.

С начала 70-х годов в астрономии используются *твердотельные приемники излучения*, действие которых основано на присущем всем полупроводникам явлении внутреннего фотоэффекта. Это приборы с инжекцией заряда (ПЗИ), приборы с зарядовой связью (ПЗС) и фотодиодные матрицы с индивидуальным подключением диодов (ретиконы). Возможности этих приемников излучения во всех отношениях поистине фантастические ...

Весьма полезными оказались *светофильтры*. Их использовал уже в 1909 г. советский астроном Г. А. Тихов (1875—1960) при изучении поверхности Марса. В 1953 г. Х. Джонсон и У. Морган (США) предложили систему трех светофильтров — ультрафиолетового (*U*), синего (*B*) и желтого (*V*) — *трехцветную систему UBV*. С 1959 г. она постепенно расширяется в инфракрасную область спектра.

В 1932 г. американский инженер Карл Янский (1905—1950) открыл космическое радиоизлучение, источник которого он в 1933 г. отождествил с Млечным Путем, а два года спустя указал более точную локализацию — центральная часть Млечного Пути. Несколько позже, в 1944 г., Г. Рёбер сообщил об открытии радиоизлучения Солнца. Сегодня *радиоастрономия* — едва ли не самая важная составная часть астрономии. Уже построены крупные радиотелескопы с диаметром зеркал до 100 м (неподвижное зеркало, установленное в кратере потухшего вулкана на острове Пуэрто-Рико, имеет диаметр 305 м). В 1977 г. в СССР вступил в строй многоэлементный радиотелескоп РАТАН-600, состоящий из 895 отдельных прямоугольных зеркал, общая площадь которых эквивалентна 130-метровому параболоиду. Разработаны методы *межконтинентальной радиоинтерферометрии*.

Еще в прошлом веке были сделаны попытки поднять инструменты как можно выше над плотными слоями земной атмосферы. Первым было наблюдение Солнца во время его затмения с воздушного шара, осуществленное русским ученым Д. И. Менделеевым (1834—1907) в 1887 г. Позже, поднимаясь на воздушных шарах, астрономы проводили фотографирование поверхности Солнца, его спектра, наблюдали кометы и метеоры.

Начиная с 1951 г. французский астроном Одуэн Дольфюс (род. 1924 г.) совершил несколько высотных полетов и провел важные исследования небесных тел. Так, в 1954 г. он поднялся на высоту 7 км и с помощью 28-сантиметрового телескопа измерил количество водяного пара в атмосфере Марса. В 1969 г. он побывал на высоте 13 км, сфотографировал спектр Венеры и обнаружил в составе ее атмосферы водяные пары. Практикуется запуск стратостатов с астрономическими приборами без человека на борту. Так, Мартин Шварцшильд (род. 1912 г., США) в 1957 г. начал серию запусков стратостатов, причем «Стратоскоп-2» поднялся на высоту 24 км с управляемым по радио 90-сантиметровым телескопом. В 1966 г. была запущена в стратосферу созданная под руководством тогдашнего директора Пулковской обсерватории В. А. Крата (1911—1983) первая советская стратосферная обсерватория, на борту которой был инструмент с диаметром зеркала в 1 м.

С 1946 г. производятся запуски ракет в верхнюю стратосферу. Этим путем в 1948 г. было зарегистрировано рентгеновское излучение Солнца.

Однако подлинная революция в астрономии произошла после 1957 г.— года запуска в СССР первых в мире двух искусственных спутников Земли. На орбиту вокруг Земли и в мировое пространство к Луне и планетам Солнечной системы неоднократно были направлены космические аппараты с самой разнообразной приемной техникой. Подробности читатель может найти в книге Е. И. Москаленко «Методы внеатмосферной астрономии» (М.: Наука, 1984).

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ЗВЕЗД

Поиск источников энергии. В 1935 г. директор Пулковской обсерватории Б. П. Герасимович (1889—1937) в книге «Физика Солнца» в связи с проблемой источников энергии звезд писал: «Перед нами одна из наиболее величественных проблем, которые когда-либо природа ставила перед человеком. Эта проблема еще очень далека от своего решения. По сути, мы теперь всего лишь достигли ее правильной постановки, ее решение является делом будущих поколений»...

Оглядываясь назад, астрономы с гордостью отмечают, что за последние 50 лет астрофизика в этом направлении сделала гигантский шаг вперед.

В начале XX в. наиболее приемлемой считалась гипотеза гравитационного сжатия. Но большинству геологов и астрономов к этому времени было ясно, что возраст Земли

во всяком случае в 10—20 раз больше тех 20 млн лет, которые следовали из расчетов Гельмгольца для возраста Солнца. Поэтому как только в физике делалось то или другое открытие, сразу возникал вопрос: а нельзя ли использовать его для решения наболевшей проблемы источников энергии звезд?

Так, в 1896 г. было открыто явление *радиоактивности* — распада ядер тяжелых химических элементов, которое сопровождается выделением тепла. Астрономы сразу же стали «примерять» это явление природы к Солнцу и звездам. Оценки показывали, что при распаде 1 г радия освобождается энергия $q_* \approx 1,4 \cdot 10^{17}$ эрг, 1 г урана — $2,2 \cdot 10^{17}$ эрг. Если бы Солнце в момент его «рождения» состояло из чистого радия, то энергии распада последнего хватило бы на время $t = \frac{q_* M_\odot}{L_\odot} \approx 7 \cdot 10^{16}$ с ≈ 2 млрд лет. Такой же массы урана было бы достаточно на 3,1 млрд лет.

Однако период полураспада радия составляет всего 1600 лет (за это время количество атомов радия на Солнце уменьшилось бы вдвое), а период полураспада урана — 4,55 млрд лет. Отсюда следует, что «радиевое Солнце» высветило бы основную часть своей энергии всего за несколько тысяч лет, «урановое Солнце» было бы значительно слабее настоящего. Вот почему, не зная даже, что урановое Солнце вспыхнуло бы сразу при его формировании как гигантская атомная бомба, астрономы отказались от идеи радиоактивного распада как возможного источника энергии звезд. Правда, еще в 1926 г. Дж. Джинс стремился отстаивать гипотезу, по которой в недрах звезд происходит радиоактивный распад элементов тяжелее урана ...

В 1897 г. был открыт электрон. И уже через три года после этого Дж. Лармор (Англия), а позже (1904 г.) Дж. Джинс самым серьезным образом рассматривали возможность *аннигиляции* материи. Имелось в виду, что очень быстрый электрон (движущийся со скоростью, сравнимой со скоростью света, $v \approx c$) соударяется с протоном так, что происходит полная «нейтрализация» заряда. При этом обе частицы будто бы перестают существовать, целиком преобразуясь в энергию. При расчетах использовалась формула эквивалентности массы и энергии

$$E = mc^2, \quad (4.1)$$

выведенная А. Эйнштейном в 1905 г.

Как известно, масса электрона m_e в 1836 раз меньше массы протона m_p . Поэтому в формуле (4.1) под массой m сле-

дует понимать именно величину $m_p = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г. Это давало выход энергии $E = 1,5 \cdot 10^{-3}$ эрг на каждый акт аннигиляции. Количество протонов в чисто водородном Солнце $N_p = M_\odot / m_p \approx 1,2 \cdot 10^{57}$, т. е. начальный «запас» его энергии составлял бы $Q = N_p E \approx 1,8 \cdot 10^{54}$ эрг. Высвечивание этой энергии при постоянной, нынешней светимости Солнца могло бы продолжаться $\tau = Q/L_\odot = 4,5 \cdot 10^{20}$ с $\approx 1,4 \cdot 10^{13}$ лет.

Очень скоро, однако, физики пришли к выводу, что такие реакции были бы неэффективными, так как в недрах звезд при температуре 10—20 млн кельвинов практически нет электронов, которые двигались бы со скоростями, близкими к скорости света. Сегодня мы знаем, что эти реакции вообще невозможны, так как в природе существуют законы сохранения тяжелых частиц (барионов) и легких частиц (лептонов). Протон принадлежит к первым, электрон — ко вторым. Поэтому протон может превратиться в другую тяжелую частицу — нейтрон (что и происходит в недрах звезд), но никак не может аннигилировать с электроном.

Начиная с исследований В. Харкинса и Э. Вильсона (1915 г.), а позже Ж. Перрена и А. Эддингтона (1920 г.) в астрофизике все больше укреплялось мнение, что источником звездной энергии может быть синтез элементов и прежде всего гелия. Мысль о том, что из атомов водорода могут быть построены все другие атомы, высказал еще в 1816 г. англичанин У. Праут: «Если бы атомы всех химических элементов были первичными основными частицами, настоящими «кирпичиками мироздания», которые не делятся на части и никак не связаны одна с другой, то какая могла бы быть причина того, что атом азота в точности в 14 раз тяжелее атома водорода, а атом кислорода — в 16 раз». Важную роль сыграли также работы Ф. Астона (Англия), который в 1918 г. установил, что атом гелия содержит не 4,00, а 3,97 массы атома водорода. Таким образом, при образовании ядра гелия происходит «упаковка» вещества. Отсюда в соответствии с формулой (4.1) следовало, что при образовании ядра атома гелия выделяется энергия E , пропорциональная величине «дефекта массы» $\Delta m = m_{4H} - m_{He} = 0,03 m_p$, так что $E = 0,03 \cdot 1,67 \cdot 10^{-24} \cdot 9 \cdot 10^{20} = 4,5 \cdot 10^{-5}$ эрг. Далее находим, что при «сжигании» массы водорода, равной массе Солнца, может выделиться энергия $1,3 \cdot 10^{52}$ эрг. Таким образом, растрачивая энергию в современном темпе, Солнце могло бы существовать около 100 млрд лет!

Идею синтеза гелия из водорода энергично отстаивал английский астроном и физик Артур Стенли Эддингтон (1882—1944). Против нее не менее энергично и, казалось,

не без основания выступали многие видные физики. Ведь из элементарных расчетов следовало, что при температуре звездных недр в 20—40 млн кельвинов энергия протонов недостаточна для того, чтобы преодолеть их взаимное отталкивание, действующее в соответствии с законом Кулона. Другими словами, каждая частица в недрах звезд как бы окружена своеобразным «потенциальным барьером»...

Но, как показали в 1929 г. Р. Аткинсон и Ф. Хоутерманс (США), в соответствии с принципами квантовой механики существует определенная вероятность того, что частица может преодолеть этот потенциальный барьер даже в том случае, когда ее энергия существенно меньше его величины (за счет так называемого туннельного эффекта).

Далее, в 1932 г. были открыты две элементарные частицы — позитрон и нейтрон. Через год были построены ускорители заряженных частиц, началось экспериментальное исследование вероятностей взаимодействия протонов с легкими ядрами.

И вот, наконец, в 1938 г. немецкие физики Карл Вейцзер (род. 1912 г.) и Ганс Бете (род. 1906 г.) сформулировали ответ на вопрос, за счет чего светятся Солнце и другие звезды. Первый указал на две возможные реакции синтеза гелия: протон-протонный и углеродно-азотный циклы. Вторым, преодолевая огромные трудности, провел математические расчеты, подтвердившие эффективность этих реакций.

В 1952 г. американский физик Эдвин Солпитер (род. 1924 г.) установил, что если водород в недрах звезды «выгорел», а температура здесь поднялась выше 100 млн градусов, то наступает «выгорание» гелия: при одновременном сближении трех ядер гелия образуется ядро углерода (по схеме $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + Q$). Еще через несколько лет стало ясно, что в массивных звездах на поздних этапах их развития образуются все более сложные химические элементы, вплоть до железа и висмута на «спокойном» этапе и до урана — при вспышках сверхновых звезд.

Открытие источников энергии звезд несомненно является величайшим достижением человеческого гения в его стремлении раскрыть тайны окружающего нас мира. Оно было осуществлено усилиями астрономов и физиков*).

В недрах и на поверхности. В первых годах XX в. при расчетах моделей звезд обычно принималось, что звезда

*) *Фаулер У.* Экспериментальная и теоретическая ядерная астрофизика: Проблема происхождения элементов.— М.: Знание. Сер. Новое в жизни науки и техники.— Космонавтика, астрономия, 1985, № 5.

является полностью конвективной, т. е. что ее строение описывается политропой $n=3/2$ (см. начало раздела «К тайнам строения и эволюции» в гл. 3).

Однако в 1906 г. немецкий ученый Карл Шварцшильд (1873—1916) установил, что при высоких температурах перенос энергии из недр звезды к ее внешним слоям может осуществляться излучением. На этой основе он и построил модель солнечной атмосферы. Исходным здесь был найденный им критерий — условие нарушения лучистого равновесия, сущность которого заключается в следующем. Предположим, что некоторый элемент газа случайно поднялся несколько вверх от своего исходного состояния, причем он не успел обменяться энергией с окружающим его газом. Давление вне и внутри этого элемента газа одинаково. И если температура движущегося газа будет больше температуры окружающей среды, то движение будет продолжаться, т. е. будет существовать конвекция.

Так К. Шварцшильд показал, что внешние слои Солнца, из которых к Земле приходят фотоны света, находятся в лучистом равновесии. Под ними существует конвективная зона, доказательством чего является хорошо известная *грануляция*: множество небольших светлых зернышек — гранул, как бы рассыпанных на более темном фоне видимого диска Солнца.

В состоянии лучистого равновесия перенос энергии происходит благодаря процессам поглощения и переизлучения фотонов света. Характеристикой этого состояния является коэффициент поглощения вещества κ в расчете на единицу массы, который принято называть *коэффициентом непрозрачности*. Очевидно, что $l \approx 1/\kappa\rho$, где ρ — плотность вещества, будет («в среднем») длиной пробега фотона света между двумя актами поглощения. В 1923 г. нидерландский физик Х. Крамерс (1894—1952), занимаясь теорией поглощения рентгеновского излучения атомами водорода и других элементов, получил формулу для оценки величины κ , которая широко используется в астрофизике и сегодня. В своей фундаментальной монографии «Внутреннее строение звезд» (1926 г.) А. Эддингтон уже исходил из предположения, что энергия из недр звезды наружу переносится переизлучением. При этом оказалось, что такая звезда является политропой индекса 3.

Одним из основных параметров модели звезды является температура в ее центре T_c . Приближенную формулу для оценки T_c нетрудно получить из условия гидростатического равновесия звезды. Оказалось, что $T_c \approx \mu G M / A R$, где G

и A — соответственно гравитационная и универсальная газовая постоянные, μ — молекулярная масса вещества звезды.

И тут-то возник вопрос о химическом составе звездных недр. Эддингтон считал, что вещество в недрах звезд состоит из тяжелых химических элементов и молекулярная масса $\mu=2$ (так как массовое число A тяжелых химических элементов вдвое больше величины их зарядов z , то после полной ионизации атома на одну частицу приходится $\mu=A/(z+1)\approx\approx 2$ атомные единицы массы). Это приводило к температуре в центре звезды типа Солнца $T_c\approx 40\cdot 10^6$ К.

В 1937 г. этой проблемой заинтересовался датский астрофизик Бенгт Стремгрен (род. 1908 г.). Сделав «шаг вперед», он предположил, что вещество Солнца состоит (по массе) на 35 % из водорода и на 65 % из элементов тяжелее гелия. Несколько позже М. Шварцшильд пришел к выводу, а это уже был 1946 г., что водорода на Солнце около 47 % (массовая концентрация $X=0,47$), гелия 41 % ($Y=0,41$) и тяжелых элементов 12 % ($Z=0,12$).

В настоящее время наиболее приемлемым представляется такой химический состав вещества Солнца: $X=0,65$, $Y=0,33$, $Z=0,02$, а его средняя молекулярная масса $\mu_{\odot}=0,65$. После этих «переоценок» химического состава температура в центре Солнца «снизилась» до 14 млн кельвинов.

Диаграмма Герцшпрунга — Рассела. К началу XX в. уже были определены расстояния до многих десятков звезд, подробно изучены их спектры. Стало возможным сопоставление спектральных особенностей отдельных звезд с их светимостями (с полным количеством энергии, излучаемой звездой со всей своей поверхности в единицу времени). Впрочем, если и были сомнения в расстояниях до индивидуальных звезд, то можно было изучать их в звездных скоплениях, полагая, что все они находятся практически на одинаковом расстоянии от наблюдателя и различия в их блеске обусловлены различием их светимостей.

Именно так в 1905 г. датский астроном Эйна́р Герцшпру́нг (1873—1967) сопоставил видимые звездные величины и показатели цвета для звезд из скоплений Плеяды и Гиады. Немногим позже, в 1913 г., американский астрофизик Генри Норрис Рассел (1877—1957) построил диаграмму зависимости абсолютных величин (т. е. фактически светимостей) от спектральных классов для всех звезд с известными параллаксами. Так появилась *диаграмма Герцшпрунга — Рассела*, или *диаграмма спектр — светимость* (рис. 60),

без которой сегодня немыслимо рассмотрение всех тонкостей проблемы звездной эволюции.

Как мы знаем сегодня, распределение звезд на этой диаграмме крайне неравномерно, звезды группируются на ней

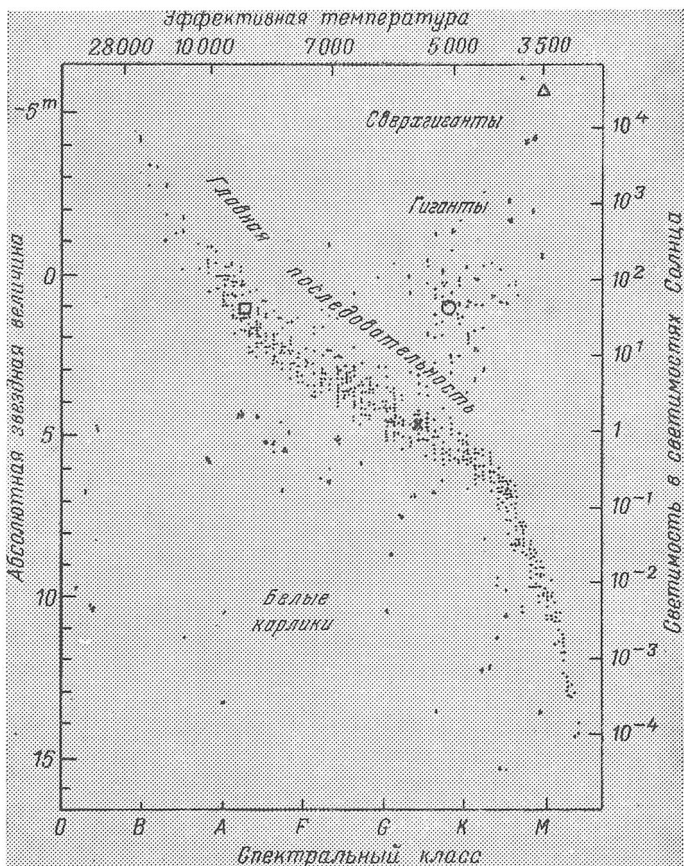


Рис. 60. Диаграмма спектр — светимость для звезд из окрестностей Солнца

вдоль определенных направлений. Наибольшее их количество находится на *главной последовательности* — полосе, пересекающей диаграмму слева направо и сверху вниз. Правее и выше ее расположена *ветвь гигантов*, еще выше —

сверхгигантов. Левый нижний «угол» занимают белые карлики.

Все эти особенности диаграммы стали очевидными постепенно. Но уже с самого начала стало ясно, что, начиная со спектрального класса F, звезды располагаются на диаграмме двумя расходящимися ветвями: одна идет по диагонали вправо вниз, другая — ветвь гигантов — почти горизонтально вправо.

Дискуссия о возрасте звезд. В 1904 г. выдающийся английский физик Эрнест Резерфорд (1871—1937) использовал явление радиоактивности распада урана для установления возраста образцов горных пород Земли. Было найдено, что твердая оболочка Земли существует как таковая не меньше двух миллиардов лет. Никто не сомневался в том, что возраст Солнца не может быть меньше этого числа. Но если не меньше, то во сколько раз больше?

В 1924 г. А. Эддингтон установил, что светимости звезд, находящихся на главной последовательности, пропорциональны четвертой степени их массы: $L \sim M^4$. Он нашел также, что наибольшая масса, при которой звезда все еще будет устойчивой, равна примерно $100 M_{\odot}$. После этого Дж. Джинс предположил, что начальная масса Солнца была равна этому верхнему пределу и что в дальнейшем она уменьшалась за счет высвечивания энергии в соответствии с формулой Эйнштейна (4.1). В итоге Джинс получил верхний предел возраста Солнца: 7,6 триллиона ($7,6 \cdot 10^{12}$) лет!

В подтверждение своей точки зрения Джинс выдвигал несколько аргументов. Так, статистические данные о скоростях и массах звезд различных спектральных классов как будто свидетельствовали о том, что при переходе от красных карликов к белым гигантам (с увеличением массы звезды) их средняя скорость движения в пространстве уменьшается, но средняя кинетическая энергия остается одинаковой. А такое, дескать, состояние «равнораспределения энергии» может установиться как раз за 5—10 триллионов лет. Джинс также нашел, что из 68 визуально-двойных звезд наибольшее их число имеет эксцентриситеты от 0,4 до 0,6. Именно такое распределение орбит двойных звезд по их эксцентриситетам и должно установиться за указанное время в результате гравитационных воздействий со стороны других звезд Галактики.

Вопрос о возрасте звезд оставался неразрешенным почти 15 лет вплоть до открытия источников энергии звезд. Джинс отстаивал свою «длинную» шкалу возраста, Рессел и Эддингтон считали, что возраст Солнца и звезд в тысячу раз

меньше и измеряется всего несколькими миллиардами лет. В частности, в марте 1935 г. на очередном собрании Лондонского королевского астрономического общества состоялась публичная дискуссия на эту тему. Об итогах этой дискуссии хорошо сказано в книге В. А. Бронштэна «Гипотезы о звездах и Вселенной» (М.: Наука, 1974): «Председатель поблагодарил участников дискуссии, и собравшиеся чинно разошлись по домам. Проблема осталась неразрешенной. Да ее и невозможно было решить, не зная, какими источниками энергии располагает звезда».

Вскоре было установлено, что упомянутые «аргументы» Джинса в пользу «длинной» шкалы являются несостоятельными. Например, как показали в 1937 г. В. А. Амбарцумян (род. 1908 г.), а несколько позже другой советский астроном П. П. Паренаго (1906—1960), в двойных звездах состояния равнораспределения по энергиям не существует ... Общепринятой стала «короткая» шкала, по которой возраст Солнца измеряется пятью миллиардами лет.

«Маяки Вселенной». Изучение переменных звезд европейскими астрономами началось около 400 лет назад. Наблюдения свидетельствовали, что блеск одних звезд меняется очень резко, иногда даже катастрофически, блеск других ритмически колеблется около некоторой средней величины.

Сегодня переменных звезд насчитывается около 30 000. Их принято делить на три отдельные группы: затменные переменные, пульсирующие и эруптивные. Изучение затменных переменных звезд дает, в частности, возможность определять как массы, так и радиусы каждой из компонент.

Представителями 14-тысячной семьи *пульсирующих переменных* звезд являются цефеиды, которые и были названы «маяками Вселенной». Пионерскими же в изучении этих звезд как «маяков Вселенной» были работы американского астронома Генриетты Ливитт (1868—1921). Тем самым она, по образному выражению ее соотечественника Ч. Уитни, нашла ключ, с помощью которого в конце концов удалось открыть тайну туманностей...

... На угловом расстоянии почти 20° от Южного полюса мира видны как бы два обломка Млечного Пути — Большое и Малое Магеллановы Облака. Уже Джон Гершель посчитал их «настоящими галактиками», хотя, конечно, доказать это он не мог. И вот с начала XX в. на установленном в Перу телескопе астрономы Гарвардского университета начали фотографировать Магеллановы Облака, а мисс Ливитт — искать на этих фотографиях переменные звезды и определять

периоды изменения их блеска. Более чем за десяток лет этой работы Ливитт открыла в Магеллановых Облаках 2400 переменных звезд!

Итак, для 25 цефеид из Малого Магелланова Облака Ливитт установила периоды изменения блеска — от 1 до 127 суток, а сопоставляя эти периоды с видимыми величинами звезд, она уже в 1912 г. (первая предварительная публикация появилась в 1908 г.) сделала вывод, что самые яркие переменные имеют наибольший период. «Так как эти переменные звезды, вероятно, находятся на одинаковом расстоянии до Земли, их периоды, очевидно, связаны с количеством излучаемого ими света», — писала она. Это заинтересовало Герцшпрунга, который сделал попытку оценить абсолютные звездные величины цефеид из Млечного Пути и тем самым получить зависимость период — светимость. Беда, однако,

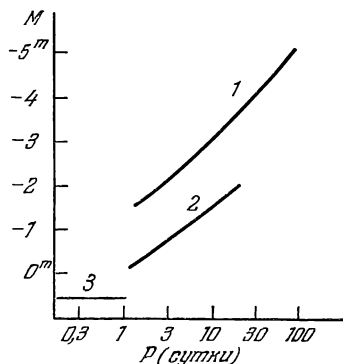


Рис. 61. Зависимость период — светимость для звезд типа δ Цефея (1), W Девы (2) и RR Лиры (3)

в том, что вблизи Солнца нет ни одной цефеиды, для которой расстояние можно было бы измерить путем определения тригонометрического параллакса. Герцшпрунг поступил так: он предположил, что видимое перемещение звезды (цефеиды) на небе на самом деле обусловлено движением Солнца в пространстве и по величине этого ее годового смещения рассчитал расстояния до 13 звезд, для которых такие собственные движения были уже измерены. Метод, конечно, был весьма приближенным, поэтому зависимость период — светимость для цефеид (рис. 61) еще очень долго уточнялась и (иначе и не скажешь) совершенствовалась. Ведь позже окажется, что речь идет о трех типах переменных звезд ..., у которых зависимости периодов от светимости звезды неодинаковы. Подробности этой эпопеи исчерпывающе описаны в книге Ю. Н. Ефремова «В глубины Вселенной» (3-е изд. — М.: Наука, 1984).

Весьма нелегким оказался и путь к установлению физической природы этих «маяков Вселенной». Почему-то в начале XX в. не была принята во внимание работа Риттера, из которой следовало, что при определенных условиях звезда может пульсировать, и долгое время популярной была

гипотеза, по которой цефеиды являются двойными звездами. Так, американский астроном Гебер Кертис (1872—1942) объяснял увеличение блеска цефеиды тем, что поверхность одной из компонент, движущейся ускоренно вблизи периастра (кратчайшего расстояния до другой звезды), сильно разогревается за счет «трения» об окружающее эту звезду вещество. Джинс в 1926 г. предположил, что цефеиды — это звезды, обладающие грушевидной формой (т. е. имеют форму «фигур Пуанкаре»), которые в дальнейшем разрываются на две части. Изменения блеска будто бы возникают благодаря вращению такой звезды и ее колебанию вдоль продольной оси (ее удлинению и сокращению). Аналогичную гипотезу высказывали Фред Хойл и Реймонд Литлтон (Англия) в 1943 г. ...

Оказалось, однако, что истинным было предположение Н. А. Умова: цефеиды являются пульсирующими звездами, которые, ритмично расширяясь и сжимаясь, отсчитывают, как огромные сферические маятники, время на протяжении сотен тысяч лет. Это обосновал американский астроном Харлоу Шепли (1885—1972). В 1914 г. он доказал, что радиусы цефеид в десятки раз больше предполагавшихся Кертисом расстояний между компонентами двойных звезд.

Разработку теории пульсаций начал в 1917 г. Артур Эддингтон. Поставив вопрос: откуда берется энергия, поддерживающая пульсации, Эддингтон указал два возможных механизма ее пополнения — периодическое усиление интенсивности ядерных реакций в недрах звезд или же изменение способности ее внешних слоев пропускать поток лучистой энергии, идущий к поверхности звезды. Отражая критику со стороны Джинса и совершенствуя теорию пульсаций, Эддингтон в 1941 г. пришел к выводу, что если «работает» второй механизм (в чем Эддингтон все же не был уверен), то изменение светового потока может быть связано со сменой процессов ионизации (при которой происходит поглощение света и уменьшение блеска звезды) и рекомбинации (усиленное высвечивание) водорода во внешних слоях звезды. Увы, подсчеты показали, что энергии, запасаемой сферическим слоем водорода при его ионизации, недостаточно, чтобы поддерживать пульсационное движение внешних слоев звезды.

И лишь в 1953—1957 гг. С. А. Жевакину (СССР) удалось доказать, что это вполне под силу другому широко распространенному химическому элементу — гелию. После дальнейших расчетов Р. Киппенхана и Р. Кристи (США) стало ясно, что пульсируют звезды относительно больших масс

(5—10 M_{\odot}) и что происходит это после того, как, исчерпав свои запасы водорода, звезды превращаются в красные гиганты.

Природа сверхновых. В группе *эруптивных* звезд много интересных типов. Но остановимся мы лишь на сверхновых. Ведь по современным представлениям вспышка сверхновой возникает на определенном «поворотном» этапе развития звезды ...

В максимуме блеска сверхновая достигает светимости, соизмеримой со светимостью целой галактики, общее количество энергии, излучаемое звездой за время вспышки, составляет 10^{49} — 10^{52} эрг.

Впервые мысль о том, что в Галактике время от времени вспыхивают столь гигантские «новые», высказал шведский астроном Кнут Лундмарк (1889—1958) в 1919 г. Он же пришел к выводу, что сверхновыми были звезды, наблюдавшиеся Тихо Браге в 1572 г. и Иоганном Кеплером в 1604 г. В переводах из китайских хроник Лундмарк обнаружил также сообщение о вспышке очень яркой звезды в созвездии Тельца в 1054 г.: «В первый год периода Чжи-хэ, в пятую Луну, в день Чи-чу (10 июня 1054 г.) к юго-востоку от звезды Тянь-гуань (ζ Тельца) появилась звезда-гостья. Она светила около одного года и десяти месяцев и постепенно угасала». «Она была видна днем, как Венера, во все стороны от нее исходили лучи света и цвет ее был красно-белый. Так она была видна 23 дня»...

Вскоре Э. Хаббл высказал предположение, что знаменитая Крабовидная туманность, которая была обнаружена и описана еще в 1731 г., образовалась именно при вспышке этой звезды. Однако многим астрономам, среди них был и Шепли, столь грандиозное явление природы казалось просто невероятным. Ведь приходилось допускать, что за несколько дней и даже часов светимость звезды возрастает в сотни тысяч и даже миллионы раз ...

В 1934 г. работавшие в США швейцарский астроном Фриц Цвикки (1898—1974) и немецкий астроном Вальтер Бааде (1893—1960) высказали предположение, по которому явление вспышки сверхновой связано с превращением обычной звезды, исчерпавшей свои источники энергии, в сверхплотную *нейтронную звезду*. После этого вопрос об источнике энергии вспышки сверхновой стал как будто ясен.

Теоретически нейтронные звезды были «построены» в 1937 г. выдающимся советским физиком Л. Д. Ландау (1908—1968), а два года спустя — Р. Оппенгеймером и М. Волковым (США). Открыты же они были в 1967 г. груп-

пой английских радиоастрономов под руководством Энтони Хьюиша: ведь именно ими являются источники импульсного радиоизлучения, именуемые *пульсарами*...

Здесь уместно сказать несколько слов об огромнейших трудностях, с которыми встретились астрономы при отождествлении спектров сверхновых. В 1937 г. Р. Минковский (1895—1976) исходил из предположения, что эти спектры представляют собой совокупность широких эмиссионных полос. И лишь в 1963 г. другой американский спектроскопист Д. Мак-Лафлин (1901—1965) сделал противоположный вывод: основными определяющими деталями спектров сверхновых I типа (объектов, у которых на поздней фазе угасания падение блеска происходит с постоянной скоростью $0,0137^m$ в сутки: светимость уменьшается вдвое за каждые 55 суток; все остальные сверхновые отнесены к II типу) являются не эмиссионные «горбы», а провалы между ними — расширенные и смещенные в фиолетовую сторону линии поглощения. Но это еще следовало доказать, и важные результаты в этой области были получены в 1968 г. в СССР Ю. П. Псковским (род. 1926) и в 1970—1972 г. Э. Р. Мустелем (род. 1911 г.).

Тайны ближайшей звезды. Много вопросов, касавшихся физической природы Солнца, состояния вещества его недр и др., уже «сняты с повестки дня», уже нашли полное или «почти полное» решение. Так, в свое время весьма нелегкой была задача о переносе излучения в самых внешних слоях Солнца (в равной мере это относится и к другим звездам), где формируется непрерывный спектр и спектральные линии. Но эти трудности были успешно преодолены. Важный вклад в решение этой задачи внесен Э. Милном (Англия), К. Шварцшильдом (Германия), С. Чандрасекаром (США), в СССР — В. А. Амбарцумяном, В. В. Соболевым (род. 1915 г.) и В. В. Ивановым, и мы уже знаем, что эффективная температура Солнца равна 5806 К, что его недра находятся в состоянии лучистого равновесия, тогда как внешние слои охвачены конвекцией, что хромосфера — это сложное образование, в котором «сосуществуют» вертикальные слои холодного (относительно, конечно) и более нагретого вещества, в короне же температура достигает 2 млн кельвинов, а над активными образованиями она еще в 10—20 раз больше.

«Почти» относится к таким вопросам как протяженность конвективной зоны — ведь ее оценивают значением от 20 до 100 тыс. км, так как пока остается неясным вопрос о том, насколько высоко поднимается нагретый газ: на высоту, где плотность уменьшается в e ($=2,72$) раз, или в олтора-два раза выше. «Маловато» атомов гелия (по отношению

к водороду) в потоках частиц, движущихся от Солнца в межпланетное пространство (в солнечном ветре). Не до конца понят механизм солнечных вспышек. Примеров еще можно подыскать немало.

Но два вопроса привлекают внимание астрономов и физиков вот уже около 15 лет. Первый — проблема солнечных нейтрино, второй — природа пульсационных движений поверхности Солнца.

Нейтрино образуются в центральных областях Солнца в результате реакций синтеза ядер гелия из четырех протонов. При этом два протона превращаются в нейтроны по схеме $p \rightarrow n + e^+ + \nu$. Подсчет показывает, что на расстоянии от Солнца в 1 а. е. через площадку в 1 см^2 за секунду проходит 65 млрд этих частиц, уносящих из недр Солнца около 5 % выделяющейся там энергии. И еще в 1946 г. советский физик Б. М. Понтекорво (род. 1913 г.) предложил «улавливать» солнечные нейтрино с помощью реакции $^{37}\text{Cl} + \nu \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$, т. е. «преобразования» изотопа хлор-37 в радиоактивный аргон-37. Период полураспада этого элемента 34 дня. Распад происходит по схеме $^{37}\text{Ar} \rightarrow ^{37}\text{Cl} + e^+ + \nu$, аннигиляция же позитрона с электроном приводит к образованию двух-трех фотонов света, которые и могут быть зарегистрированы.

И уже с 1955 г. Р. Дэвис (США) начал работы на небольшом «нейтринном телескопе», а с 1967 г. и на более мощной установке. Итог: нейтрино и в самом деле регистрируются, но в 2,6 раза меньше, чем это следует из теоретических расчетов. Пока трудно сказать, в чем причина этого расхождения. Ведь несколько лет назад говорилось, что их «в 3,5 раза меньше», но вот уточнили сведения о вероятности одной из реакций ... и сразу «ситуация» несколько улучшилась. Исследования, как говорится, продолжаются ...

В 1974 г. в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР под руководством А. Б. Северного проводилось детальное изучение движений поверхности Солнца и были открыты пульсации с периодом 160,01 минуты и амплитудой скорости около 0,5 м/с. Опять-таки рассмотрены все мыслимые варианты решения, но окончательно выбор все еще не сделан.

НАША ГАЛАКТИКА

Солнце — вдали от центра! К началу XX в. почти общепринятой была точка зрения, будто бы Галактика состоит из внешнего кольца звезд и центрального звездного

облака, в котором и расположено Солнце — чуточку севернее плоскости, проходящей через середину Млечного Пути. Такую модель, в частности, разрабатывал нидерландский астроном Якоб Каптейн (1851—1922), который к 1900 г. опубликовал обзорный каталог 454 875 звезд до 10-й величины южного полушария по наблюдениям в Кейптауне. В 1906 г. Каптейн предложил фотографировать звезды в 206 избранных площадках (примерно $1^\circ \times 1^\circ$) для уточнения строения Галактики, и план этот в значительной степени был выполнен ...

Согласно Каптейну, наша звездная система имеет вид двояковыпуклой линзы диаметром около 65 000 световых лет, причем Солнце будто бы находится всего на расстоянии в 2100 световых лет от центра.

Но еще в 1838 г. Джон Гершель обратил внимание на разительный факт: практически все известные тогда шаровые скопления находились в одной части неба. В начале XX в. астрономы, в частности Герцшпрунг, отмечали точнее: шаровые скопления концентрируются в созвездии Стрельца. Здесь на 2 % площади всей небесной сферы находится треть всех упомянутых скоплений. Правильный вывод из этого, имеющий огромное мировоззренческое значение, сделал Шепли.

Используя открытую Ливитт зависимость период — светимость для цефеид, Шепли оценил расстояние до ближайших (около десяти) шаровых скоплений, в которых пульсирующие звезды были обнаружены. До остальных скоплений (а всего он исследовал 69 объектов) расстояния были найдены в предположении, что их ярчайшие звезды в три раза мощнее переменных звезд, или же по видимым размерам скопления (предполагалось, что эти размеры одинаковы у всех объектов). В итоге Шепли нашел, что диаметр Галактики равен 300 000 световых лет, ее толщина — 30 000 световых лет, причем Солнце удалено от центра Галактики на 50 000 световых лет ...

Многим астрономам эти размеры казались слишком большими, однако необходимы были строгие доказательства в подтверждение этих сомнений ... Их дал в 1930 г. американский астроном Роберт Трюмплер (1886—1956). Изучая блеск звезд в рассеянных звездных скоплениях и угловые размеры этих скоплений, Трюмплер обнаружил, что чем слабее звезды скоплений (т. е. чем дальше они от наблюдателя), тем больше размеры скоплений. И он сделал вывод, что на самом деле эти скопления находятся ближе к наблюдателю, однако их блеск ослаблен межзвездной средой.

Так было подтверждено высказанное еще в 1847 г. В. Я. Струве предположение о том, что межзвездная среда существенно ослабляет излучение далеких звезд ... Соответственно были пересмотрены и размеры Галактики. Как оказалось, ее диаметр равен 100 000, толщина — 10 000, а расстояние от центра Галактики (находящегося в созвездии Стрельца) до Солнца — около 30 000 световых лет.

В целом Солнце оказалось «передвинутым» из центра Галактики, куда его «поместил» В. Гершель, на ее далекую окраину. И этот акт по своей значимости едва ли не равноценен коперникову «остановил Солнце и сдвинул Землю»...

Галактика вращается. К началу XX в. уже были определены тригонометрические параллаксы около 100 звезд, было обнаружено собственное движение нескольких тысяч звезд и сделана попытка сопоставить эти величины — параллакс π и перемещение звезды на небесной сфере за год μ . Соображение было очевидное: чем дальше звезда, тем ее смещение менее заметно. Так было получено приближенное соотношение $\pi \approx \frac{1}{15} \mu$, которое и было использовано Герцшпрунгом для определения расстояний до цефеид. Это — метод *статистических параллаксов*.

Однако совместное изучение собственных движений звезд и их лучевых скоростей (определяемых спектрально с помощью формулы (3.3)) позволило измерить *пространственные скорости* звезд. И тут-то оказалось, что в окрестностях Солнца некоторые звезды движутся с очень большими скоростями — до 80 км/с (средняя скорость движения Солнца относительно ближайших звезд — всего 20 км/с). Кроме того, оказалось, что звезды из окрестностей Солнца имеют как бы тенденцию разделяться на два встречных потока: один из них движется в направлении на созвездие Стрельца, другой в противоположном направлении. В связи с этим возникло даже предположение, что Млечный Путь на самом деле имеет форму кольца, в котором звезды движутся «в две стороны» ...

Объяснил это явление в 1926 г. шведский астроном Бертил Линдблад (1895—1965). Он доказал, что такая картина движений звезд обусловлена вращением Млечного Пути, центр которого и находится в направлении на созвездие Стрельца. По Линдбладу, наша Галактика состоит из нескольких подсистем звезд, каждая из которых имеет свою пространственную форму и обращается вокруг центра Галактики с определенной скоростью. Так, шаровые

скопления, лучевые скорости которых равны 150—200 км/с, относятся к *сферической* подсистеме, вращающейся очень медленно. С другой же стороны, Солнце и большинство звезд из его окрестностей принадлежат к *плоской* составляющей, которая в целом вращается довольно быстро. Поэтому упомянутые «звезды-бегуны» являются на самом деле «тихоходами», а их большие скорости — результат быстрого движения Солнца, которое их догоняет. Что же касается двух потоков звезд (по направлению к созвездию Стрельца и от него), то они обусловлены тем фактом, что звезды движутся вокруг центра Галактики по вытянутым эллиптическим орбитам. Из-за этого в произвольно взятой точке пространства примерно половина звезд движется в сторону силового центра, тогда как другая — от него.

Окончательно вращение Галактики было в 1927 г. доказано нидерландским астрономом Яном Оортом (род. 1900 г.), установившим, что Галактика вращается не как твердое тело (не как граммофонная пластинка). Внутренние ее области вращаются быстрее, на окраине же Млечного Пути каждая звезда движется по кеплеровой орбите. Солнце, двигаясь со скоростью около 250 км/с, делает полный оборот вокруг центра Галактики за 200 млн лет.

Населения и подсистемы. В 1944 г. Бааде разделил звездное население Галактики на два «типа населения». К населению I типа он отнес, в частности, звезды рассеянных скоплений, к населению II типа — звезды шаровых скоплений и звезды ядра Галактики. Позже анализ показал, что в атмосферах звезд II типа тяжелых химических элементов примерно в 100 раз меньше, чем у звезд I типа.

В 1947 г. советский астроном Б. В. Кукаркин (1909—1977), исследуя пространственное распределение переменных звезд различных типов, пришел к выводу, что в Галактике можно выделить три *подсистемы*: плоскую, промежуточную и сферическую, различающиеся между собой степенью сосредоточенности звезд к плоскости Галактики. Эти идеи получили дальнейшее развитие, и сегодня принято выделять пять подсистем: к *сферической* принадлежат шаровые скопления, субкарлики, к *промежуточной* — звезды спектрального класса F—M, имеющие большие скорости, к подсистеме *диск* отнесено большинство звезд главной последовательности, к *старой плоской* принадлежат звезды класса A, к *молодой плоской* подсистеме — горячие звезды классов O и B. При переходе от сферической к молодой плоской подсистеме соответственно возрастает содержание тяжелых химических элементов в атмосферах звезд.

Туманности. Среди многочисленных вопросов, которые пришлось решать в процессе изучения туманностей, выделим всего несколько.

Зеленоватый оттенок планетарных туманностей обусловлен тем, что значительную часть энергии они излучают в двух так называемых небулярных линиях N_1 и N_2 , длины волн которых 5006 и 4959 Å. Возникла гипотеза, по которой эти (как и некоторые другие) линии принадлежат какому-то неизвестному химическому элементу — «небулию». И лишь в 1927 г. американский астроном Айра Спрейг Боуэн (1898—1973), до этого подробно изучавший ультрафиолетовые спектры азота, кислорода и др. в химической лаборатории, установил, что упомянутые линии излучаются атомами дважды ионизованного кислорода, другая пара линий — 3726 и 3729 Å, наблюдаемая в ультрафиолете, — атомами однократно ионизованного кислорода. Речь, однако, идет о «запрещенных» переходах в атомах, т. е. переходах электронов, которые могут осуществляться лишь в условиях разреженного состояния.

Газовые туманности, в частности планетарные, светятся и в линиях водорода. Теорию этого явления разработал норвежский астроном Свен Росселанд (1894—1985). В 1931 г. он показал, что в случае, когда звезда, возбуждающая свечение туманности, находится далеко от нее, переходы в атоме под действием излучения с энергетического уровня 1 на уровень 3, после чего обратно на 2 и 1 (по схеме $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$) происходят в миллиарды раз чаще, чем переходы $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ (в атмосферах Солнца и звезд их вероятность одинакова). В этом — сущность *теоремы Росселанда*.

Изучая распределение энергии в спектре Крабовидной туманности, Минковский в 1942 г. сделал вывод, что масса вещества туманности равна $15 M_{\odot}$. Но в 1949 г. Дж. Болтон и Г. Стенли (Австралия) отождествили с Крабовидной туманностью открытый ими мощный источник радиоизлучения Телец А. Необходимо было объяснить излучение этого объекта в широком диапазоне электромагнитных волн — от видимого света до радиодиапазона. И вот в 1953 г. И. С. Шкловский обосновал следующее: основная часть энергии излучается туманностью в результате торможения релятивистских электронов в пронизывающем ее магнитном поле. В следующем, 1954 г., это предвидение было блестяще подтверждено наблюдениями. Крабовидная туманность была первым объектом, у которого зарегистрировано излучение нового в астрофизике типа. При этом оказалось возможным переоценить массу туманности, она оказалась рав-

ной ... всего $0,1 M_{\odot}$, т. е. примерно в 150 раз меньше, чем это считалось ранее.

Через 10 лет было установлено, что Крабовидная туманность является также мощным источником рентгеновского излучения. Как оказалось, все основные свойства этой туманности определяются находящимся в ней пульсаром. Сегодня ее относят к *плерионам* (от греч. плериос — заполненный) — немногочисленному классу образовавшихся после вспышки сверхновой туманности, в которых вещество как бы равномерно заполняет весь объем. Большинство других остатков вспышки сверхновой имеют оболочечную структуру.

В свое время Краб приподнес астрономам еще одну загадку. Дата «рождения» туманности известна, известны также ее сегодняшние размеры и скорость расширения. Оказалось, что согласовать эти данные можно лишь в случае, если предположить, что вещество туманности расширяется ускоряясь. Объяснить это явление удалось советскому астрофизику С. Б. Пикельнеру (1921—1975). Он установил, что эффект ускорения обусловлен давлением магнитных полей и находящихся в туманности релятивистских частиц.

Межзвездная среда. Изучение особенностей распределения звезд в самом Млечном Пути, наличие в нем темных пятен — пустот, полос и «дорожек» дало повод полагать, что все это — результат присутствия в Галактике значительного количества распыленной материи, часть которой может быть объединена в изолированные комплексы — *темные* и (что бывает гораздо реже) *светлые туманности*. Напомним, что в каталоге Джона Гершеля (1864 г.) туманностей насчитывалось 5000, в «Новом генеральном каталоге» (NGC) английского астронома Йохана Людвиг Дрейера (1852—1926), изданном в 1888 г. с дополнениями в 1895 и 1908 гг. — свыше 13 000. Как было установлено позже, большая их часть — так называемые спиральные и эллиптические туманности — находится за пределами нашей Галактики, это подобные ей звездные системы. Другая, меньшая часть — это истинные туманности, входящие в нашу Галактику. Стало очевидно, что туманность светится, если вблизи от нее находится яркая звезда, свет которой просто отражается (если туманность пылевая) или «перерабатывается» в серии спектральных линий (в газовых туманностях). Следовательно, на одну светлую туманность может приходиться много сотен темных, массы которых, как было установлено позже, могут достигать $10\,000 M_{\odot}$.

В 1904 г. немецкий астроном Иоганнес Франц Гартман (1865—1936), изучая спектр двойной звезды δ Ориона, заметил, что в нем имеются линии ионизованного кальция (линии H и K Ca II), которые не участвуют в периодических сдвигах остальных линий, обусловленных обращением компонент вокруг центра масс. Гартман заметил: «Мы приходим к представлению, что в некотором месте на пути между Солнцем и δ Ориона находится облако, которое вызывает это поглощение ...». В 1919 г. были открыты межзвездные линии натрия, а после 1937 г. — калия, железа, титана, узкие межзвездные полосы поглощения молекул CN, CN^+ , C_2 и др.

При более подробном исследовании оказалось, что примерно в 80 % межзвездные линии расщепляются на несколько (от 4 до 10) компонент. Отсюда следует, что на самом деле свет далекой звезды проходит не через одно, а через несколько газовых облаков, движущихся друг относительно друга. Американский астроном Отто Струве (1897—1963) совместно с Б. П. Герасимовичем определил среднюю плотность этих облаков и исследовал их обращение вокруг центра Галактики. Под руководством Струве был построен первый небулярный спектрограф, с помощью которого и удалось в 1938 г. обнаружить в Млечном Пути облака газа, интенсивно излучающие в линиях серии Бальмера.

Итак, присутствие газа в межзвездном пространстве обнаруживается по линиям поглощения или излучения с помощью спектрографов. Но это пространство может содержать и некоторое количество пыли. Как ее обнаружить? Сделано это было в 1948—1949 гг. американскими астрономами У. Хилтнером и Дж. Холлом и независимо советским астрономом В. А. Домбровским (1913—1972), открывшими *межзвездную поляризацию света*. Как оказалось, длина космической пылинки примерно вдвое больше ее диаметра, и такая пылинка усиленно поглощает те электромагнитные волны, электрический вектор которых совпадает с направлением ее большей оси. Ориентация же пылинок в одинаковом направлении обеспечивается межзвездным магнитным полем, одним из доказательств существования которого и был факт поляризации света звезд.

Большую известность получил изданный в 1952 г. «Атлас диффузных газовых туманностей», составленный в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР Г. А. Шайном и В. Ф. Газе (1899—1954). В нем содержатся данные о более чем 2000 эмиссионных туманностях, открытых авторами при фотографировании неба сквозь светофильтры,

выделяющие отдельные эмиссионные линии бальмеровской серии водорода. Значительная часть этих туманностей имеет волокнистую структуру, при этом они как бы образуют цепочку, вытянутую параллельно галактической плоскости. Это послужило независимым доказательством наличия в Галактике магнитного поля, вдоль силовых линий которого и происходит расширение вещества туманностей.

В 1939 г. Б. Стремгрен, рассматривая проблему ионизации и возбуждения атомов межзвездного водорода, пришел к выводу, что вокруг горячих звезд под действием их ультрафиолетового излучения образуются зоны ионизованного водорода (зоны Н II или *зоны Стремгрена*). В этих зонах происходит «дробление» идущих от звезды квантов лаймановского континуума, благодаря чему зона светится, и с больших расстояний (если она наблюдается в другой галактике) такой объект виден как звезда большой светимости.

Зона Н II — это область газа, нагретого до температуры около 10 000 К, тогда как вне ее температура не превышает 50 К. В то же время плотность газа по обеим сторонам границы, разделяющей эти два состояния среды, примерно одинакова. Поэтому зона Н II расширяется, или, как принято говорить, в сторону неионизованного газа движется *ионизационная волна*. Огибая более плотные газовые облака и сжимая их, она тем самым способствует образованию молодых звезд. Исследования особенностей движения ионизационных волн в межзвездном пространстве были проведены в 1951—1955 гг. Ф. Каном (Англия) и С. А. Капланом. Примерно в те же годы С. Б. Пикельнер и С. А. Каплан исследовали особенности структуры и движения ударных волн в межзвездной среде. С. А. Каплан установил, что в целом в межзвездной среде происходит беспорядочное хаотическое перемещение отдельных масс, при котором энергия движения передается от движений больших масштабов к движениям меньших масштабов, что типично для турбулентного состояния, основные свойства которого были изучены в СССР А. Н. Колмогоровым (род. 1903 г.).

И, наконец, несколько слов о космических мазерах. В 1965 г. Е. Гундерманн, а также Г. Уивер, Д. Вильямс, Н. Дитер и В. Люм (США) обнаружили вблизи областей Н II аномальное излучение молекул ОН, наиболее сильное в линии 1665 МГц. Особенностью здесь было то, что полуширины линий соответствовали температурам около 3 К, тогда как интенсивности — температурам на много порядков высшим. Возникло предположение, что эти линии излучает какое-то неизвестное вещество — «мистериум»,

Вскоре, однако, А. Беррет, А. Роджерс и Б. Тернер (США) высказали предположение, согласно которому источники «мистериума» — это космические мазеры. Были рассмотрены различные механизмы накачки — ультрафиолетовый, химический и инфракрасный. Этот последний был предложен И. С. Шкловским.

В каталоге объектов мазерного излучения в 1979 г. насчитывалось 350 источников. Более половины из них —

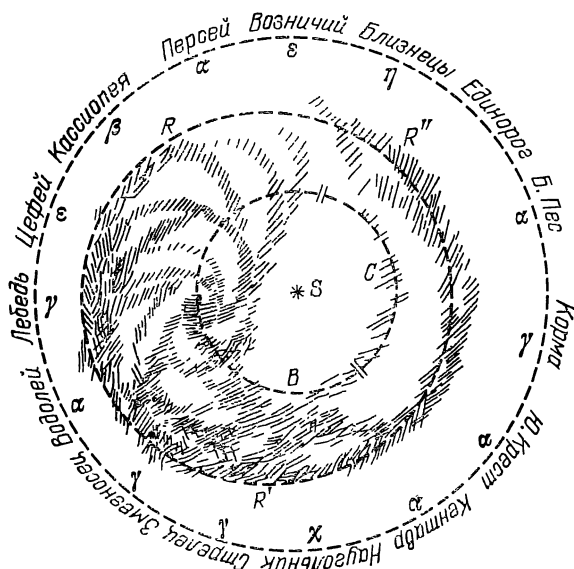


Рис. 62. Первая схема Галактики как спиральной системы, опубликованная Х. Истоном (Голландия) в 1900 г.

это звезды, главным образом красные гиганты и сверхгиганты класса М, в том числе долгопериодические переменные типа Миры Кита. Как полагают, здесь мазерное излучение возникает в расширяющейся оболочке, которая окружает звезду. По крайней мере часть таких источников — это зарождающиеся звезды...

Спиральный узор Галактики. Еще в 1852 г. профессор Принстонского университета Стивен Александер (США) высказал предположение, согласно которому Млечный Путь представляет собой систему спиральных ветвей, исходящих из центра, в котором находится Солнце, а также все ярчайшие звезды неба.

В 1900 г. астроном-любитель из Голландии Х. Истон опубликовал схему, изображающую нашу Галактику как спиральную туманность (рис. 62), центр которой будто бы находится в направлении созвездия Лебедя, тогда как Солнце расположено примерно на одной трети расстояния от центра до края системы. Истон писал, что уже упомянутая выше кольцевая модель Галактики «несовместима с современным состоянием наших знаний о Галактике как явлении», и высказал убеждение, будто нет основания надеяться на решение загадки строения Вселенной в ближайшем будущем...

В 40-х годах неоднократно высказывались догадки, что наша Галактика имеет спиральные ветви. В 1951 г. американские астрономы У. Морган, С. Шарплесс и Д. Остерброк, определяя спектральными методами расстояния до горячих звезд, возбуждающих свечение близлежащих газовых туманностей, установили существование спиральных ветвей в Галактике. Этот результат был подтвержден наблюдениями В. Ф. Газе, И. М. Копылова и Б. Е. Маркаряна (СССР), причем два последних автора изучали распределение в пространстве группировок горячих звезд. Принято говорить о рукавах Персея, Ориона — Лебедя (в котором находится Солнце) и рукаве Стрельца — Киля: трех отрезках спиралей, наблюдающихся с Земли.

Многообещающим казался метод, основанный на регистрации излучения нейтрального водорода на длине волны 21,11 см (с. 253) И в самом деле, уже в 1954 г. Х. ван де Хюлст и Я. Оорт по данным радиоастрономии построили картину распределения нейтрального водорода в Галактике. Создалось впечатление, что он концентрируется в виде облаков в спиральных ветвях, что вполне согласовывалось с общими соображениями о возрасте горячих звезд, образующихся в рукавах.

Тем не менее вскоре возникли сильные сомнения в правильности этой картины. Дело здесь в следующем. Наблюдения в линии 21 см проводятся при различной ориентации антенны радиотелескопа вдоль галактической плоскости. В каждом из направлений регистрируется несколько компонент, смещение которых от «нулевого положения» в соответствии с формулой (3.3) позволяет определить лучевую скорость облака. Очевидно, что эта скорость будет наибольшей для облака, находящегося ближе всего к центру Галактики, точнее, это будет круговая скорость облака. По известному расстоянию от центра до Солнца и угловому расстоянию облака от центра нетрудно найти расстояние

облака от Солнца и от центра (рис. 63). Далее можно определить расстояния и других облаков.

Однако вовсе ниоткуда не следует, что упомянутое облако находится как раз на кратчайшем расстоянии от центра Галактики. Далее, ниоткуда не следует, что оно движется по круговой орбите. Поэтому, как отмечает

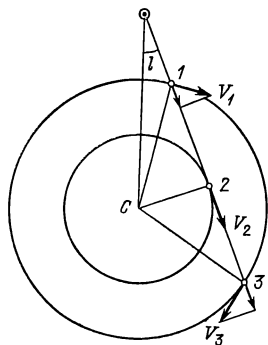


Рис. 63. Зависимость лучевой скорости облака нейтрального водорода от его расстояния до центра Галактики C при заданной галактической долготе l

Ю. Н. Ефремов, «у разных исследователей получались плохо согласующиеся результаты» и... «Поэтому приходится признать, что в последние годы наши представления о строении Галактики стали значительно менее уверенными. Приходится отступить и перегруппировывать силы, прежде чем двинуться вперед». В целом же «в исследовании спиральной структуры Галактики мы оказались отброшенными назад ...».

НА ПЕРЕКРЕСТКАХ МЛЕЧНЫХ ПУТЕЙ

И все же это галактики! Как уже отмечалось, наблюдая многочисленные туманности, В. Гершель вначале оптимистически называл их «млечными путями». Однако в процессе их дальнейшего изучения его мнение изменилось. В частности, он убедился в том, что целый ряд «млечных путей» на самом деле представляет собой истинные туманности, которые находятся в нашей Галактике. В конце своей жизни Гершель пришел к довольно-таки пессимистическому выводу: «Все, что за пределами нашей собственной системы, покрыто мраком неизвестности».

В начале XX в. уже было известно несколько тысяч туманностей самых разнообразных форм — планетарных, эллиптических, спиральных. В частности, трудно было установить, какие из них находятся внутри нашей Галакти-

ки, какие — за ее пределами. Не удивительно поэтому, что некоторые астрономы были убеждены, будто спиральные туманности — это всего лишь будущие планетные системы, находящиеся в стадии формирования. Для такого утверждения как будто имелись определенные «объективные доказательства» ...

Так, например, в 1907 г. шведский астроном К. Болин осуществил целую серию измерений тригонометрического параллакса туманности Андромеды и установил, что расстояние до нее составляет будто бы всего ... 19 световых лет. Вскоре после этого американский астроном Вестон Мелвин Слайфер (1875—1969) исследовал спектр этой туманности и туманности в рассеянном звездном скоплении Плеяды. Вывод был следующий: «Эти наблюдения туманности в Плеядах привели меня к мысли, что туманность Андромеды и аналогичные спиральные туманности могут состоять из центральной звезды, окруженной и затемненной клочковатой и разреженной материей, которая сияет отраженным светом центрального солнца. Эта концепция согласуется со спектрограммами туманности Андромеды, а также оценкой ее параллакса, сделанной Болиным».

То же утверждал и Дж. Рейнольдс (Англия), исследовавший цвета отдельных деталей спиральных туманностей: «С точки зрения наблюдений нет никаких оснований считать аморфные туманные образования реальной совокупностью звезд; фактически все данные фотографии говорят против этого ... Что же касается природы спиральных туманностей, то правильнее всего было бы признать их пока непознаваемыми».

Попытки установить расстояния до этих туманностей продолжались. В 1913 г. Э. Герцшпрунг, используя установленную Г. Ливитт зависимость период — светимость для цефеид, оценил расстояние до Малого Магелланова Облака в 33 000 световых лет. По тем временам это было весьма внушительной величиной, существенно превышавшей принятые тогда размеры Галактики. Случайно ли при печатании статьи Герцшпрунга один ноль в этом числе был потерян или редактор «на всякий случай» убрал его, сказать трудно. Но ясно одно: астрономы выходили уже на просторы внегалактического мира...

В 1917 г. Г. Кертис открыл новую звезду в галактике NGC 4227 и две в NGC 4321, в следующем — несколько новых в Туманности Андромеды. Полагая, что в максимуме они имеют такой же блеск, как и новые в нашей Галактике,

Кертис оценил расстояние до Туманности Андромеды в 500 000 световых лет. Отсюда следовал вывод, что эта и другие спиральные туманности находятся далеко за пределами нашей Галактики.

С этим выводом не соглашался Х. Шепли, и его рассуждения также выглядели вполне логично. Предположим, говорил он, что Туманность Андромеды имеет такие же размеры, как и наша Галактика (300 000 световых лет по его оценке). Тогда, зная ее угловые размеры, находим, что расстояние до этой туманности составляет 10 млн световых лет! Но тогда непонятно, почему новые звезды в Туманности Андромеды более яркие, чем в нашей Галактике. Если же яркость новых в Туманности Андромеды и в нашей Галактике одинакова, то отсюда следует, что Туманность Андромеды в 20 раз меньше нашей Галактики.

Было также непонятно, почему спиральные туманности практически не наблюдаются вблизи Млечного Пути. Казалось бы, если они являются внегалактическими объектами, то их распределение в пространстве не должно зависеть от строения нашей звездной системы.

26 апреля 1920 г. в Национальной академии наук США произошла известная дискуссия между Шепли и Кертисом. Кертис отстаивал точку зрения, по которой «спиральные туманности — не внутригалактические объекты, а островные вселенные, подобные нашей собственной Галактике». Шепли утверждал противоположное: «... факты противоречат тому, что спиральные туманности являются галактиками звезд, сравнимыми с нашей собственной. Пока нет никакой причины отказываться от гипотезы, что спиральные туманности вообще не состоят из звезд, а представляют собой истинно туманные объекты».

По словам О. Струве, хотя представления Кертиса о природе спиральных туманностей были безусловно близкими к истине, доказать это тогда было невозможно. «Ни один из них не убедил другого, остальные же астрономы тем более не могли сделать окончательный выбор между двумя точками зрения».

Природу спиральных туманностей окончательно установил Э. Хаббл, который в конце 1923 г. обнаружил в Туманности Андромеды первую, а вскоре еще несколько цефеид. Оценив их видимые величины и периоды, Хаббл нашел, что расстояние до этой «туманности» составляет 900 000 световых лет. После этого стало ясно, что спиральные туманности — это гигантские звездные системы, находящиеся на огромных расстояниях от нашей Галактики.

Но и после открытий Хаббла некоторых астрономов мучили сомнения, а сами расстояния до этих звездных систем еще предстояло уточнить. Сегодня расстояние до галактики М 31 (Туманности Андромеды) принимается равным 2,3 млн световых лет, а это более чем в 20 раз превышает размеры нашей Галактики ...

Многообразие мира галактик. Мир галактик, открытый столь недавно, оказался неисчерпаемо многообразным относительно форм входящих в него объектов. Уже в 1925 г. Хаббл предложил классификацию галактик, разделив их на три группы: *эллиптические* (E), *спиральные* (S) и *неправильные* (Ir), причем для удобства описания он предложил называть галактики Sa «ранним» типом спирали, а галактики Sc — «поздним» типом. Поскольку же кроме «обычных»

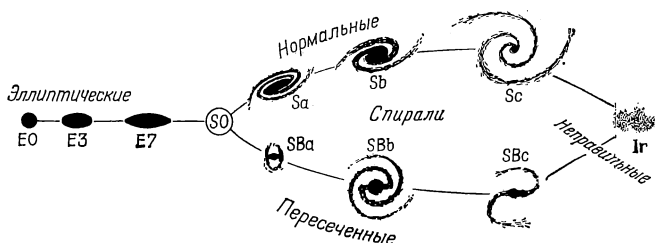


Рис. 64. «Камертонная диаграмма» Хаббла

спиралей наблюдаются спирали с диаметральной перемычкой, эти последние им были расположены параллельно первым и обозначены соответственно SBa, SBb и SBc (SB — сокращение слов *spiral barred*, т. е. «пересеченные спирали»). Эта схема получила название *камертонной диаграммы Хаббла* (рис. 64).

В 1957 г. советский астроном Б. А. Воронцов-Вельяминов (род. 1904 г.) открыл существование «взаимодействующих галактик» — галактик, связанных «перемычками», «хвостами», а также «гамма-формы», т. е. галактики, у которых одна спираль «закручивается», тогда как другая «раскручивается». В 1959 г. он опубликовал атлас и каталог 355 взаимодействующих галактик. Под его руководством группа сотрудников Астрономического института им. П. К. Штернберга подготовила «Морфологический каталог галактик» (изд. 1961, 1972 и 1974 гг.), в который вошло всего 30 000 галактик ярче 17^м.

В 1964 г. Ф. Цвикки открыл *компактные* галактики, размеры которых составляют всего около 3000 световых лет. Через год Г. Арп (США) обнаружил звездные систе-

мы — галактики с поперечником всего 200 световых лет. По своему внешнему виду они практически не отличаются от звезд нашей Галактики.

Немало удивления вызвало открытие активности галактик. Так, в 1943 г. Карл Сейферт (США) обратил внимание на несколько галактик, обладающих яркими звездообразными ядрами, в спектрах которых заметны широкие эмиссионные линии, что говорит о мощных движениях газа со скоростями в несколько тысяч километров в секунду. В 1956 г. мексиканский астроном Гильермо Аро (род. 1913 г.) сообщил об открытии им галактик, для которых характерно избыточное высвечивание в фиолетовой части спектра. Дальнейший анализ показал, что в них содержится много звезд, излучающих в сотни тысяч и миллионы раз больше энергии, чем Солнце. Важные результаты в изучении галактик с ультрафиолетовым избытком в спектрах получены, начиная с 1963 г., Б. Е. Маркаряном. Примерно половина из более чем 1000 галактик Маркаряна — это, по-видимому, галактики с относительно высокой концентрацией звезд — горячих гигантов. Природа остальных, вероятно, как-то обусловлена активностью их ядер.

Красное смещение. Начиная с 1912 г., В. Слайфер проводил систематическое определение лучевых скоростей слабых спиральных туманностей. Рассуждения его были такими: если эти объекты находятся за пределами нашей Галактики, то все они, вместе взятые, могут быть отличными «опорными точками», которые могли бы помочь непосредственно обнаружить движение Солнца вокруг центра Галактики.

К 1925 г. всего были изучены спектры 41 объекта. Оказалось, что Туманность Андромеды приближается к нам со скоростью около 300 км/с (т. е. ее скорость считается отрицательной), примерно такова же скорость и туманности М 33 в Треугольнике и еще трех туманностей. Остальные туманности удалялись от нас со скоростями от 375 до 1125 км/с. Это, вероятно, и было причиной того, почему Слайфер одним из первых пришел к заключению, что спиральные туманности являются далекими внегалактическими звездными системами. Кстати, уже в 1913—1915 гг. он установил факт вращения нескольких галактик, в том числе галактики NGC 4594 из созвездия Девы и М 31.

Немногим позже, в 1927 г., Я. Оорт доказал, что упомянутая скорость приближения к нам галактик М 31 и М 33 является на самом деле отражением движения Солнца вокруг центра Галактики. Реальные же скорости сближения

этих галактик с нашей оказались гораздо меньшими — от 6 до 68 км/с.

Между тем, оценив в 1919 г. расстояние до галактики М 31 (тогда еще «туманности»), К. Лундмарк стал определять расстояния и до других спиральных туманностей, справедливо полагая, что эти расстояния тем больше, чем меньше угловой диаметр объекта. В 1924 г. немецкий астроном Карл Вильгельм Виртц (1876—1939) обнаружил, что у более слабых галактик, имеющих меньшие угловые размеры, лучевые скорости больше. Он предположил даже, что тем самым подтверждается правильность космологической модели нидерландского астронома Виллема де Ситтера (1872—1934) (с. 301), в которой скорость удаления объектов должна увеличиваться с их расстоянием. Результаты Виртца

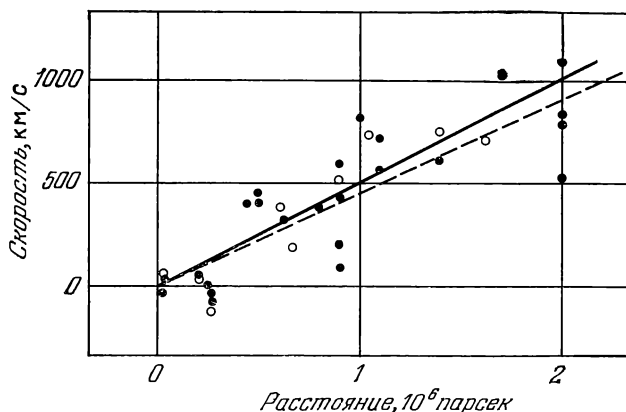


Рис. 65. Зависимость лучевая скорость — расстояние для близких галактик по Э. Хабблу (штриховая линия — по данным 1929 г., сплошная линия — по данным 1936 г.)

были перепроверены Лундмарком и Г. Стрёмбергом и ... не были подтверждены. Стрёмберг даже заявил в 1925 г., что «не существует зависимости лучевых скоростей от расстояния от Солнца» ...

На самом деле упомянутые астрономы не имели уверенных данных о расстояниях до галактик: ведь как диаметры, так и светимости у разных галактик сильно различаются между собой. Иначе, как уже отмечалось, подошел к этой проблеме Хаббл: он в каждой из исследуемых галактик выискивал сходные объекты — цефеиды, ярчайшие звезды, новые в максимуме блеска. Так, к 1929 г. ему удалось уточнить расстояния 18 галактик и галактического скопления в

созвездия Девы, находившихся на расстоянии менее 2 Мпк (=6,5 млн световых лет; Мпк — мегапарсек, миллион парсек). Сопоставив лучевые скорости этих объектов с их расстояниями, Хаббл получил удивительный результат (рис. 65): лучевые скорости v возрастали прямо пропорционально расстояниям до галактик r . Сказанное было записано в виде простой формулы

$$v = Hr \quad (4.2)$$

— закона Хаббла; введенный позже коэффициент H получил название *постоянной Хаббла* (сам Хаббл обозначал ее v/r), ее значение в 1929 г. он оценил в 500 км/(с·Мпк), а в 1935 г. по данным о расстояниях до 29 близких галактик, находящихся за пределами Местной группы, в 535 км/(с·Мпк).

Вначале Хаббл при пересмотре найденной им зависимости в каждой из 29 упомянутых галактик определял звездные величины m самых ярких звезд. Полагая, что их светимости во всех галактиках одинаковы, он получал, что сами эти звездные величины должны быть функцией расстояния, т. е. зависеть от скорости удаления галактики v . При переходе к галактикам с еще бóльшим красным смещением выделить отдельные звезды уже не представлялось возможным, и Хаббл поступал следующим образом. Поскольку галактики объединяются в скопления, насчитывающие по нескольку сотен членов, он принимал, что самая яркая галактика в скоплении имеет ту же светимость, что и наша Галактика. Как и раньше, налицо была та же прямая пропорциональность между лучевой скоростью объекта и расстоянием до него.

Тем самым астрономы получили метод установления расстояний r до внегалактических объектов, для которых измерены смещения линий в спектре $\Delta\lambda$. Комбинируя формулы (3.3) и (4.2), находим, что

$$r = \frac{c}{H} \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{c}{H} z, \quad (4.3)$$

где $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ — красное смещение в спектре объекта.

Из формулы (4.2) следует, что $t_H = \frac{r}{v} = \frac{1}{H}$ — это время, за которое данная галактика пройдет расстояние, отделяющее ее от наблюдателя, или, поскольку t_H будет одним и тем же для всех галактик, это — время, истекшее от момента, когда все вещество галактик было сконцентрировано «в

одной точке». Скорости «разлета» галактик достигают, как это известно теперь, сотни тысяч км/с. Поэтому создается впечатление, что какое-то время назад, равное t_H , произошел гигантский взрыв, который и дал начало развитию Вселенной в ее современном виде.

Драматизм ситуации в 30-е годы усугублялся тем, что в то время значение постоянной Хаббла принимали равным 535 км/(с·Мпк). Отсюда следовало

$$t_H = \frac{3,26 \cdot 10^{22}}{535 \cdot 3,16 \cdot 10^7} \approx 1,8 \text{ млрд лет,}$$

где $3,26 \cdot 10^{22}$ — число километров в мегапарсеке, $3,16 \cdot 10^7$ — число секунд в году. Получалось так, будто Вселенная начала расширяться всего около 2 млрд лет назад. Но тогда уже было точно установлено, что возраст Земли как планеты в два раза больше!

Поэтому в течение около 30 лет были произведены попытки найти какое-то другое объяснение эффекта красного смещения. Наиболее примечательной здесь была гипотеза «старения» фотонов, высказанная в 1929 г. А. А. Белопольским. Он предположил, что частота (а следовательно, и энергия) фотонов по мере их движения в пространстве убывает, причем изменение частоты пропорционально пройденному расстоянию. Физического обоснования эта гипотеза, как и некоторые ее модификации, не получила. Между тем благодаря развитию радиоастрономии было доказано постоянство отношения $\Delta\lambda/\lambda$ по всему спектру.

Мир галактик действительно расширяется. Это расширение описывается с помощью космологических моделей, построенных на основе общей теории относительности (с. 299). Противоречие же между величиной t_H , найденной в 30-е годы, и возрастом Земли (и тем более Галактики) устранено после пересмотра шкалы внегалактических расстояний, т. е. после уточнения значения постоянной Хаббла. О том, как это происходило, читатель может узнать из книг В. А. Бронштэна «Гипотезы о звездах и Вселенной» и Ю. Н. Ефремова «В глубины Вселенной». Мы ограничимся здесь замечанием, что сейчас наиболее вероятным значением постоянной Хаббла H считается 55 км/(с·Мпк) и что поэтому t_H составляет около 15 млрд лет.

От «радиозвезд» до квазаров. В 1946 г. Дж. Хей, С. Парсонс и Дж. Филлипс (Англия) обнаружили в созвездии Лебедя мощный *дискретный*, т. е. точечный или практически точечный, источник радионизлучения, который получил название «Лебедь А». Вскоре выяснилось, что таких источников

в окружающей нас Вселенной довольно много. Поэтому радиоастрономы начали работу над составлением каталогов этих объектов. Уже в 1950 г. был опубликован Первый Кембриджский каталог (его обозначение 1С), в котором были приведены координаты 50 радиоисточников с точностью до 1° . Через пять лет появился второй, а в 1959 г. — третий Кембриджский каталог (3С). В последнем насчитывался 471 источник. Работа выполнена под руководством Мартина Райла (род. 1918 г.).

Вначале было высказано предположение, что источники радиоизлучения — «радиозвезды» — это объекты, подобные обычным звездам, но отличаются они низкой поверхностной температурой, а поэтому излучают основную часть энергии в радиодиапазоне.

Однако на основании оценок потока энергии от «радиозвезд» приходилось делать вывод, что их в Галактике в десять раз больше, чем обычных звезд, что их массы не превышают $0,1 M_\odot$. Очень скоро от этой гипотезы пришлось отказаться. Между тем проводилась исключительно трудная работа по отождествлению точечных радиоисточников с оптическими объектами.

В 1960 г. Т. Метьюз и А. Сендидж отождествили радиоисточник 3С 48 со слабым звездообразным объектом 16^m , который они обнаружили на фотографической пластинке, полученной при помощи 5-метрового телескопа. В спектре этой «звезды» были обнаружены интенсивные эмиссионные линии, длины волн которых не совпадали с положением в спектре линий известных химических элементов. Через два года они же отождествили радиоисточник 3С 286 со звездой 17^m . Со спектром повторилась та же история, к тому же объект в ультрафиолетовой области спектра был на целую звездную величину ярче, чем в фотографической.

В 1963 г. К. Хазард, М. Маккей и А. Шиминс (Австралия), наблюдая покрытие радиоисточника 3С 273 Луной, определили координаты этого источника и установили, что он является двойным. Одна из его компонент была отождествлена со звездой 13^m , другая компонента — с продолговатой туманностью в виде струи, расположенной на угловом расстоянии $19,5''$ от первой. Изучая спектр «звезды», голландский астроном Маартен Шмидт, работавший на Паломарской обсерватории, обнаружил, что четыре из шести эмиссионных линий принадлежали бы бальмеровской серии атома водорода, если бы ... сдвинуть их в фиолетовую сторону на величину $z=0,16$. Вскоре Дж. Гринстейн отождест-

вил линии в спектре ЗС 48 и нашел для него $z=0,37$. Так Шмидт установил, что в спектрах квазаров налицо красное смещение.

Но ведь именно такое явление наблюдается в спектрах других галактик! Отсюда следовало, что *квазары* (т. е. квазизвездные радиоисточники) являются внегалактическими объектами и что их расстояния можно определять с помощью формулы (4.3). После этого уже нетрудно рассчитать и светимости объектов. Они оказались поистине фантастическими: $L=10^{45}-40^{47}$ эрг/с — в сотни раз больше светимости нашей Галактики с ее сотней миллиардов звезд!

Как только объект ЗС 273 был отождествлен, А. С. Шаров и Ю. Н. Ефремов (СССР) по пластинкам Московской обсерватории проверили, каким был его блеск на протяжении более чем 65 лет. Оказалось, что он изменялся в пределах от $12,0^m$ до $12,7^m$, причем были обнаружены и сравнительно быстрые (на протяжении нескольких суток) его колебания на $0,2^m-0,3^m$. Этот результат был подтвержден и американскими астрономами: Х. Смит и Д. Хоффлейт обнаружили колебания блеска ЗС 273 с амплитудой в $0,6^m$ на протяжении 10 лет и с меньшей амплитудой с периодом около недели.

По упомянутым короткопериодическим колебаниям блеска и был оценен размер объекта — одна световая неделя, т. е. $300\,000 R_{\odot}$. И если только 10-летние колебания блеска обусловлены пульсациями объекта, то его масса, по оценке Х. Смита и Д. Хоффлейт, должна находиться в пределах $10^6-10^7 M_{\odot}$.

Раньше чем признать квазары внегалактическими объектами, ученые рассматривали другие варианты. Первый — красное смещение квазара обусловлено сильным гравитационным полем объекта (с. 296). Но, как показал сразу же в 1964 г. Г. Бонди, в случае устойчивых сверхмассивных тел значение z не может превышать 0,62, тогда как у уже известных квазаров оно в ряде случаев было больше 1,0. В том же году Дж. Террел предположил, что квазары были выброшены из нашей Галактики. Однако наблюдения не дают никаких свидетельств ее столь бурной активности. В 1966 г. Ф. Хойл и Дж. Бербидж предложили гипотезу, по которой квазары — это продукты выброса из сравнительно близких радиогалактик. Но тогда непонятно, почему не наблюдаются квазары с фиолетовыми смещениями линий в спектре.

В 1964 г. Дж. Оук на обсерватории Маунт Вилсон исследовал распределение энергии в спектре объекта ЗС 273

и оценил его эффективную температуру в 16 000 К. Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков (СССР), исходя из величины светимости упомянутого объекта и из соображений стационарности плазмы под действием сил тяготения и лучистого давления, оценили массу квазара в $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$. Предполагая, что волокно, наблюдающееся вблизи 3C 273, движется с наибольшей возможной скоростью c , нетрудно было оценить нижний предел возраста квазара — 200 000 лет.

В последующие годы число публикаций, в которых обсуждались проблемы строения и источников энергии квазаров, превысило все мыслимые пределы. Тогда-то Джеффри и Маргарет Бербиджи заметили, что существует так много противоречивых идей относительно теории и интерпретации наблюдений квазаров, что по крайней мере 95 % из них неправильные ...

Оказалось, что, кроме квазаров в пространствах Вселенной, существует и иной тип объектов, во многом очень похожих на квазары, но не имеющих заметного радиоизлучения. Это *квазаги* — «квазизвездные галактики». Открыл их в 1965 г. А. Сендидж. Сначала он по весьма немногочисленным данным пришел к разительному выводу: число квазагов в 500 раз больше, чем квазаров. Через два года это соотношение им же было пересмотрено и уменьшено в пять раз. Сейчас предполагается, что квазар — всего лишь краткая фаза в жизни квазага, а тот и другой являются ядрами галактик! В последние годы при наблюдениях квазаров солнечными внеатмосферными коронографами у некоторых квазаров обнаружены слабо светящиеся гало — туманные оболочки, напоминающие периферийные части «обычных» галактик. Таким образом, казавшаяся лет десять назад безнадежно сложной проблема природы этих объектов как будто находит свое решение. Остается другая — загадка самих ядер галактик, о чем уже говорилось выше ...

О МОДЕЛЯХ ВСЕЛЕННОЙ

Фундамент современной космологии. *Космология* — часть астрономии, изучающая свойства всей наблюдаемой части Вселенной, в частности путем построения *космологических моделей*. Построить же космологическую модель — значит с помощью формул или графиков показать, как будут изменяться со временем расстояния между произвольно взятыми «частицами» (галактиками), а также описать, как изменяются параметры вещества, какие процессы (превращение элементарных частиц, синтез химических элементов и

др.) происходят во Вселенной в различные моменты времени и т. д.

Основой современной космологии является общая теория относительности, созданная А. Эйнштейном в 1906—1915 гг. в некоторой степени совместно с математиком Марселем Гроссманом. Примечательно, что еще в 1907 г. в своем письме Эйнштейн писал: «... я занят созданием релятивистской теории закона тяготения, с помощью которой я надеюсь найти причину пока необъяснимого смещения перигелия Меркурия». Тем не менее удача пришла не сразу.

Из уравнений теории, содержащихся в работе Эйнштейна — Гроссмана (1913 г.), смещение перигелия для Меркурия достигало всего $18''$ в столетие. И в письме к Арнольду Зоммерфельду в ноябре 1915 г. Эйнштейн признал, что его прежние уравнения поля «совершенно несостоятельны». Но уже в декабре того же года теория сформулирована в окончательном виде, и ее автор мог сообщить: «Результат, касающийся смещения перигелия Меркурия, наполняет меня глубоким удовлетворением».

Как известно, Эйнштейн сразу же указал три следствия, вытекающие из общей теории относительности: 1) световой луч, проходящий вблизи тела с массой \mathfrak{M} и радиусом R , отклоняется от прямолинейного пути на угол

$$\beta = \frac{4G\mathfrak{M}}{c^2 R},$$

который для Солнца составляет $\beta \approx 1,75''$;

2) перигелий планеты, которая движется вокруг центральной массы \mathfrak{M} , смещается в направлении движения планеты на угол

$$\varphi = \frac{6\pi G\mathfrak{M}}{c^2 (1 - e^2) a} \text{ рад},$$

где a — большая полуось эллипса, e — эксцентриситет орбиты. В Солнечной системе этот эффект наибольший для Меркурия: $43''$ в 100 лет. Наконец,

3) спектральные линии света, излучаемого поверхностью тела с массой \mathfrak{M} и радиусом R , смещаются в красную сторону на величину

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{G\mathfrak{M}}{c^2 R}.$$

Для Солнца при $\lambda = 4000 \text{ \AA}$ это дает лишь $\Delta\lambda = 0,008 \text{ \AA}$. В спектрах же звезд белых карликов, у которых $R \approx 0,01 R_{\odot}$, смещение $\Delta\lambda$ намного больше.

Все эти эффекты подвергались неоднократной проверке. Совпадение теории с наблюдениями можно считать удовлетворительным (в пределах погрешностей наблюдений).

В 1972—1974 гг. в полном соответствии с теорией отмечено запаздывание радиолокационных сигналов, отраженных от Меркурия и Венеры (измерение проводилось группой ученых США под руководством И. Шапира), а также отклонение радиоволн, проходивших в гравитационном поле Солнца к Земле от космических аппаратов «Маринер-6 и 7».

Как известно, при построении общей теории относительности А. Эйнштейн исходил из принципа, что падение тел в

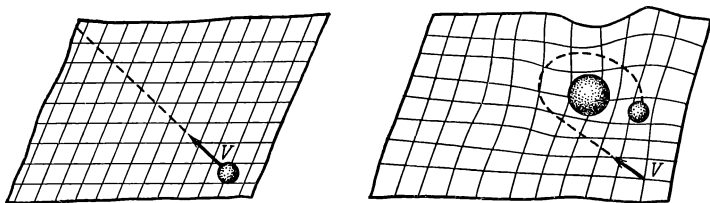


Рис. 66. Моделирование пространства-времени с помощью резиновой мембраны, на которой установлена тяжелая масса

гравитационном поле можно рассматривать как их свободное движение по геодезическим линиям в четырехмерном пространстве-времени. В качестве примера обычно приводится горизонтально натянутая резиновая пленка, по которой движется легкий шарик (рис. 66). Если на пленку положить тяжелое тело, то под действием его веса пленка прогнется и шарик, ранее двигавшийся по прямой, будет скатываться к тяжелому телу, что можно назвать «притягиванием». Теория сформулирована на языке тензорного исчисления, для каждого же конкретного случая уравнения Эйнштейна сводятся к шести независимым дифференциальным уравнениям второго порядка. Читателя, интересующегося этими вопросами, отсылаем к специальной литературе, в частности к книгам Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица «Теория поля» (М.: Наука.— 6-е изд., 1973) и А. Ф. Богородского «Всемирное тяготение» (Киев: Наукова думка, 1971), а также к нашей «Релятивистской астрономии» (М.: Наука, 1983). Здесь же ограничимся замечанием, что из теории Эйнштейна в 1916 г. М. Шварцшильд получил так называемое внешнее решение — описание свойств пространства и времени вблизи гравитирующей массы M . Это — все три уже перечисленные выше следствия, но, кроме того, и поня-

тие о гравитационном радиусе тела, или радиусе сферы Шварцшильда R_g :

$$R_g = \frac{2G\mathfrak{M}}{c^2}. \quad (4.4)$$

В «переводе» на язык классической механики радиус сферы Шварцшильда — это такое расстояние от центра массы \mathfrak{M} , на котором, будь она «сжата в точку», сила, действующая на пробную частицу массы m , достигает бесконечно большого значения. Выражение для силы F можно представить в виде

$$F = \frac{G\mathfrak{M}m}{r^2 \sqrt{1 - \frac{2G\mathfrak{M}}{c^2 r}}}. \quad (4.5)$$

Отсюда, как видим, следует $F \rightarrow \infty$ при $r \rightarrow R_g$.

Любопытно, что выражение (4.4) можно получить исходя из самых элементарных соображений, и это сделал Лаплас еще в 1798 г. Известно, что если $\varphi = \frac{G\mathfrak{M}}{r}$ — гравитационный потенциал, то $A = m\varphi$ — это работа, которую необходимо произвести, чтобы перенести частицу массы m с расстояния r на бесконечность. Очевидно, что масса m оставит поверхность тела массой \mathfrak{M} и радиусом R , если ее бросить отвесно вверх с такой скоростью v , при которой ее кинетическая энергия $W_k = \frac{mv^2}{2}$ станет равной или больше потенциальной энергии, т. е. при $\frac{v^2}{2} \geq \frac{G\mathfrak{M}}{R}$. Значение радиуса тела, при котором эта скорость станет равной скорости света, и есть R_g . Лаплас писал, что «звезда с плотностью, равной плотности Земли, и диаметром, в 250 раз большим диаметра Солнца, не дает никакому световому лучу достичь нас благодаря своему тяготению, а потому не исключено, что самые яркие тела во Вселенной по этой причине невидимы». А потому, что они невидимы, их можно назвать черными дырами! Существование этих объектов — «неминуемое» следствие общей теории относительности. Прямых доказательств того, что черные дыры уже обнаружены, пока все же нет, хотя несколько «кандидатов» имеется ... Кстати, А. Эйнштейн в 1939 г. опубликовал статью, в которой доказывал, будто бы вещество не может сжаться внутрь сферы Шварцшильда. Однако в том же году американский физик Роберт Оппенгеймер (1904—1967) вместе со своими сотрудниками пришел к выводу, что, наоборот, черная дыра — естественный «конец» катастрофического сжатия массивной звезды.

Мозаика моделей. Французский ученый Анри Пуанкаре (1854—1912) однажды высказался так: «Невозможно наблюдать картину звездной Вселенной, не задавая себе вопрос, как она создалась». И мы уже видели, что в каждую историческую эпоху люди стремились составить определенные представления о структуре и эволюции Вселенной, т. е. построить определенную космологическую модель исходя из общей совокупности знаний о природе, накопленных усилиями предыдущих поколений.

Однако без преувеличения можно сказать, что лишь в XX в. стало возможным осмыслить как всю грандиозность, так и сложность этой проблемы. Ведь сегодня расстояния, на которые человек проник при помощи телескопов, составляют 10 млрд световых лет, т. е. около 10^{28} см. В этих беспредельных пространствах видимого нами «астрономического» мира насчитывают миллиарды галактик, каждая из которых в свою очередь представляет собой скопление миллиардов звезд.

В 1977 г. группой ученых под руководством Я. Э. Эйнасто (СССР) в распределении скоплений галактик в пространстве были обнаружены своеобразные «дыры» или «пустоты». Точнее это распределение образует пористую структуру. Однако диаметр наибольшей из известных «черных областей» по крайней мере в 30 раз меньше расстояния, до которого изучается мир галактик с помощью современных телескопов. Поэтому астрономы сегодня пришли к выводу, что в больших масштабах «в среднем» Вселенная однородна, что никакой «иерархической» структуры в ней, по-видимому, не существует. Иначе говоря, астрономическая Вселенная является *изотропной*: ее наиболее характерные черты одинаковы во всех направлениях.

Далее, по оценкам средняя плотность вещества во Вселенной $\rho \approx 10^{-29} - 10^{-30}$ г/см³. Предположим, что пространство является евклидовым. Тогда масса, которая содержится в шаре радиуса r , равна $M = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho$. Пользуясь формулой (4.4), определим гравитационный радиус этой массы:

$$R_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{8}{3} \pi G \rho^{-1} r^3.$$

Теперь убедимся в том, что на некотором расстоянии r достигается равенство $r = R_g$. Это будет именно при

$$r = \left(\frac{3c^2}{8\pi G \rho} \right)^{1/2} \approx 10^{28} \text{ см},$$

т. е. на расстояниях, которые уже достигаются современными телескопами! С другой стороны, как было отмечено, на расстояниях, где $r \approx R_g$, теорию Ньютона использовать уже нельзя. Вот почему теория относительности логически стала фундаментом современной космологии.

Исходя из однородности Вселенной в больших масштабах, при построении космологических моделей дискретное распределение массы, которое проявляется в форме галактик, «заменяется» непрерывным. Другими словами, используют представление, согласно которому плотность вещества во Вселенной в каждый момент времени везде одинакова.

Тот важный факт, что Вселенная во всех своих частях однородна, дает возможность сделать вывод, что законы развития таких частей одинаковы. Именно на этом основании для всех частей Вселенной вводится единое *мировое* (космическое или *космологическое*) время. Поэтому, в частности, если плотность вещества и давление во Вселенной изменяются, то они зависят лишь от космологического времени. Математически это записывается так: $\rho = \rho(t)$. В этом — сущность *космологического принципа*.

Изучение спектров галактик показало, что Вселенная расширяется. При этом идет речь не о движении галактик в пространстве, а о расширении самого пространства. Для иллюстрации этого приводят шар, на котором нанесено множество точек. При раздувании шара расстояние между двумя произвольно взятыми точками увеличивается. Но все они, эти точки, равноправны, а, во-вторых, все они сохраняют свое положение относительно вещества шара («относительно конкретных точек пространства»). Это обстоятельство позволяет связать с каждой такой точкой так называемую *сопутствующую систему координат*, относительно которой эта точка неподвижна.

Поверхность шара, о которой говорилось выше, — пример пространства двух измерений, к тому же — замкнутого и безграничного. Первое говорит о *метрических* его свойствах, второе — о *топологических*.

И вот еще в 1900 г., можно сказать — задолго до создания общей теории относительности, К. Шварцшильд высказал предположение о том, что Вселенная, как и поверхность шара, замкнута: отправившись в направлении какой-то галактики и двигаясь «прямолинейно», путешественник спустя t_0 миллиардов лет возвратился бы в нашу Галактику... с противоположной стороны (точно так же, как букашка, обойдя шарик, приползает в ту же точку, не встретив никакой границы).

Но это было всего лишь предположение, хотя и прозорливое. Нужна была теория, математические соотношения, с помощью которых можно было бы оценить, как изменяются расстояния между галактиками со временем, как они будут изменяться в далеком будущем. И первой такой работой была опубликованная в 1917 г. статья А. Эйнштейна «Вопросы космологии и общей теории относительности». Ее автор, однако, исходил из естественного для того времени предположения, что плотность и давление в каждой точке пространства Вселенной не изменяются во времени (Вселенная статична). А между тем уравнения общей теории относительности оказывались как бы несовместимыми с этим представлением. И Эйнштейн предположил, что сформулированные им ранее уравнения следует дополнить «космологическим членом» Λ . Так он получил замкнутую Вселенную, в которой световой луч возвращается к исходной точке за время около 70 млрд лет; в этом замкнутом мире насчитывалось бы примерно 1000 млрд галактик.

Отметим, что по своему содержанию *космологическая постоянная* Λ учитывает возможное существование в мире дополнительной силы (кроме силы тяготения), причем, если $\Lambda > 0$, то это будет сила отталкивания и наоборот.

Спустя два месяца после публикации работы А. Эйнштейна вышла из печати статья В. де Ситтера. Формально она содержала описание «пустой» Вселенной, т. е. случай, когда плотность и давление равны нулю. Забегая же вперед, скажем, что такое предположение вовсе не бессмысленно!

Важной особенностью модели де Ситтера является следующее. Наблюдатель, находящийся в произвольной точке $r=0$, регистрирует длину волны λ , отличную от длины волны λ_0 , излучаемой источником света на расстоянии r от нее. И второе: если в такую модель поместить несколько пробных частиц, то они будут «разбегаться» друг от друга, причем расстояние между ними будет возрастать по экспоненциальному закону

$$r = r_0 e^{At}, \quad (4.6)$$

где A — постоянная величина.

В 1922 г. была опубликована статья советского ученого А. А. Фридмана (1888—1925) «О кривизне пространства», через два года — еще одна «О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной». Тем самым были начаты исследования нестатических моделей Вселенной. А. Эйнштейн вначале усомнился в правильности полу-

ченных А. А. Фридманом результатов, но позже признал свою ошибку в их оценке. В 1931 г., когда теория динамической Вселенной приобрела широкое признание, он сказал: «Первым на этот путь стал Фридман»...

А. А. Фридман отказался от предположения о статичности Вселенной. Он получил решения, описывающие изменение со временем расстояния между двумя избранными материальными частицами. Как оказалось, свойства модели определяются значением средней плотности ρ . Если оно больше некоторого «критического» значения

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G}, \quad (4.7)$$

то, достигнув наибольшего удаления, галактики начнут сближаться. При $\rho < \rho_{\text{кр}}$ расширение мира галактик продолжается неограниченно. Все модели, у которых имеет

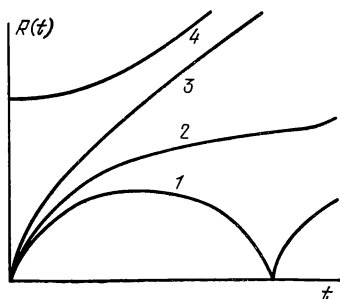


Рис. 67. Наиболее характерные космологические модели: 1 — пульсирующая модель, 2 — модель Леметра, 3 — модель Эйнштейна — де Ситтера, 4 — модель Эддингтона — Леметра

место изменение во времени расстояний между двумя произвольно взятыми материальными точками, называются *фридмановскими*, хотя каждая из них имеет еще и другое конкретное название (рис. 67).

В 1927 г. бельгийский астроном Жорж Леметр (1894—1966) также построил и изучил космологическую модель нестатического типа (повторно информация о ней была изложена в более распространенном издании в 1931 г.). В этой модели космологическая постоянная «чутьочку» больше того ее значения Λ_E , при котором, как это принял Эйнштейн, Вселенная находится в стационарном состоянии. Поэтому, если a_0 — расстояние между двумя галактиками в настоящее время (при $t=t_0$) и $R(t)$ — некоторая функция времени, или *масштабный фактор*, так что $a(t) = a_0 R(t)$, то в модели Леметра масштабный фактор изменяется от нуля неограниченно, но в течение некоторого вре-

мени Δt его значение изменяется несущественно: происходит как бы задержка, «застывание».

В 1932 г. была построена модель Эйнштейна — де Ситтера, для которой $\rho = \rho_{кр}$ и $\Lambda = 0$. Тогда же была предложена и модель Эддингтона — Леметра, здесь $\rho > \rho_{кр}$, а $\Lambda = \Lambda_E$. В этой модели также $R = R_E$ при $t = -\infty$ дальше с увеличением t масштабный фактор неограниченно возрастает.

Как раз в 30-е годы, когда постоянная Хаббла была «слишком велика», чтобы объяснить «разбегание галактик» простым расширением Вселенной (скажем, пульсирующей моделью или моделью Эйнштейна — де Ситтера), большой популярностью пользовалась модель Леметра. Интерес к ней снова повысился в 1967 г., когда по имевшимся в то время данным казалось, будто большинство квазаров находится на расстоянии $z=2$. Это соответствовало определенному возрасту квазаров и как бы доказывало, что раньше (при больших z) их еще не было, а позже (при $z < 2$) они превращаются в другие формы, скажем, в обычные галактики. Вскоре, однако, оказалось, что на самом деле упомянутой концентрации квазаров на расстоянии, соответствующем красному смещению $z \approx 2$, нет. Тем самым интерес к модели Леметра опять уменьшился.

Начиная с 1948 г. и на протяжении более десяти лет, на основе модели де Ситтера Фред Хойл (род. 1915 г.) с несколькими другими английскими астрономами разрабатывал модель «стационарной Вселенной». Предполагалось, что, несмотря на расширение по закону (4.6), плотность вещества во Вселенной поддерживается на одном и том же уровне за счет непрерывного его образования из особого «энергетического поля». После открытия реликтового радиоизлучения (см. ниже) авторы отказались от этого варианта ...

Вселенная «горячая» и «раздувающаяся». В 1946 г. Г. Гамов (1904—1968) впервые высказал предположение, что на раннем этапе своего развития наша Вселенная была очень горячей. Это экзотическое состояние, по Гамову, необходимо для объяснения происхождения химических элементов. Два года спустя была опубликована его статья совместно с Р. Альфером и Г. Бете, несколько позже — еще ряд статей как самого Г. Гамова, так и Р. Альфера и Р. Германа. Предполагалось, что на раннем этапе расширения Вселенной вся материя в ней состояла из смеси нейтронного газа и излучения (авторы дали ей название «илем» — «первичный хаос»). В процессе расширения происходил распад нейтронов на протоны, электроны и нейт-

рино, далее — захват нейтронов протонами с образованием сложных атомных ядер. При этом температура в первую секунду после начала расширения составляла будто бы 15 млрд кельвинов, через 1000 с — 500 млн и далее резко уменьшалась по закону $T \sim t^{-1/2}$. Вначале также плотность излучения на семь (при $t=1$ с) порядков превышала плотность вещества. В дальнейшем первая изменяется по закону $\rho_r \sim t^{-2}$, тогда как вторая — по закону $\rho_m \sim t^{-3/2}$. Из всех этих расчетов следовало, что в наше время в мировом пространстве должны быть «остатки», фотоны этого столь мощного ранее излучения (позже И. С. Шкловский назовет их *реликтовыми*), соответствующие температуре 25 К.

Из расчетов, в частности, Р. Альфера и Р. Германа следовало, что к моменту окончания ядерных реакций (до $t=200$ с) образуется около 20 % (по массе) атомов гелия и около 0,6 % дейтерия. Тяжелые элементы образовываться практически не могли из-за отсутствия стабильных ядер с относительными атомными массами $A=5$ и 8.

Позже, в 1964 г., Ф. Хойл и Р. Тэйлер показали, что за все время существования Галактики количество гелия, образующееся в недрах звезд в результате термоядерного синтеза, составляет всего около 1 % всей массы Галактики, т. е. в 10—20 раз меньше наблюдаемого. Это послужило косвенным доказательством предположения, что Вселенная в прошлом была горячей (косвенным, так как можно придумать и какую-то другую схему образования гелия, скажем, в недрах сверхмассивных звезд, образующихся на ранних этапах формирования галактик).

В начале 1964 г. А. Г. Дорошкевич и И. Д. Новиков опубликовали статью, в которой была рассмотрена возможность регистрации упомянутого остаточного, или реликтового, излучения в радиодиапазоне. В то же примерно время в США группа сотрудников Принстонского университета под руководством Роберта Дикке разрабатывала теорию и готовила установку для поиска этого остаточного излучения. Но ... их опередили А. Пензиас и Р. Вильсон (США), которые с помощью 6-метровой рупорно-рефлекторной антенны, предназначенной для связи с искусственными спутниками Земли, на волне 7,35 м «всего лишь» занимались исследованием шумов, помех, мешающих связи ... Они-то и обнаружили постоянный шум, интенсивность которого (за вычетом привносимого земной атмосферой и отдельными блоками приемного устройства) соответствовала температуре 3,1 К. В 1966 г. английские радиоастроно-

мы Т. Хауэлл и Дж. Шейкшафт на волне 20,7 см оценили температуру этого реликтового излучения в 2,8 К, а в следующем году на волнах 49 и 73,5 см — в 2,7 К. Наблюдения были продолжены в сторону коротких волн, и в СССР на волне 8,2 мм А. Е. Саломонович, В. У. Пузанов и К. С. Станкевич оценили эту температуру в 2,9 К.

Так свершилось открытие. Стало очевидно, что примерно 15—19 млрд лет назад Вселенная вышла из состояния высокой плотности и фантастически больших температур. Были проанализированы всевозможные схемы превращения элементарных частиц, включая образование в их итоге изотопов гелия.

Важный вклад в разработку сценариев развития картины был внесен Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым (см. их фундаментальную монографию «Строение и эволюция Вселенной». — М.: Наука, 1975, а также книгу И. Д. Новикова «Эволюция Вселенной». — М.: Наука. — 2-е изд., 1983).

Камнем преткновения в модели «горячей Вселенной» (впрочем, этот вопрос и не зависит от выбора модели ...) была проблема зарядовой асимметрии: почему во Вселенной существуют атомы, у которых ядра имеют положительный заряд, но нет антивещества, в котором «все было бы наоборот»? Кроме того, из уравнений теории следовало, что при $t \approx 0$ плотность и температура становятся бесконечно большими. Это состояние называется *сингулярностью*. Как ее «обойти»?

Решение этих проблем как будто уже «нащупывается» путем построения модели «раздувающейся Вселенной», лишь позже переходящей на привычный уже режим ее расширения. Эти работы начаты в 1981 г. и развиваются в СССР Э. Б. Глинером, Я. Б. Зельдовичем, А. Д. Линде, А. А. Старобинским и др. На этапе «раздувания» масштабный фактор изменяется со временем по закону (4.6), т. е. в соответствии с моделью де Ситтера. Предполагается, что «вначале» существовал *физический вакуум* — состояние, при котором, как принято говорить, элементарные частицы существуют виртуально. В результате «раздувания» происходит «рождение» частиц и античастиц — их переход из виртуального состояния в состояние обычного вещества. При температуре меньше 10^{28} К начинаются процессы распада X-бозонов и соответствующих им античастиц (\bar{X}) на протоны, нейтроны, электроны и античастицы — нейтрино и антинейтрино. Но так как вероятности этих

процессов несколько различны, то в конечном итоге и возникает асимметрия Вселенной относительно вещества и антивещества. После аннигиляции частиц и античастиц в ходе расширения Вселенной образуется наблюдаемый избыток фотонов — квантов реликтового излучения, которых в расчете на одну частицу приходится несколько миллиардов.

Подробнее об этом читатель может прочесть в статье А. Д. Линде «Раздувающаяся Вселенная» (УФН, 1984.— Т. 144, № 2), в книгах И. Д. Новикова «Эволюция Вселенной» и И. Л. Розенталя «Элементарные частицы и структура Вселенной» (М.: Наука, 1984).

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ КОСМОГОНИИ

Ранние этапы развития. В книге «Вселенная, жизнь, разум» И. С. Шкловский писал: «Обнаружение «реликтового» излучения наряду с открытием Хабблом «разбегания» галактик, является величайшим достижением наблюдательной космологии... Теперь можно считать полностью доказанным основное положение, что Вселенная эволюционирует, и к тому же довольно сильно»...

В 1977 г. Элвин Вайнберг (США) в книге «Первые три минуты» отметил: «Теория образования галактик является одной из открытых проблем астрофизики, кажущейся сегодня еще очень далекой от разрешения». На этом, как говорится, можно бы поставить точку и... подождать до того счастливого времени, когда все прояснится. Но хотя бы в нескольких словах перечислим важнейшие идеи, выдвигаемые в связи с этой проблемой.

Первая из них — идея о гравитационной неустойчивости бесконечно протяженной однородной среды. Она была высказана еще Ньютоном в его письме ректору Тринити Колледжа в Кембридже Ричарду Бантли 10 декабря 1692 г.: «Мне кажется, что если бы вещество нашего Солнца и планет и вообще все вещество Вселенной было бы равномерно распределено по всему небесному пространству, а каждая частица испытывала бы врожденное тяготение ко всем остальным, и... если бы это вещество было равномерно распределено по бесконечному пространству, оно никогда не слилось бы в единую массу; какая-то его часть сгущалась бы в одну массу, а другая — в другую, так что возникло бы бесконечное число больших масс, разбросанных по всему такому бесконечному пространству на большие расстояния друг от друга».

Математическое обоснование сказанному дал в 1902 г. Дж. Джинс: если через одномерную среду, имеющую плотность ρ и температуру T (скорость звука a), проходит возмущение (звуковая волна), то если длина волны $\lambda > \lambda_J = \sqrt{\frac{\pi a^2}{G\rho}}$, где G — постоянная тяготения, силы давления не в состоянии возратить частицы среды в первоначальное состояние. Образовавшееся сгущение действует как зародыш конденсации, которая и притягивает к себе окружающее ее вещество. В случае трехмерной среды в результате такого распада образуются сгущения с первоначальным объемом λ_J^3 и массой $M \approx \lambda_J^3 \rho$. В дальнейшем под действием силы тяжести происходит сжатие каждого сгустка. Если этот процесс сопровождается интенсивным высвечиванием и охлаждением, то сгусток распадается на конденсации с меньшими массами и т. д.

Вторая идея, привлекающаяся к решению проблемы происхождения галактик, — роль турбулентности в «изначальной» первичной материи. Здесь следует упомянуть о работах 1947—1951 гг. К. Вейцекера, в которых этот ученый развивал следующую схему развития галактик: от неправильных (I) к спиральным (S) и, наконец, — к эллиптическим. При этом Вейцекер показал, что продолжительность развития галактики пропорциональна ее массе. Но тогда в наше время эллиптические галактики должны быть самыми маленькими, тогда как неправильные — наиболее массивными. Между тем эти последние меньше спиральных ...

Важные результаты были получены советскими учеными Л. Э. Гуревичем и А. И. Лебединским в 1954 г. и Т. А. Агекином в 1958 г. Первые пришли к выводу, что галактики образовались неодновременно, что на заключительной стадии сжатия вещества при его малом уплотнении формирование спиралей невозможно. С образованием же звезд в галактике начинается перераспределение момента количества движения, который выносится небольшими массами наружу. Была отмечена важная роль гравитационного взаимодействия звезд и звездных скоплений, что приводит к постепенному росту отклонения их движений от круговых и к «раскачке» их в направлении, перпендикулярном плоскости галактики. Так, в итоге образуется эллиптическая галактика. Но в сильно уплотненных системах энергетически более выгодно образование спиральных ветвей. Далее Т. А. Агекин, изучая эволюцию вращающихся систем взаимно притягивающихся тел, учел возможность

их «испарения» (диссипации). Как оказалось, эллиптические галактики могут развиваться лишь в направлении $E7-E0$, тогда как спиральные — в направлении все большего уплощения. Превращение спиральных галактик в эллиптические и наоборот невозможно.

Для решения загадки структуры спиральной галактики С. Чандрасекар и итальянский физик Энрико Ферми (1901—1954) в 1953 г. «привлекли» магнитное поле. Как оказалось, магнитного поля напряженностью $H \approx 4 \cdot 10^{-6}$ Э при плотности газа $2 \cdot 10^{-24}$ г/см³ вполне достаточно для обеспечения устойчивости рукавов спиралей. Но откуда взяться самому полю? И вот в 1964 г. Н. С. Кардашев (СССР) обосновал высказанное несколько ранее предположение Ф. Хойла о том, что слабое (до 10^{-11} Э) магнитное поле существовало уже в веществе, из которого формируются галактики. В процессе вращения галактики происходит закручивание магнитных силовых линий и, как его результат, усиление поля.

Возник, однако, вопрос: как спиральные ветви сохраняют свою устойчивость? Ведь в процессе вращения галактик происходит их закручивание, и, следовательно, имело бы место «размазывание» картины. В 1961 г. в поисках ответа на этот вопрос Б. Линдблад предположил, что спирали — не постоянные сгущения звезд и газа, а волновые образования. Такая «сгущенность объектов» возникает, например, у реки, через которую переходит группа идущих гуськом туристов: их число здесь больше, чем на удаленной от реки тропинке, но это в каждый момент времени другие люди! В 1964 г. американские астрофизики К. Лин и Ф. Шу обосновали это предположение математически. В СССР в этом направлении важные результаты получены С. Б. Пикельнером, Л. С. Марочником и А. А. Сучковым. Механизм возбуждения этих волн плотности, однако, пока остается неизвестным.

Здесь пока еще не было отмечено, что упомянутое выше формирование галактик происходит на фоне общего (космологического) расширения Вселенной. Между тем в 1946 г. советский физик Е. М. Лифшиц (1915—1986) установил, что флуктуации плотности, о которых говорил Джинс, в расширяющейся Вселенной обязательно будут затухать. К тому же и реликтовое излучение препятствовало конденсации вещества. По-видимому, важную роль в этом играют нейтрино, если только их масса отлична от нуля. В СССР были разработаны два сценария образования галактик — теория адиабатических возмущений, ко-

торию развивает Я. Б. Зельдович и его школа, и теория «фотонных вихрей» (Л. М. Озерной, А. Д. Чернин). Отдавая должное полученным ими результатам, повторим, однако, что до решения этой проблемы пока еще далеко ...

Страницы из жизни звезд. Открытие Э. Герцшпрунгом того факта, что звезды на диаграмме спектр — светимость располагаются двумя расходящимися ветвями, казалось, пролиvalo определенный свет на вопрос о путях эволюции звезд, который уже был поставлен в работах Гельмгольца и Риттера.

Как уже отмечалось, одну из первых схем эволюции звезд предложил в 1887 г. (и еще раз в 1900 г.) Локьер: от красного гиганта к белому гиганту и дальше «вниз» к красному карлику. Примерно так же выглядела и предложенная в 1913 г. схема эволюции звезд Рассела. В дальнейшем он сделал много усилий, чтобы согласовать ее с новыми достижениями астрофизики ...

Так, когда стало ясно, что основным источником энергии звезд не может быть гравитационное сжатие, Рассел предположил, что в недрах звезд имеется некая «активная» материя (соответственно «материя гигантов» и «материя карликов»), способная превращаться в излучение. После этого он пришел к таким выводам:

1. Если процесс эволюции происходит без потери массы, то звезда пересекает диаграмму спектр — светимость практически горизонтально справа налево. При этом густо населенные области диаграммы соответствуют наиболее устойчивым и длительно существующим состояниям звезд.

2. Если эволюция звезды сопровождается потерей массы, то на диаграмме спектр — светимость звезда описывает зигзагообразную траекторию: сначала она из области гигантов перемещается влево до главной последовательности, далее — вдоль нее вправо вниз, после чего происходит резкий поворот влево в область белых карликов.

В середине 20-х годов Бенгт Стремгрен проследил, как будет изменяться положение звезды на диаграмме спектр — светимость в зависимости от содержания в ее недрах водорода. Стремгрен предположил, что энергия в звездах выделяется за счет реакций превращения водорода, хотя механизм этого процесса ему не был еще известен. Как оказалось, по мере исчерпания водорода звезды передвигались от главной последовательности «вправо вверх» к ветви гигантов.

В 1937 г. американский астроном Джерард Петер Койпер (1905—1973) сопоставил эффективные температуры и

абсолютные звездные величины звезд из 14 рассеянных скоплений (рис. 68). Оказалось, что каждое скопление образует на диаграмме свою последовательность, а в целом они неплохо согласовались со стремгеновскими линиями постоянного содержания водорода. Отсюда следовало, что

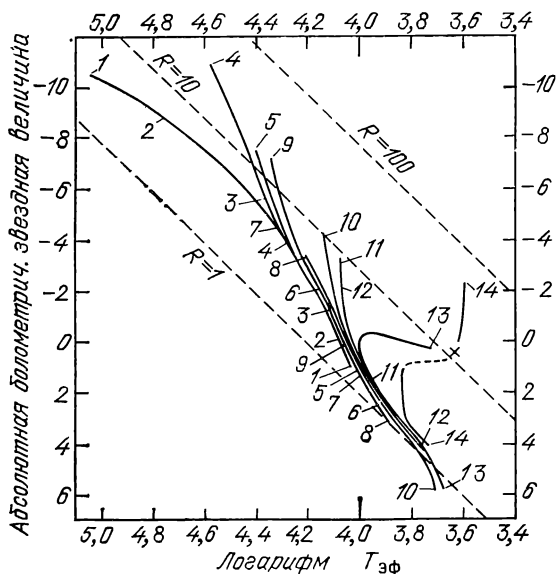


Рис. 68. Диаграмма Герцшпрунга — Рассела для нескольких скоплений по Дж. Койперу (1937 г.)

звезды скоплений 13 и 14 содержат его меньше всех остальных. Так был сделан вывод, что массивные и яркие звезды в процессе своей эволюции передвигаются почти горизонтально от «начальной» главной последовательности вправо в область красных гигантов. Два года спустя этот вывод был подтвержден Г. Гамовым.

В 1942 г. С. Чандрасекар и М. Шенберг (США) установили, что звезда находится на главной последовательности до тех пор, пока в ее недрах примерно 10 % водорода не превратится в гелий (иначе говоря, пока не образуется «безводородное» ядро, масса которого равна примерно, 0,1 массы звезды). Это так называемый *предел Шенберга — Чандрасекара*. Как только звезда достигнет его, она сходит с главной последовательности и начинает быстро передвигаться в область гигантов. Другими словами, главная последовательность — это совокупность звезд различных масс, в недрах которых происходит превращение водорода в гелий.

Большая серия расчетов эволюции звезд различных масс была выполнена в СССР под руководством А. Г. Масевич. Такие расчеты продолжаются в Астрономическом Совете АН СССР и сегодня.

Отметим, что в 50-е годы обычно предполагалось, что в процессе сжатия из фрагмента газопылевого облака звезда (на этой стадии она еще является протозвездой) находится в состоянии лучистого равновесия. Ее эволюционная кривая в этом случае начиналась в дальнем правом нижнем углу диаграммы спектр — светимость, протозвезда медленно и непрерывно поднималась вверх вплоть до главной последовательности. И лишь в 1961 г. Ч. Хаяши (Япония) показал, что на самом деле в сжимающейся протозвезде энергия переносится не лучеиспусканием, а конвекцией. Перед выходом звезды на главную последовательность она, сжимаясь в режиме свободного падения, испытывает вспышку (для звезды с массой порядка солнечной светимость достигает значения $1000 L_{\odot}$), после чего, полностью перемешиваясь, опускается вниз к главной последовательности за время, соответствующее контракционной шкале Гельмгольца.

Трудно даже оценить объем работ, выполненных с целью выяснения поздних этапов эволюции звезд. Если говорить о звездах относительно малых масс ($M \leq 1,5 M_{\odot}$), то здесь, как будто все «достаточно просто». Еще в 1956 г. И. С. Шкловский высказал предположение, что когда после выгорания в недрах такой звезды водорода она становится красным гигантом, происходит плавное отделение ее оболочки, которая и становится планетарной туманностью. Сама же звезда довольно быстро сжимается, превращаясь в белый карлик. Звезды с массами $1,5 M_{\odot} \leq M \leq 8 M_{\odot}$ (верхний предел условный: он предполагает потерю большей части массы звезды в процессе эволюции) после выгорания водорода передвигаются на диаграмме спектр — светимость несколько раз «вправо» и «влево» по мере того как в их недрах, где в результате непрерывного сжатия температура все увеличивается, последовательно выгорают гелий, углерод и другие «относительно легкие» элементы. Решающим фактором при этом оказывается утечка энергии из недр звезды, уносимой потоками нейтрино и антинейтрино. Впервые на это обратили внимание в 1941 г. Г. Гамов и М. Шенберг. В итоге сжатие звезды переходит в *коллапс*, т. е. приобретает катастрофическую форму, в ядре происходит «нейтронизация» вещества и образование нейтронной звезды, тогда как оболочка разлетается в межзвездное пространство, «демонстрируя» вспышку сверхновой.

Сложные расчеты такого сценария проведены С. Колгейтом и Р. Уайтом (США), Д. Арнеттом (Англия), В. С. Имшенником и Д. К. Надёжиным (СССР). Но нерешенных вопросов еще предостаточно ...

Если же масса звезды больше $8 M_{\odot}$, то итогом коллапса будет самозамыкание ее за сферу Шварцшильда с образованием черной дыры.

Много усилий было приложено для выяснения природы новых. В 1930 г. Э. Милн предположил, что вспышка новой — закономерный этап в жизни почти каждой звезды, это будто бы результат ее превращения в белый карлик. Но тогда оставалась непонятной природа повторных новых ...

В 1933 г. В. А. Амбарцумян и Н. А. Козырев пришли к выводу, что масса оболочки, сброшенной новой, не превышает $10^{-4} M_{\odot}$. Следовательно, предположил В. А. Амбарцумян в 1938 г., если это явление связано со взрывом, то он должен быть периферическим, т. е. обусловленным процессами, происходящими не в центре, а во внешних слоях звезды. Тем не менее необходимо было «до конца» исследовать и альтернативный случай. Ведь тогда же В. Гротриан (Германия) и Г. Гамов высказали предположение, что вспышки новых обусловлены термоядерным взрывом в центре звезды. Был вскоре найден и механизм переноса энергии взрыва — ударная волна. Разработка теории была начата в СССР Л. И. Седовым (1946 г.), далее А. И. Лебединским и Л. Э. Гуревичем. В начале 50-х годов важные результаты в теории «звездных» ударных волн получены С. А. Капланом, Д. А. Франк-Каменецким и Д. К. Надёжиным.

В середине 1954 г. Мёрл Уокер (США), проводя фотоэлектрические наблюдения звезды DQ Геркулеса — Новой Геркулеса 1934 г., неожиданно обнаружил, что эта звезда — затменная переменная с периодом всего 4 ч 39 мин, т. е. двойная. Тут же была обнаружена двойственность другой бывшей Новой — UX Большой Медведицы (период 4 ч 43 мин). Была оценена масса новых — всего около $0,1 M_{\odot}$. В 1956 г. Уокер зарегистрировал у звезды DQ Геркулеса колебания блеска с периодом 71 с, а пять лет спустя, после расчетов Э. Шацмана (Франция) и Р. Крафта (США), стало ясно, что упомянутая звезда — это действительно белый карлик, пульсирующий как цефеида. В 1956 г. Р. Крафт и Дж. Кроуфорд разработали гипотезу, объяснявшую механизм вспышки следующим образом. Вспыхивает белый карлик, но «провоцирует» вспышку ее соседка — красная звез-

да, первопричиной же всего является «стремление» этой последней стать красным гигантом. По мере расширения оболочки красной звезды начинается процесс перетекания вещества (а оно богато водородом!) к белому карлику. Вещество оседает на поверхность белого карлика, далее под давлением этих новых масс происходит разогрев подповерхностных слоев звезды, включение термоядерных источников энергии и — взрыв. Кстати, примерно такую же схему еще в 1952 г. предложил Л. Местел (Англия) для объяснения вспышек сверхновых.

В последние годы модель перетекания вещества от одной компоненты к другой расширена: вместо белого карлика второй компонентой может быть также нейтронная звезда или черная дыра. Тем самым, в частности, объясняется природа источников рентгеновского излучения. Кстати, как показал в 1965 г. В. Г. Горбацкий (СССР), «наматываясь» на вторую компоненту, газовая струя образует диск. Многие наблюдаемые явления нестационарности (колебания блеска как в видимом, так и в рентгеновском диапазоне) обусловлены как раз взаимодействием с диском потоков газа, движущихся в системе от одной компоненты к другой.

Сама же проблема возникновения систем двойных и кратных звезд также на протяжении многих десятилетий подвергалась неоднократно обсуждению. Еще в 1885—1887 гг. А. Пуанкаре и Дж. Дарвин разработали теорию, согласно которой вращающееся жидкое тело при определенных условиях может сперва принять форму эллипсоида вращения, далее трехосного эллипсоида и, наконец, грушевидной фигуры — «фигуры Пуанкаре», которая в дальнейшем может разорваться на две части. Позже по этой схеме «заселял» двойными звездами Галактику и Джинс.

Сегодня большинство астрономов исходят из предположения, что звезды формируются из фрагментов газопылевых облаков. Но такое облако уже может медленно вращаться. В процессе же сжатия момент количества движения фрагмента сохраняется, следовательно, линейная скорость вращения приэкваториальных точек у многих звезд должна быть очень большой. Между тем наблюдения говорят о противоположном: даже у звезд ранних спектральных классов она равна всего нескольким сотням км/с. Поэтому в 1946—1949 гг. английский астроном К. Эджворт предположил, что вначале из вращающейся газопылевой туманности образуется кольцо, которое в дальнейшем и распадается на отдельные звезды. В 1975 г. даже весьма активно обсуждались будто бы обнаруженные Й. Иссерштедтом

(ФРГ) кольца звезд — эллипсоподобные образования с диаметром около 7 пк. Вскоре пришлось убедиться, однако, что это случайные, физически не связанные группы звезд, а в некоторых случаях просто оптические явления.

Уместно отметить и высказанную в 1947 г. В. А. Амбарцумяном гипотезу о D-телах. Несколько позже он писал об этом так: «Тела, из которых формируются в ассоциациях звезды, не являются ни звездами, ни диффузными туманностями. Можно с уверенностью утверждать, что это тела нового, неизвестного нам типа — новая форма материи, ее дозвездная стадия». По Амбарцумяну, плотность этого дозвездного вещества порядка плотности атомного ядра.

Исследования всех этих вопросов продолжаются ...

О происхождении планетной системы. В 1900 г. американские ученые астроном Форест Рей Мультон (1872—1952) и геолог Томас Кроудер Чемберлин (1843—1928) опубликовали статью, в которой была дана резкая критика гипотезы Лапласа из-за присущего ей несоответствия в распределении моментов между Солнцем и планетами (с. 249). Пять лет спустя, в 1905 г., они же предложили свою гипотезу происхождения планетной системы, в которой орбитальный момент планет был привнесен извне. Мультон и Чемберлин предположили, что некогда в прошлом произошло сближение Солнца с какой-то другой звездой (эту идею еще в 1880 г. выдвинул малоизвестный астроном Бикертон). На поверхности Солнца образовалась громадная приливная волна, произошел выброс масс вещества, устремившегося вслед за проходящей звездой. В дальнейшем часть этого вещества разлетелась в межзвездном пространстве, часть упала на Солнце, из третьей же части, вращавшейся в одной плоскости вокруг Солнца, и образовались будто бы планеты. При этом вначале быстро охладившийся газ конденсировался в пылинки и более крупные твердые тела — *планетезимали*. Они-то как раз и стали теми «кирпичами», из которых «выросли» планеты.

Гипотеза эта, однако, имела уязвимые места. Как показал Джинс, небольшие газовые облака под действием газового давления, в миллион раз превосходившего силу взаимного притяжения частиц в телах планетезимальных размеров, должны были бы просто рассеяться в пространстве. Кроме того, гипотеза Мультона и Чемберлина не объяснила происхождение спутников планет, как и ориентацию их орбит в пространстве.

В 1917 г. Джинс предложил свою гипотезу, в принципе повторяющую предыдущую, однако математически, каза-

лось, более обоснованную. По Джинсу, извержение длинной струи вещества от Солнца по направлению к звезде началось тогда, когда эта звезда сблизилась с Солнцем на расстояние, равное примерно $2,5 R_{\odot}$. И здесь момент количества движения струя получила от проходившей звезды. Форма струи была будто бы сигаровидной. Поэтому, дескать, самые крупные планеты расположены в середине планетного ряда. Дальше струя разбилась на сгустки, достаточно большие, чтобы конденсироваться в планеты. Охлаждаясь, вещество планет вскоре перешло в жидкое состояние. При этом сначала орбиты планет были сильно вытянутыми, превращение же их в почти круговые происходило из-за торможения в остатках первоначальной газовой струи. А между тем, двигаясь по своей эллиптической орбите, каждая из планет приближалась к Солнцу и подвергалась его приливному воздействию. Из поверхностей планет происходили извержения вещества (жидкости!), из которого будто бы и образовались спутники.

Джинс посчитал и вероятность прохождения звезды вблизи Солнца. Она оказалась ничтожно малой: 10^{-12} — один случай на тысячу миллиардов звезд. Отсюда следовало, что наша планетная система единственная в Галактике ...

Слабым местом гипотезы был вопрос о вращении планет вокруг оси. Приходилось говорить об «обратном падении» на планету части вещества, исторгнутого при образовании спутников. Но для объяснения, скажем, вращения Юпитера необходимо было предположить, что масса упавшего вещества равна примерно $1/15$ массы планеты, т. е. она в 400 раз больше массы всех ее спутников, вместе взятых!

В 1929 г. английский астроном и геофизик Хэролд Джеффрис (род. 1891 г.) несколько усовершенствовал гипотезу Джинса, предположив, что произошло не тесное сближение звезды с Солнцем, а касательное столкновение. Но в 1935 г. Рессел в небольшой популярной книге «Солнечная система и ее происхождение» нанес гипотезе Джинса — Джеффриса (так ее в то время называли) смертельный удар. Рессел подсчитал, что удельный момент количества движения (т. е. момент, приходящийся на единицу массы) у звезды был примерно в десять раз меньше, чем у планет ... Это в гипотезе Джинса. При касательном столкновении, о котором говорил Джеффрис, ситуация была еще хуже: чем меньше расстояние, на котором звезда «проскальзывает» около Солнца, тем меньше удельный момент. Чтобы увеличить его хотя бы в 10 раз, необходимо было увеличить расстояние или массу звезды в 100 раз! Но — если увеличить расстоя-

ние, то не будет извержения вещества из Солнца. Увеличить же массу звезды также нельзя — звезд со столь большими массами не бывает ...

К тому же, как писал Рессел: «Середина ленты (состоящая из равных частей солнечного и звездного вещества) оставалась бы в этой точке без движения, одинаково притягиваемая Солнцем и звездой...».

Но какая-то гипотеза всегда должна быть! И Рессел предлагает следующее: «... перед встречей Солнце было двойной звездой и имело спутника значительно меньше себя, который вращался вокруг него на расстоянии, сравнимом с расстоянием больших планет. Столкновение с проходящей звездой (или, может быть, тесное сближение) разбило этот спутник на осколки, которые развились в теперешние планеты».

В следующем, 1936 г. уже упоминавшийся английский астроном Р. Литлтон путем расчетов как будто нашел начальные условия, при которых «проходящая звезда, столкнувшись или почти столкнувшись с первоначальным спутником Солнца, выбросит его за пределы влияния Солнца и сама тоже улетит в бесконечность». Но тут же обнаружилось, что на вырывание струи нужна в 40 раз большая энергия, чем на выбрасывание звезды-спутника Солнца в межзвездное пространство. Следовательно, и то, и другое одновременно происходить не может!

По-видимому, катастрофические гипотезы необходимо было хотя бы на время оставить и возвратиться к небулярным. Так и поступил в 1943 г. Карл Вейцекер. Новым в его гипотезе было предположение о роли вихревых движений в туманности, из которой образуются планеты и их спутники. Через шесть лет Койпер пришел к убеждению об общности процессов, в результате которых возникают двойные звезды и звезды с системами планет. Исходным в обоих случаях является сжатие плотного облака межзвездного газа и определенная роль турбулентных, вихревых движений. По Койперу, значительную часть своей массы (до 99 %) планеты под воздействием корпускулярного излучения Солнца могли потерять раньше, чем они успели окончательно сформироваться.

В 1946 г. Х. Альвен, заложивший основы космической электродинамики и, в частности, разработавший представление о «вмороженности» в плазму магнитных полей, объяснил перенос момента количества движения в Солнечной системе взаимодействием между магнитным полем Солнца и заряженными частицами в туманности, из которой образуются планеты. Ф. Хойл сделал следующий шаг, предполо-

жив, что Солнце и планеты возникли из одной туманности, но Солнце образовалось в недрах ее несколько раньше. В процессе вращения туманность сплющивалась, превращаясь в диск. Так как первоначальная туманность обладала магнитным полем, то постепенно происходила передача момента количества движения от Солнца к диску: Солнце стало вращаться гораздо медленнее, тогда как диск ускорялся.

В 1944 г. в «Докладах АН СССР» были опубликованы две статьи советского математика, геофизика и астронома О. Ю. Шмидта (1891—1956), которыми было положено начало исследований в СССР по проблеме образования планет из твердых частиц вращающегося газопылевого облака. Шмидт предположил, что это облако было захвачено Солнцем при его обращении вокруг центра Галактики. Проблема захвата в системе трех тел (третье тело — звезда — уносило с собой избыток энергии облака, благодаря чему становился возможным переход его с параболической орбиты на эллиптическую) была исследована самым тщательным образом Н. Н. Парийским и Г. Ф. Хильми. В принципе захват оказался возможным, хотя вероятность такого процесса была невелика.

Большим шагом вперед было предложенное О. Ю. Шмидтом деление проблемы происхождения Солнечной системы на три части, разработка которых может производиться в значительной степени независимо: 1) объяснение происхождения Солнца и способа формирования допланетного облака, 2) разработка теории образования планет в процессе эволюции газопылевого облака и 3) установление геофизических, геохимических и геологических следствий теории образования планет.

В процессе разработки теории первая часть гипотезы О. Ю. Шмидта — захват туманности — была заменена представлением об образовании планет из того же газопылевого облака, что и Солнце. Математическое же обоснование О. Ю. Шмидтом ряда других вопросов планетной космогонии (например, распределения планет по расстояниям от Солнца, направления осевого вращения планет и др.) остается в силе. Работы О. Ю. Шмидта в СССР были успешно продолжены в названном его именем Институте физики Земли Б. Ю. Левиным, В. С. Сафроновым, Е. Л. Рускол и др. При построении теории учитываются и влияние магнитных полей и конвективно-турбулентных движений вещества протопланетного облака. Большую роль в изучении процесса формирования планет сыграли работы В. Г. Фесенкова (1889—1972), Л. Э. Гуревича, А. И. Лебединского

(1913—1967) (СССР), А. Камерона (США), Р. Ларсона (Англия) и Е. Шацмана (Франция).

Примечательно, что еще в середине 50-х годов советский астроном С. К. Всехсвятский (1905—1984) предсказал бурную, все еще продолжающуюся вулканическую активность планет и их спутников и наличие колец у Юпитера и Урана. Как известно, кольцо Урана было открыто в 1977 г. при наземных фотоэлектрических наблюдениях покрытия Ураном звезды. В марте 1979 г. американский космический аппарат «Вояджер-1» зафиксировал извержение вулкана на спутнике Юпитера Ио. В 1981 г. «Вояджер-2» передал на Землю превосходные изображения системы колец Юпитера ...

Читателю, интересующемуся проблемой происхождения планетной системы, мы рекомендуем статью «Происхождение Солнечной системы» В. С. Сафронова и А. В. Витязева, опубликованную в т. 24 сборника «Итоги науки и техники», серия астрономия (ВИНИТИ, 1983).

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Как уже, очевидно, читатель заметил, относительный объем той части книги, где рассматриваются проблемы астрономии XX в., не соответствует истинному количеству информации, полученной за последние 86 лет. Современная астрономия — наука обширная, многоплановая. Есть о чем рассказать...

Сделано это сознательно. Об астрономии XX века написано немало. Мы настоятельно советуем читателю познакомиться с книгами В. А. Бронштэна «Беседы о космосе и гипотезах», «Гипотезы о звездах и Вселенной», А. А. Гурштейна «Извечные тайны неба» (М.: Просвещение, 1984), Ю. Н. Ефремова «В глубины Вселенной», И. Д. Новикова «Эволюция Вселенной» и целым рядом других книг, список которых частично приведен ниже. Мы же стремились выделить лишь важнейшие моменты, послужившие как бы точкой отсчета для новых исследований, или же самые поучительные ошибки...

Можно сказать также, что мы подошли к рубежу, из которого видна вся многогранная работа целых больших коллективов и многих тысяч ученых, и почтительно остановились, чтобы молча отдать им дань восхищения и уважения. При этом мы весьма и весьма сожалеем, что прямо-таки не в состоянии рассказать здесь об их усилиях в раскрытии тайн Вселенной, ни даже назвать их имена ...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берри А.* Краткая история астрономии.— М.; Л.: ОГИЗ, 1946, 363 с.
- Воронцов-Вельяминов Б. А.* Очерки истории астрономии в России.— М.: Гостехиздат, 1956, 371 с.
- Воронцов-Вельяминов Б. А.* Очерки истории астрономии в СССР.— М.: Физматгиз, 1960, 228 с.
- Гинзбург В. Л.* О теории относительности.— М.: Наука, 1979, 238 с.
- Голдстейн М., Голдстейн И. Ф.* Как мы познаем? — М.: Знание, 1984, 256 с.
- Даннеман Ф.* История естествознания: Т. 1 — 3.— М.: Л.: ОНТИ, 1934—1938.
- Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики.— М.: Наука, 1974, 350 с.
- Еремеева А. И.* Вселенная Гершеля.— М.: Наука, 1966, 319 с.
- Еремеева А. И.* Астрономическая картина мира и ее творцы.— М.: Наука, 1984, 224 с.
- Климишин И. А.* Астрономия наших дней.— 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Наука, 1986, 560 с.
- Климишин И. А.* Релятивистская астрономия.— М.: Наука, 1983, 208 с.
- Колчинский И. Г.* Наблюдение и факт в астрономии.— Киев. Наукова думка, 1982.
- Колчинский И. Г., Корсунь А. А., Родригес М. Г.* Астрономы: Биографический справочник.— Киев: Наукова думка, 1986, 504 с.
- Ньютон И.* Математические начала натуральной философии//*Крылов А. Н.* Собр. соч.: Т. VII.— М.: Изд-во АН СССР, 1936.
- Перель Ю. Г.* Развитие представлений о Вселенной.— М.: Физматгиз, 1962, 392 с.
- Райков Б. Е.* Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947, 392 с.
- Селезников С. И.* Астрономия и космонавтика.— Киев: Наукова думка, 1967, 303 с.
- Струве О., Зебергс В.* Астрономия XX века.— М.: Мир., 1968, 548 с.
- Томилин А.* Занимательно о космогонии.— М.: Молодая гвардия, 1975, 208 с.
- Уитни Ч.* Открытие нашей Галактики.— М.: Мир, 1971, 237 с.
- Философские проблемы астрономии XX века.— М.: Наука, 1976, 480 с.
- Херрман Д.* Открыватели неба.— М.: Мир, 1981, 232 с.
- Шкловский И. С.* Звезды: Их рождение, жизнь и смерть.— 3-е изд., перераб.— М.: Наука, 1984, 384 с.
- Шкловский И. С.* Проблемы современной астрофизики.— М.: Наука, 1982, 224 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Г л а в а 1. Многовековые геоцентризма	5
Первой была астрономия	5
Мир дневногреческих философов	20
Сколько стадий до Солнца?	31
Он заложил фундамент	42
«Математический синтаксис» Птолемея	53
Контрасты средневековой Европы	73
Успехи астрономов стран ислама	78
Канун революции	91
Г л а в а 2. Эпоха гигантов	99
«Он сдвинул Землю»	99
«Сжечь — не значит опровергнуть!»	116
«Феникс астрономов»	123
Он «вымел паутину с неба»	133
«А все-таки она движется!»	150
От Галилея до Ньютона	170
Великое проникновение	181
Г л а в а 3. От Ньютона к Эйнштейну	190
Измерить и взвесить!	190
Триумф великого закона	199
Трудная проблема устойчивости	208
«Открылась бездна, звезд полна...»	212
Первые шаги астрофизики	231
К тайнам строения и эволюции	241
Г л а в а 4. Горизонты XX века	251
Ключи от неба	251
Проблемы физики звезд	262
Наша Галактика	275
На перекрестках млечных путей	285
О моделях Вселенной	295
Проблемы современной космогонии	306
Вместо заключения	318
Список литературы	319

