БИБЛИОТЕКА ДЛЯ САМООБРАЗОВАНІЯ

XXX.

А. БЕРРИ

КРАТКАЯ ИСТОРІЯ АСТРОНОМІИ

Артуръ Берри.

КРАТКАЯ ИСТОРІЯ АСТРОНОМІИ.

ПЕРЕВОДЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО

С. Г. Займовскаго.

Типографія Т-ва **И. Д. Сытина**, Валовая ул., свой домъ.
МОСКВА — 1904.

ОТЪ РЕДАКЦІИ «БИБЛІОТЕКИ ДЛЯ САМООБРАЗОВАНІЯ».

Въ послѣдніе годы въ русскомъ обществѣ замѣчается несомнѣнное усиленіе интереса къ самообразованію. Оживленіе издательской дѣятельности, устройство въ провинціи курсовъ и публичныхъ лекцій, появленіе въ Москвѣ и Петербургѣ кружковъ спеціалистовъ, ставящихъ своей задачей помощь самообразованію, — все это дѣлаетъ очевиднымъ, что потребность въ серьезномъ чтеніи сознается у насъ все болѣе и болѣе широкими общественными кругами. Къ сожалѣнію, популяризація знаній, необходимыхъ для всякаго образованнаго человѣка, далеко не идетъ вровень съ этимъ быстрымъ усиленіемъ спроса на чтеніе со стороны жаждущей просвѣщенія публики. Оригинальныхъ популяризаторовъ у насъ еще слишкомъ мало, а выборъ переводныхъ произведеній далеко не всегда дѣлается лицами, которыя соединяли бы въ себѣ пониманіе потребностей современнаго русскаго читателя съ хорошимъ знаніемъ иностранной популярной литературы. Отъ этого на нашемъ книжномъ рынкѣ такъ часто появляются книги, нужныя только тѣмъ, кто могъ бы прочесть ихъ и въ иностранномъ подлинникѣ, и, наоборотъ, многихъ книгъ, которыя были бы нужны всякому образованному человѣку, на русскомъ языкѣ не существуетъ. Въ

результатѣ одинаково страдаютъ и интересы издателей и интересы читающей публики. Не находя въ современной популярной литературѣ того, что имъ нужно, тѣ и другіе прибѣгаютъ, наконецъ, къ помощи старыхъ любимцевъ русской интеллигенціи. Перепечатка въ послѣдніе годы многихъ изданій шестидесятыхъ годовъ безспорно свидѣтельствуетъ какъ объ увеличеніи запроса на самообразовательное чтеніе со стороны читателей, такъ и о недостаткѣ на русскомъ языкѣ произведеній новѣйшей популярной литературы, которыя могли бы удовлетворить этому запросу.

Въ послѣднее время, однако, въ издательское дѣло начинаетъ замѣтно проникать свѣжая струя. Старыя и вновь возникающія фирмы принимаются за изданіе цѣлаго ряда серій популярныхъ книгъ для чтенія и самообразованія. Къ этого рода серіямъ принадлежитъ и «Библіотека для самообразованія». Но среди другихъ подобныхъ изданій она занимаетъ свое особое мѣсто въ связи съ той спеціальной цѣлью, которую она преслѣдуетъ. Эту цѣль, долженствующую сообщить всѣмъ выпускамъ «Библіотеки для самообразованія» нѣкоторое внутреннее единство, редакція считаетъ нужнымъ особенно подчеркнуть.

«Библіотека для самообразованія» находится въ самой тѣсной связи съ московской «Комиссіей по организаціи домашняго чтенія», начавшей свою дѣятельность при «Учебномъ отдѣлѣ общества распространенія техническихъ знаній» въ 1895 г. Редакторы «Библіотеки для самообразованія» всѣ состоятъ членами Комиссіи и принимаютъ участіе въ руководствѣ домашнимъ чтеніемъ по различ-

нымъ отдѣламъ издаваемыхъ Комиссіей систематическихъ программъ.

Составляя эти программы, Комиссія, какъ видно изъ ея проспекта, имѣла въ виду соединить общедоступность чтенія съ его серьезностью и основательностью. Съ этой цѣлью въ каждой программѣ указанъ тотъ *необходимый минимумъ* познаній, безъ усвоенія котораго ознакомленіе съ соотвѣтствующимъ отдѣломъ науки нельзя признать сколько-нибудь основательнымъ. *Всѣ* книги, необходимыя для пріобрѣтенія такого минимума познаній, указаны *на русскомъ языкѣ,* и почти всѣ онѣ доставляются читателямъ Комиссіей на льготныхъ условіяхъ (см. «Правила для сношеній съ Комиссіей», перепечатанныя въ концѣ настоящаго тома). Относительно способа усвоенія *необходимыхъ* пособій даны въ программахъ ближайшія указанія. Всѣ указанія Комиссіи дѣлаются такъ, чтобы ими могли воспользоваться лица трехъ категорій: 1) лица, вовсе не имѣвшія возможности пріобрѣсти правильнаго средняго образованія, но болѣе или менѣе привыкшія читать серьезныя книги популярно-научнаго содержанія; 2) лица, окончившія курсъ средней школы, но не получившія высшаго образованія, и 3) лица, окончившія высшую школу, которыя пожелали бы съ помощью Комиссіи освѣжить забытыя знанія, пополнить пробѣлы или пріобрѣсти новыя свѣдѣнія въ незнакомыхъ имъ отдѣлахъ наукъ. При составленіи программъ, Комиссія имѣла въ виду нѣкоторый средній уровень читателей; этотъ средній уровень характеризуется въ глазахъ Комиссіи не столько количествомъ пріобрѣтенныхъ свѣдѣній, сколько извѣстной при-

вычкой къ серьезному чтенію. Умѣнье читать серьезную книгу есть необходимое условіе успѣшности самообразованія. Къ сожалѣнію, это умѣнье принадлежитъ къ числу навыковъ, которые трудно передать съ помощью однихъ письменныхъ сношеній. Комиссіи поневолѣ приходится предполагать, что у ея читателей этотъ навыкъ уже пріобрѣтенъ.

Содержаніе книжекъ, издаваемыхъ въ «Библіотекѣ для самообразованія», находится въ прямой зависимости отъ намѣченныхъ Комиссіей цѣлей, какъ онѣ охарактеризованы въ приведенныхъ выдержкахъ изъ ея проспекта. Редакція «Библіотеки для самообразованія» предполагаетъ вводить въ свою серію только такія книги, изъ которыхъ каждая давала бы необходимый минимумъ познаній, безъ усвоенія котораго ознакомленіе съ соотвѣтствующимъ отдѣломъ науки нельзя признать сколько-нибудь основательнымъ. Другими словами, «Библіотека для самообразованія» будетъ состоять изъ ряда пособій, признанныхъ Комиссіей «необходимыми» для усвоенія ея систематическихъ программъ, но не существовавшихъ до сихъ поръ въ русской популярной литературѣ или же вышедшихъ изъ продажи, а также изданныхъ въ неудовлетворительномъ переводѣ. Съ подобными пробѣлами постоянно принуждена считаться всякая программа для самообразованія; и чѣмъ она общѣе и энциклопедичнѣе, тѣмъ пробѣловъ оказывается больше, и тѣмъ необходимѣе становится создать литературу, спеціально приспособленную для самообразовательныхъ цѣлей, какъ ихъ ставитъ та или другая программа. Англійскія и

американскія общества содѣйствія самообразованію уже стали на этотъ путь — созданія спеціально приспособленныхъ къ программамъ пособій. Подобную же попытку предполагаютъ сдѣлать и редакторы «Библіотеки для самообразованія». Въ тѣхъ случаяхъ, когда въ заграничной популярной литературѣ имѣются вполнѣ подходящія сочиненія, редакція будетъ переводить ихъ или переиздавать уже переведенныя книги; если же подходящихъ пособій не имѣется, редакція будетъ издавать сборники, хрестоматіи, компиляціи или оригинальныя произведенія, приспособленныя къ программамъ Комиссіи. Такимъ образомъ, руководители «домашняго чтенія» и ихъ читатели не будутъ зависѣть отъ случайнаго наличнаго состава популярной литературы, имѣющейся на русскомъ языкѣ, а читающая публика вообще получитъ рядъ общедоступныхъ руководствъ по всѣмъ отраслямъ общеобразовательныхъ знаній.

Благодаря содѣйствію издательской фирмы Т-ва И. Д. Сытина, редакція имѣетъ возможность придать книжкамъ «Библіотеки для самообразованія» внѣшній видъ, соотвѣтствующій европейскимъ изданіямъ этого рода, не поднимая въ то же время цѣны изданія выше обыкновенной. Небольшой форматъ и прочный переплетъ должны отвѣчать назначенію «Библіотеки для самообразованія», цѣль которой — дать рядъ основныхъ пособій, предназначенныхъ для постояннаго употребленія.

ПРЕДИСЛОВІЕ КЪ РУССКОМУ ПЕРЕВОДУ.

Едва ли не лучшій способъ усвоить основы какой-либо науки представляетъ ознакомленіе съ ея исторіей, въ особенности въ томъ случаѣ, если историческій обзоръ соединяется съ догматическимъ изложеніемъ предмета. По отношенію къ астрономіи это наиболѣе справедливо. При ознакомленіи съ ея развитіемъ, глубже усваиваются тѣ великія истины, которыя выдержали многовѣковую критическую обработку и стали достояніемъ современной науки. Въ этомъ смыслѣ, предлагаемая въ русскомъ переводѣ редакціей «Библіотеки для самообразованія» книга А. Берри: «Краткая исторія астрономіи» можетъ быть названа введеніемъ въ изученіе астрономіи. Въ ней послѣдовательно излагается поступательное движеніе науки и наглядно раскрывается та тѣснѣйшая зависимость, которая связываетъ ея отдѣльные успѣхи съ предыдущими моментами ея историческаго развитія. Вмѣстѣ съ этимъ авторъ попутно даетъ превосходныя характеристики нѣкоторыхъ творцовъ астрономическихъ знаній и ихъ наиболѣе важныхъ научныхъ заслугъ.

Книга А. Берри издана въ серіи «University Extension Manuals», какъ извѣстно, служащей тѣмъ же цѣлямъ, какія преслѣдуетъ и «Библіотека для самообразованія», что уже само по себѣ вполнѣ оправдываетъ выборъ этой книги для перевода. Всѣ

рисунки и портреты, приложенные къ оригиналу, сохранены и въ русскомъ изданіи. Для лицъ, которыя пожелали бы ближе ознакомиться съ астрономіей, редакція «Библіотеки для самообразованія» сочла не лишнимъ присоединить къ переводу краткій указатель имѣющихся на русскомъ языкѣ, какъ оригинальныхъ, такъ и переводныхъ, книгъ по этому предмету научно-популярнаго содержанія.

ПРЕДИСЛОВІЕ АВТОРА.

Въ этой книгѣ я пытался набросать очеркъ развитія астрономіи съ древнѣйшихъ историческихъ временъ до настоящаго дня, притомъ въ формѣ, доступной читателю, не получившему спеціально астрономической, либо математической подготовки, а обладающему свойственной всякому образованному человѣку способностью слѣдить за научнымъ изложеніемъ мыслей.

Не желая выходить изъ предѣловъ небольшого томика, я по необходимости долженъ былъ излагать предметъ возможно болѣе сжато; до нѣкоторой степени я достигъ своей цѣли тѣмъ, что, за исключеніемъ самаго необходимаго, воздержался отъ трактованія многихъ вопросовъ, — вопросовъ, которые въ книгѣ иного размѣра и характера заняли бы видное мѣсто. Напримѣръ, я позволилъ себѣ лишь слегка коснуться астрономіи египтянъ, халдеевъ, китайцевъ и другихъ народовъ, которымъ обыкновенно приписываются первые шаги въ развитіи науки о небѣ. Съ одной стороны, мнѣ казалось невозможнымъ составить себѣ независимое мнѣніе по данному вопросу безъ непосредственнаго ознакомленія съ документами и надписями, изъ которыхъ

мы черпаемъ наши знанія; съ другой стороны, оріенталисты, обладающіе вышесказанными знаніями, настолько еще расходятся въ истолкованіи однихъ и тѣхъ же данныхъ, что мы считаемъ преждевременнымъ публиковать ихъ результаты въ догматической формѣ учебника. Кромѣ того, мнѣ показалось цѣлесообразнымъ — за вычетомъ особо важныхъ случаевъ — пропустить описанія астрономическихъ инструментовъ; насколько мнѣ помнится, я никогда не извлекалъ ни удовольствія, ни пользы изъ описанія инструмента, если мнѣ не приходилось раньше ознакомиться съ нимъ или подобнымъ ему научнымъ приборомъ на практикѣ; естественно, что у меня нѣтъ желанія предлагать читателямъ то, чего я самъ не получалъ. Равнымъ образомъ, въ виду намѣченной цѣли, мнѣ пришлось обойти молчаніемъ нѣсколько важныхъ астрономическихъ открытій, требующихъ для наилучшаго своего уясненія знакомства съ техническимъ языкомъ математики. По этой причинѣ я лишь въ краткихъ и самыхъ общихъ чертахъ обрисовалъ великолѣпную, чудесную надстройку, воздвигнутую послѣдующими поколѣніями математиковъ на фундаментѣ, заложенномъ Ньютономъ. По той же причинѣ я иногда принужденъ былъ тратить немало времени на изложеніе обыденнымъ языкомъ такихъ истинъ, которыя гораздо яснѣе и короче выражаются алгебраической формулой; для тѣхъ, кто знакомъ съ математикой, я добавилъ нѣсколько выносокъ спеціальнаго характера. Вообще же я всячески старался избѣгать математики, кромѣ развѣ ариѳметики да немногихъ техническихъ терминовъ, разъясняемыхъ въ текстѣ. Трудъ мой значительно сократился еще тѣмъ, что

я цѣликомъ пропустилъ или ограничился самымъ бѣглымъ упоминаніемъ о множествѣ астрономическихъ фактовъ, не связанныхъ съ какой-либо прочно обоснованной общей теоріей; по тѣмъ же соображеніямъ я вообще воздерживался отъ изложенія умозрительныхъ теорій, не установленныхъ прочно или не опровергнутыхъ положительнымъ образомъ. Въ частности, по тѣмъ или инымъ мотивамъ (объ этомъ подробнѣе въ началѣ главы XIII), я старался возможно короче трактовать огромную массу наблюденій, накопленныхъ современной астрономіей; напримѣръ, отчетомъ о наблюденіяхъ солнечныхъ пятенъ за послѣдніе полвѣка и о теоріяхъ, основанныхъ на нихъ, можно безъ труда наполнить нѣсколько томовъ, я же посвятилъ этому предмету всего страничку - другую.

Гдѣ можно было, я даю біографическіе очерки выдающихся астрономовъ (сошедшихъ уже со сцены), желая сообщить изложенію больше живости; вмѣстѣ съ тѣмъ я боролся съ искушеніемъ заполнить страницы интересными подробностями, не имѣющими реальнаго отношенія къ научному прогрессу. Процедура суда надъ матерью Кеплера по обвиненію въ колдовствѣ представляетъ, быть можетъ, столько же драматическаго интереса, сколько и отреченіе Галилея передъ инквизиціей, однако, я совершенно умолчалъ о первой и удѣлилъ много мѣста второму; тогда какъ первое представляетъ интересъ эпизода, второе составило не только любопытный инцидентъ въ жизни великаго астронома, но и эпоху въ исторіи астрономической мысли. Я нашелъ умѣстнымъ включить большое количество датъ, такъ какъ онѣ не занимаютъ много мѣста,

и тѣмъ, кто интересуется, могутъ оказаться полезными, остальные же безъ труда пропустятъ ихъ.

Я отвелъ немало мѣста описанію такихъ устарѣлыхъ теорій, которыя, какъ мнѣ казалось, составляли существенную часть астрономическаго прогресса. Одна изъ причинъ, по которымъ исторія науки достойна всяческаго изученія, заключается въ томъ, что она проливаетъ свѣтъ на процессы, посредствомъ которыхъ вырабатывается научная теорія для уясненія фактовъ извѣстнаго порядка; по мѣрѣ того, какъ новые факты принимаютъ постепенное участіе въ ея выработкѣ, она становится способной къ послѣдующимъ измѣненіямъ; въ концѣ-концовъ, она можетъ быть и отвергнута, когда ея разногласія съ фактами сдѣлаются слишкомъ явными или перестанутъ находить себѣ объясненіе. Напримѣръ, ни одинъ современный астрономъ не нуждается въ древне-греческой схемѣ эпицикловъ, тѣмъ не менѣе исторія ея изобрѣтенія, постепеннаго совершенствованія по мѣрѣ накопленія свѣжихъ наблюденій, наступившаго затѣмъ безсилія противостоять строгому анализу и конечнаго забвенія ея въ пользу болѣе совершенной теоріи,— все это, кажется мнѣ, можетъ послужить интереснымъ и полезнымъ урокомъ научнаго метода. По крайней мѣрѣ, свою книгу я писалъ, исходя именно изъ такого убѣжденія, и именно съ вышесказанной точки зрѣнія рѣшалъ вопросъ о томъ, что выпустить изъ книги, что включить въ нее.

Мы не считаемъ свой трудъ самостоятельнымъ вкладомъ въ литературу; матеріалъ почерпался изъ «вторыхъ рукъ», такъ сказать, изъ второстепенныхъ

источниковъ, изъ коихъ не всѣ, однако, легко доступны читателю.

Мнѣ остается еще выразить свою благодарность лицамъ, оказавшимъ мнѣ содѣйствіе въ моемъ трудѣ. В. В. Боллъ, лекторъ коллегіи Св. Троицы, прекрасно знакомый съ исторіей математики, — предметъ, тѣсно связанный съ астрономіей, — любезно взялъ на себя трудъ просмотрѣть пробные листы, оказавъ мнѣ громадную услугу своими цѣнными замѣчаніями и избавивъ отъ нѣкоторыхъ ошибокъ. Миссъ Г. М. Джонсонъ взяла на себя утомительную и скучную обязанность прочесть всю книгу въ рукописи и въ пробномъ оттискѣ и провѣрить замѣчанія. Миссъ Ф. Гардкэстль, изъ Гертонъ-Колледжа, просмотрѣла пробные листы и провѣрила бо̀льшую часть вычисленій, равно какъ и нѣкоторыя примѣчанія. Имъ обѣимъ я въ одинаковой мѣрѣ обязанъ исправленіемъ множества неясностей въ стилѣ, различнаго рода ошибокъ и описокъ. Кромѣ того, миссъ Гардкэстль оказала мнѣ цѣнную услугу тѣмъ, что вычертила значительное количество діаграммъ. Г-ну С. Э. Инглису я обязанъ фигурой 81, а В. Г. Веслею, члену Королевскаго Астрономическаго Общества, различными указаніями по литературѣ предмета и содѣйствіемъ въ пріобрѣтеніи иллюстрацій.

Наконецъ, я считаю пріятнымъ долгомъ выразить нижеслѣдующимъ учрежденіямъ и астрономамъ благодарность за позволеніе воспроизвести фотографіи и рисунки или за полученныя въ даръ копіи оригиналовъ: Совѣту Королевскаго Общества, Совѣту Королевскаго Астрономическаго Общества, директору Ликской обсерваторіи, директору Военно-Гео-

графическаго института во Флоренціи, профессору Барнарду, маіору Дарвину, д-ру Джиллю, Жансену, Леви, Е. В. Маундеру, Г. Пэну, профессору Э. С. Пикерингу, д-ру Шустеру, д-ру Максу Вольфу.

Артуръ Берри.

Королевскій Колледжъ, Кэмбриджъ.
Сентябрь 1898 года.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ГЛАВА I.

Первобытная астрономія, §§ 1—18.

Стр.

Предметъ астрономіи 1

Основныя понятія. Движеніе солнца. Движеніе и фазы луны. Суточное движеніе звѣздъ 2

Успѣхи, достигнутые древними цивилизованными народами: египтянами, китайцами, индусами и халдеями . . . 4

Небесная сфера. Ея научное значеніе. Кажущіяся разстоянія между звѣздами. Измѣреніе угловъ 5

Вращеніе небесной сферы. Сѣверный и южный полюсы. Суточное движеніе. Небесный экваторъ. Околополярныя звѣзды 9

Годичное движеніе солнца. Большіе круги. Эклиптика и ея наклоненіе. Равноденствія и равноденственныя точки. Солнцестоянія и поворотные пункты 12

Созвѣздія. Зодіакъ, знаки зодіака и зодіакальныя созвѣздія. Первая точка Овна и первая точка Вѣсовъ 17

Пять планетъ. Прямое и попятное движеніе. Точки стоянія. 20

Порядокъ разстояній планетъ. Покрытія. Верхнія и нижнія планеты 22

Измѣреніе времени. Сутки и дѣленіе ихъ на часы. Лунный мѣсяцъ. Годъ. Недѣля 24

Затменія. Саросъ 26

Подъемъ астрономіи 27

ГЛАВА II.

Астрономія у грековъ (отъ 600 г. до Р. Х. до 400 г. по Р. Х.), §§ 19—54.

Астрономія до Аристотеля. Греческій календарь. Полный и неполный мѣсяцы. Октаэдрисъ. Метоновъ циклъ 29

Римскій календарь. Введеніе Юліанскаго календаря. . . 31

Григоріанскій календарь 32

Стр.

Древнѣйшая греческая умозрительная астрономія. *Ѳалесъ* и *Пиѳагоръ*. Шарообразность земли. Небесныя сферы. Музыка сферъ 33

Филолай и другіе пиѳагорейцы. Первые сторонники движенія земли: *Аристархъ* и *Селевкъ* 35

Платонъ. Равномѣрное круговое и сферическое движеніе. 37

Эвдоксъ. Изображеніе небесныхъ движеній комбинаціей сферъ. Описаніе созвѣздій. *Калиппъ* 38

Аристотель. Его сферы. Фазы луны. Доказательства шарообразности земли. Его доводы противъ движенія земли. Относительныя разстоянія небесныхъ тѣлъ. Другія размышленія. Оцѣнка его астрономическихъ заслугъ. 41

Древнѣйшая александрійская школа. Ея ростъ. *Аристархъ*. Его оцѣнки разстояній солнца и луны. Наблюденія *Тимохариса* и *Аристилла* 47

Развитіе сферики. «Phenomena» *Эвклида*. Горизонтъ, зенитъ, полюсы большого круга, вертикали, круги склоненія, меридіанъ, небесная широта и долгота, прямое восхожденіе и склоненіе. Солнечные часы 50

Раздѣленіе земной поверхности на зоны 52

Эратосѳенъ. Его измѣреніе земли и наклоненія эклиптики. 54

Гиппархъ. Его жизнь и главныя заслуги передъ астрономіей. *Аполлоніево* изображеніе небесныхъ движеній помощью круговъ. Эпициклы и эксцентрики. 56

Гиппархово объясненіе движеній солнца помощью эксцентрика; апогей, перигей, линія апсидъ, эксцентрицитетъ. Уравненіе центра. Эпициклъ и деферентъ 57

Теорія луны. Синодическій и сидерическій мѣсяцы. Движеніе лунныхъ узловъ и апсидъ. Драконическій и аномалистическій мѣсяцы 66

Наблюденія планетъ. Методъ затменій, связывающій разстоянія солнца и луны. Оцѣнка ихъ разстояній 69

Звѣздный каталогъ Гиппарха. Открытіе предваренія равноденствій. Тропическій и звѣздный годы. 70

Затменія солнца и луны. Соединенія и противостоянія. Частное, полное и кольцеобразное затменіе. Параллаксъ . 77

Отзывъ *Деламбра* о Гиппархѣ 84

Медленность успѣховъ астрономіи послѣ Гиппарха. Доказательство *Плинія* шарообразности земли. Новое измѣреніе земли *Посидоніемъ* . . . . . —

Птоломей. «Альмагестъ» и «Оптика». Теорія преломленія . 85

Обзоръ Альмагеста. Птоломеевы постулаты. Доводы противъ движенія земли 87

Стр.

Теорія луны. Эвекція и просневзисъ 90
Астролябія. Параллаксъ и разстоянія солнца и луны . . 93
Звѣздный каталогъ. Прецессія 94
Теорія планетъ. Эквантъ 95
Заслуги Птоломея 100
Упадокъ древней астрономіи. *Теонъ* и *Гипатія* 101
Оцѣнка греческой астрономіи 102

ГЛАВА III.

Средніе вѣка (отъ 600 до 1500 г. по Р. Х.), §§ 55—69.

Медленное развитіе астрономіи въ этомъ періодѣ 106
Востокъ. Появленіе астрономической школы при дворѣ калифовъ. Возрожденіе астрологіи. Переводы съ греческаго *Гонейна бенъ-Ишака, Ишака бенъ-Гонейна, Табита бенъ-Корра* и другихъ 107
Багдадская обсерваторія. Измѣреніе земли. Поправки астрономическихъ данныхъ грековъ. Трепидація 109
Альбатеній. Открытіе движенія солнечнаго апогея . . . 110
Абулъ-Вэфа. Мнимое открытіе варіаціи луны. *Ибнъ-Юнисъ.* «Гакемитскія таблицы» 111
Развитіе астрономіи въ магометанскихъ владѣніяхъ Марокко и Испаніи. *Арзахель.* «Толедскія таблицы» 112
Нассиръ-Эддинъ и его школа. «Ильханскія таблицы». Болѣе точная оцѣнка прецессіи 113
Татарская астрономія. *Улугъ-Бегъ.* Его звѣздный каталогъ. 115
Оцѣнка восточной астрономіи этого періода. Арабскія цифры. Арабскія названія звѣздъ и астрономическіе термины. Надиръ. . . . . —
Западъ. Общій застой послѣ упадка римской имперіи. *Бэда.* Возрожденіе наукъ при дворѣ *Карла Великаго. Алкуинъ* 117
Вліяніе мусульманской науки. *Гербертъ.* Переводы съ арабскаго. *Платонъ Тиволійскій, Ателяръ изъ Бата, Герардо изъ Кремоны. Альфонсъ X* и его школа. «Альфонсинскія таблицы» и «Libros del Saber» 118
Ученые тринадцатаго вѣка: *Альбертъ Великій. Чекко д'Асколи, Роджеръ Бэконъ.* «Sphaera Mundi» *Сакробоско* . . . 120
Пурбахъ и *Регіомонтанъ.* Вліяніе оригинальныхъ греческихъ авторовъ. Нюрнбергская школа. *Вальтеръ.* Книгопечатаніе. Конфликтъ между взглядами Аристотеля и Птоломея. Небесныя сферы среднихъ вѣковъ. Твердь и первый двигатель 121

Стр.

Леонардо да Винчи. Пепельный свѣтъ. *Фракасторъ* и *Аганъ.* Наблюденія кометъ. *Нониусъ.* Измѣреніе земли *Фернеля* 127

ГЛАВА IV.

Коперникъ (1473—1543 г.), §§ 70—92.

Возрожденіе наукъ 130

Жизнь *Коперника.* Развитіе его идей. Обнародованіе «Commentariolus». *Ретикъ* и «Prima Narratio». Обнародованіе «De Revolutionibus» 132

Центральная идея труда Коперника. Отношеніе къ прежнимъ писателямъ 140

De Revolutionibus. Первая книга. Постулаты. Принципъ относительнаго движенія въ приложеніи къ кажущемуся годичному движенію солнца и суточному движенію небесной сферы 142

Два движенія земли. Отвѣты на возраженія 148

Движеніе планетъ 150

Времена года 152

Конецъ первой книги. Вторая книга. Увеличеніе наклоненія эклиптики. Звѣздный каталогъ 154

Третья книга. Прецессія 155

Третья книга. Годичное движеніе земли. Афелій и перигелій. Четвертая книга. Теорія луны. Разстоянія солнца и луны. Затменія 156

Пятая и шестая книги. Теорія планетъ. Синодическій и сидерическій періоды 158

Объясненіе точекъ стоянія 165

Подробная теорія планетъ; недостатки теоріи 168

Коперникъ пользуется эпициклами 170

Затрудненія въ его системѣ 171

ГЛАВА V.

Принятіе Коперниковой теоріи и успѣхи наблюденія (1543—1601 г.), §§ 93—112.

Первый пріемъ оказанный «De Revolutionibus»; *Рейнольдъ.* «Прусскія таблицы» 173

Коперниканство въ Англіи. *Фильдъ, Рекордъ, Диггсъ* . . . 176

Затрудненія въ признаніи Коперниковой системы. Недостатокъ успѣховъ динамики и наблюденій. . . . . —

Стр.

Кассельская обсерваторія. Ландграфъ *Вильгельмъ IV, Роттманъ* и *Бюрги*. Звѣздный каталогъ. Бюрги изобрѣтаетъ маятникъ 178

Тихо Браге. Первые годы его жизни 180

Новая звѣзда 1572 года. Путешествія по Германіи . . . 182

Поселеніе на Гвэнѣ. Уранибургъ и Стьернеборгъ. Жизнь и труды на Гвэнѣ 184

Комета 1577 года и другія 188

Книги о новой звѣздѣ и кометѣ 1577 года . . . . . —

Тихова система міра. Ссора съ *Реймерсомъ Бэромъ* . . . 189

Послѣдніе годы на Гвэнѣ; разрывъ съ королемъ 192

Изданіе «Astronomiae Instauratae Mechanica» и звѣзднаго каталога. Приглашеніе отъ императора 193

Жизнь въ Бенатекѣ. Сотрудничество *Кеплера*. Смерть . . 194

Судьба Тиховыхъ наблюденій и инструментовъ 195

Оцѣнка трудовъ Тихо. Точность его наблюденій. Усовершенствованіе искусства наблюденія 196

Исправленныя оцѣнки астрономическихъ постоянныхъ. Теорія луны. Варіація и годичное уравненіе 199

Звѣздный каталогъ. Отказъ отъ трепидаціи. Неоконченный трудъ о планетахъ 200

ГЛАВА VI.

Галилей (1564—1642 г.), §§ 113—134.

Первые годы 202

Маятникъ 203

Обращеніе отъ медицины къ математикѣ. Его первая книга 204

Профессура въ Пизѣ. Опыты надъ падающими тѣлами. Протесты противъ ига авторитета . . . . . —

Профессура въ Падуѣ. Усвоеніе взглядовъ Коперника. 207

Телескопическія открытія. Изобрѣтеніе телескопа *Липперсгеймомъ*. Его примѣненіе къ астрономіи *Гарріотомъ, Симономъ Маріемъ* и Галилеемъ 208

«Звѣздный Вѣстникъ». Наблюденія луны 209

Новыя звѣзды. Разрѣшеніе частей Млечнаго Пути . . . 211

Открытіе спутниковъ Юпитера. Ихъ важность для Коперниканекаго спора. Споры 212

Назначеніе къ Тосканскому двору 214

Наблюденія Сатурна. Открытіе фазъ Венеры 215

Наблюденія надъ солнечными пятнами *Фабриція*, Гарріота, *Шейнера* и Галилея. «Macchie Solari». Доказательство, что пятна не планеты. Наблюденія надъ тѣнью и полутѣнью 216

Стр.

Ссора съ Шейнеромъ и іезуитами. Богословскіе споры. Письмо къ великой герцогинѣ *Христинѣ* 220
Поѣздка въ Римъ. Первое осужденіе. Запрещеніе Коперниковыхъ книгъ 222
Методъ опредѣленія долготы. Споръ о кометахъ. «Il Saggiatore» 224
Разговоръ о двухъ главныхъ системахъ міра. Его подготовленіе и обнародованіе. 226
Собесѣдники. Опора для Коперниковой системы въ телескопическихъ открытіяхъ. О звѣздномъ параллаксѣ. Дифференціальный методъ параллакса 227
Динамическіе доводы въ пользу движенія земли. Первый законъ движенія. Приливы 231
Судъ и осужденіе. Тонко замаскированное коперниканство «Разговора». Замѣчательное предисловіе 235
Вызовъ въ Римъ. Судъ инквизиціи. Осужденіе, отреченіе и наказаніе. Запрещеніе «Разговора» 236
Послѣдніе дни. Жизнь въ Арчетри. Либрація луны. «Двѣ новыя науки». Равномѣрное ускореніе и первый законъ движенія. Слѣпота и смерть. 240
Оцѣнка трудовъ Галилея. Его научный методъ 245

ГЛАВА VII.

Кеплеръ (1571—1630 г.), §§ 135—151.

Первые годы и богословскія занятія 249
Лекціи математики въ Грацѣ. Астрономическія изслѣдованія и размышленія. «Mysterium Cosmographicum» 250
Религіозныя волненія въ Штиріи. Работа съ Тихо . . . 253
Назначеніе въ преемники къ Тихо отъ императора *Рудольфа*. Сочиненіе о новой звѣздѣ 1604 г. и по оптикѣ. Теорія преломленія и новая форма телескопа . . . . . —
Изученіе движеній Марса. Неудачныя попытки объяснить ихъ 255
Эллипсъ. Открытіе первыхъ двухъ законовъ Кеплера примѣнительно къ Марсу. «Комментаріи о движеніяхъ Марса» . 257
Предположительное распространеніе Кеплеровыхъ законовъ на другія планеты 260
Отреченіе и смерть Рудольфа. Назначеніе въ Линцъ . . 261
«Гармонія міра». Открытіе третьяго закона Кеплера. «Музыка сферъ» 262
«Сокращеніе Коперниковой астрономіи». Его запрещеніе. Своеобразная поправка разстоянія солнца. Наблюденіе солнечной короны. 265

Стр.

Трактатъ о кометахъ 267
Религіозныя волненія въ Линцѣ. Переѣздъ въ Ульмъ . . 269
«Рудольфинскія таблицы» . . . . . —
Работа у *Валленштейна*. Смерть 270
Мелкія открытія. Размышленія о тяжести 271
Оцѣнка трудовъ Кеплера и характера его ума. 273

ГЛАВА VIII.

Отъ Галилея до Ньютона (1638—1687 г.), §§ 152—163.

Общій характеръ астрономическаго прогресса въ теченіе этого періода 275
Шейнеровы наблюденія солнечныхъ факеловъ. *Гевелій*. Его «Селенографія» и сочиненія о кометахъ. Его звѣздный каталогъ. «Новый Альмагестъ» *Риччіоли* 276
Планетныя наблюденія. *Гюйгенсово* открытіе спутника Сатурна и его кольца 277
Изобрѣтеніе микрометра *Гаскойнемъ* и *Озу*. Телескопическія перекрестныя нити *Пикара* 281
Горроксъ. Распространеніе Кеплеровой теоріи на луну. Наблюденіе прохожденія Венеры . . . . . —
Гюйгенсово открытіе часового маятника. Его теорія кругового движенія 282
Измѣреніе земли *Снелліемъ*, *Норвудомъ* и Пикаромъ . . . 284
Парижская обсерваторія. *Доминикъ Кассини*. Его открытіе четырехъ новыхъ спутниковъ Сатурна. Прочія его работы . —
Кайеннская экспедиція *Рише*. Наблюденія надъ маятникомъ. Наблюденія Марса въ противостояніи. Горизонтальный параллаксъ. Годичный или звѣздный параллаксъ . . 286
Ремеръ и скорость свѣта 289
Декартъ 290

ГЛАВА IX.

Всемірное тяготѣніе (1643—1727 г.), §§ 164—195.

Дѣленіе жизни *Ньютона* на три періода 292
Первые годы, 1643—1665 г. . . . . —
Большой продуктивный періодъ 1665—1687 гг. 293
Главныя подраздѣленія его трудовъ: астрономія, оптика, чистая математика 294
Оптическія открытія. Отражательные телескопы *Грегори* и Ньютона. Спектръ . . . . . —

Стр.

Ньютоново описаніе своихъ открытій 1665—1666 г. . . . 295

Начало его работы надъ тяготѣніемъ. Прежнія мысли объ этомъ предметѣ Кеплера, *Борелли* и Гюйгенса 296

Проблема кругового движенія. Ускореніе 297

Законъ обратныхъ квадратовъ, полученный изъ третьяго закона Кеплера планетныхъ орбитъ, разсматриваемыхъ какъ круги 300

Распространеніе земной тяжести до луны. Несовершенство теоріи 302

Размышленія *Гука* и *Рена* о планетныхъ движеніяхъ и о тяжести. Ньютоново второе вычисленіе движенія луны. Согласіе съ наблюденіемъ 307

Рѣшеніе задачи эллиптическаго движенія. Посѣщеніе Ньютона *Галлеемъ* . . . . . —

Представленіе въ Королевское Общество трактата «De Motu». Изданіе «Principia» 309

«Principia». Ихъ дѣленіе 310

Законы движенія. Первый законъ. Ускореніе въ его общей формѣ. Масса и сила. Третій законъ 311

Возвѣщеніе закона всемірнаго тяготѣнія 316

Притяженіе сферы 317

Общая задача объясненія движеній солнечной системы тяготѣніемъ и законами движенія. Возмущенія 318

Лунная теорія Ньютона 320

Измѣреніе массы планеты силой, съ какой она притягиваетъ своихъ спутниковъ 321

Движеніе солнца. Центръ тяжести солнечной системы. Относительность движенія 322

Несферичность формы земли и Юпитера 324

Объясненіе прецессіи 326

Приливы. Масса луны, вычисленная на основаніи приливныхъ наблюденій 327

Движенія кометъ. Параболическія орбиты 330

Принятіе «Principia» 332

Третій періодъ жизни Ньютона, 1687—1727 гг. Парламентская карьера. Улучшеніе лунной теоріи. Назначеніе къ монетному двору и переѣздъ въ Лондонъ. Выпускъ «Оптики» и второго и третьяго изданій «Principia» *Котсомъ* и *Пембертономъ*. Смерть 334

Оцѣнка трудовъ Ньютона *Лейбницемъ*, *Лагранжемъ* и имъ самимъ 336

Стр.

Сравненіе его астрономическихъ трудовъ съ работами его предшественниковъ. Объясненіе и описаніе. Понятіе о матеріальной вселенной, какъ о состоящей изъ тѣлъ, притягивающихъ другъ друга по опредѣленнымъ законамъ . . . 337
Научный методъ Ньютона: «Hypotheses non fingo» 341

ГЛАВА X.

Наблюдательная астрономія въ XVIII вѣкѣ, §§ 196—227.

Астрономія тяготѣнія. Ея развитіемъ мы почти всецѣло обязаны астрономамъ континента. Польза анализа. Англійская наблюдательная астрономія 344
Флэмстидъ. Основаніе Гринвичской обсерваторіи. Его звѣздный каталогъ 347
Галлей. Каталогъ южныхъ звѣздъ 352
Комета Галлея 353
Вѣковое ускореніе средняго движенія луны 354
Прохожденія Венеры 355
Собственныя движенія неподвижныхъ звѣздъ 356
Лунныя и планетныя таблицы. Жизнь въ Гринвичѣ. Мелкія работы . . . . . —
Брадлей. Жизнь 359
Открытіе и объясненіе аберраціи. Постоянная аберраціи. 361
Неудачныя попытки открыть параллаксъ 370
Открытіе нутаціи. *Мэчинъ* 371
Таблицы спутниковъ Юпитера Брадлея и *Варгентина*. Опредѣленіе долготъ и другіе труды 376
Его наблюденія. Редукція 378
Плотность земли. *Маскелайнъ*. Опытъ *Кэвендиша* . . . 381
Французская школа *Кассини-Маральди* 384
Измѣренія земли. Лапландская и Перувіанская дуги. *Мопертюи* 385
Лакайль. Его жизнь. Экспедиція на мысъ Доброй Надежды. Звѣздные каталоги и другіе труды 390
Товія Майеръ. Его наблюденія. Лунныя таблицы. Премія за нахожденіе метода долготъ 394
Прохожденія Венеры 1761 и 1769 гг. Разстояніе солнца . 397

ГЛАВА XI.

Астрономія тяготѣнія въ XVIII столѣтіи, §§ 228—250.

Ньютонова проблема. Задача о трехъ тѣлахъ. Методъ приближенія. Лунная теорія и планетная теорія 402

Стр.

Прогрессъ принциповъ Ньютона во Франціи. Популяризація *Вольтера*. Пять великихъ астрономовъ-математиковъ. Первенство Франціи 407

Эйлеръ. Его жизнь. Петербургъ и Берлинъ. Его сочиненія 408

Клеро. Фигура земли. Возвращеніе кометы Галлея . . . 411

Даламберъ. Его динамика. Прецессія и нутація. Его разносторонность. Соперничество съ Клеро 414

Лунныя теоріи и лунныя таблицы *Эйлера*, Клеро и Даламбера. Усовершенствованіе лунной теоріи Ньютона. . . 416

Планетная теорія. Опредѣленіе Клеро массъ луны и Венеры. *Ланландъ* 420

Планетная теорія Эйлера. Методъ варіаціи элементовъ или параметровъ 423

Лагранжъ. Его жизнь. Берлинъ и Парижъ. «Аналитическая механика» 427

Лапласъ. Его жизнь. «Небесная механика» и «Система міра». Политическія назначенія и отличія 430

Успѣхи Лагранжа и Лапласа по сравненію съ трудами ихъ ближайшихъ предшественниковъ 432

Объясненіе вѣкового ускоренія луны Лапласомъ . . . 433

Лунная теорія Лапласа. Таблицы *Бюрга* и *Буркгардта*. 435

Періодическія и вѣковыя неравенства 436

Объясненіе взаимныхъ возмущеній Юпитера и Сатурна. Большія неравенства 439

Теоремы устойчивости солнечной системы. Фондъ эксцентрицитета и фондъ наклоненія 441

Величина нѣкоторыхъ вѣковыхъ неравенствъ 448

Періодическія неравенства. Солнечныя и планетныя таблицы на основѣ «Небесной механики» . . . . . —

Малыя задачи астрономіи тяготѣнія. Спутники. Кольцо Сатурна. Прецессія и нутація. Фигура земли. Приливы. Кометы. Массы планетъ и спутниковъ 449

Рѣшеніе Ньютоновой проблемы астрономами восемнадцатаго вѣка 451

Небулярная гипотеза. Ея умозрительный характеръ . . —

ГЛАВА XII.

Гершель (1738—1822), §§ 251—271.

Юность *Вильяма Гершеля*. Батъ. Его первый телескопъ. 455

Открытіе планеты Урана и его послѣдствія. Переѣздъ Гершеля въ Слоу 458

Стр.

Фабрикація телескоповъ. Бракъ. Сорокафутовый телескопъ. Открытіе Урана и спутниковъ Сатурна 461

Жизнь и работа въ Слоу. Послѣдніе годы. *Каролина Гершель* 463

Астрономическая программа Гершеля. Изслѣдованіе неподвижныхъ звѣздъ 466

Распредѣленіе звѣздъ въ пространствѣ. Черпаніе звѣздъ. Теорія вселенной - жернова. Недостатки основной предпосылки; частичное исправленіе ихъ. Пользованіе яркостью, какъ критеріемъ разстоянія. Измѣреніе яркости. Пространство-проницающая сила телескопа 468

Туманности и звѣздныя скопленія. Большіе каталоги Гершеля. 475

Отношеніе туманностей къ звѣзднымъ кучамъ. Теорія островной вселенной. Теорія свѣтящейся жидкости. Распредѣленіе туманностей 476

Сгущеніе туманностей въ скопленія и звѣзды 479

Неразрѣшимость Млечнаго Пути 481

Звѣздныя пары. Ихъ предположительная пригодность для опредѣленія параллакса. Каталоги. Вѣроятная связь между членами пары . . . . . —

Открытіе обращенія звѣздныхъ паръ. Двойныя звѣзды. Ихъ непригодность для опредѣленія параллакса 484

Движеніе солнца въ пространствѣ. Различныя положенія, указанныя для *апекса* 486

Перемѣнныя звѣзды. Мира и Альголь. Каталоги сравнительной яркости. Методъ послѣдовательности. Перемѣнчивость α Геркулеса 490

Трудъ Гершеля о солнечной системѣ. Новые спутники. Наблюденія Сатурна, Юпитера, Венеры и Марса 493

Наблюденія солнца. *Вильсонъ*. Теорія строенія солнца . 496

Мнимыя перемѣны на солнцѣ 498

Другія изслѣдованія. 499

Сравненіе Гершеля съ современниками. *Шретеръ* . . . —

ГЛАВА XIII.

Девятнадцатый вѣкъ, §§ 272—320.

Три главныя подраздѣленія астрономіи: наблюдательная, тяготѣнія и описательная 501

Сильный ростъ описательной астрономіи въ девятнадцатомъ вѣкѣ 503

Наблюдательная астрономія. Прогрессъ инструментовъ. Введеніе фотографіи 505

Стр.

Методъ наименьшихъ квадратовъ. *Лежандръ* и *Гауссъ* . 506

Другіе труды Гаусса. «Theoria Motus». Вторичное открытіе малой планеты Цереры 508

Бессель. Его улучшеніе метода редукціи. Таблица преломленія. «Fundamenta Nova» и «Tabulae Regiomontanae» . . . 509

Параллаксъ 61 Лебедя. Ея разстояніе 510

Гендерсонъ — параллаксъ α Центавра, и *Струве* — параллаксъ Веги. Новѣйшія опредѣленія параллакса 512

Звѣздные каталоги. Фотографическая карта 513

Разстояніе солнца. Прохожденія Венеры. Наблюденіе Марса и малыхъ планетъ въ противостояніи. Суточный методъ. Гравитаціонный методъ, лунный и планетный. Методы, основанные на скорости свѣта. Сводка результатовъ. 515

Измѣненіе широты. Неупругость земли 520

Астрономія тяготѣнія. Лунная теорія. *Дамуазо, Пуассонъ, Понтекуланъ, Леббокъ, Ганзенъ, Делонэ, профессоръ Нюкомбъ, Адамсъ, д-ръ Гилль* 521

Вѣковое ускореніе средняго движенія луны. Адамсова поправка Лапласа. Приливное треніе въ объясненіи Делонэ. 524

Планетная теорія. *Леверрье, Гюльденъ, Пуанкаре* . . . 525

Открытіе Нептуна Леверрье и д-ромъ *Галле.* Работа Адамса 526

Лунныя и планетныя таблицы. Разногласія между теоріей и наблюденіемъ 528

Кометныя орбиты. Возвращеніе кометы Галлея въ 1835 г. Комета *Энке* и другія періодическія кометы 529

Теорія приливовъ. Анализъ приливныхъ наблюденій Леббока, *Уэвелля,* лорда *Кельвина* и профессора *Дарвина.* Приливы земли и ея неупругость 530

Устойчивость солнечной системы 531

Описательная астрономія. Открытіе малыхъ планетъ или астероидовъ. Ихъ число, распредѣленіе и размѣры . . . 534

Открытіе спутниковъ Нептуна, Сатурна, Урана, Марса и Юпитера, и флероваго кольца Сатурна 539

Поверхность луны. Трещины. Лунная атмосфера . . . 542

Поверхности Марса, Юпитера и Сатурна. Каналы на Марсѣ. *Максвеллева* теорія Сатурновъ кольца. Вращеніе Меркурія и Венеры 543

Поверхность солнца. Открытіе періодичности солнечныхъ пятенъ, сдѣланное *Швабе.* Связь между солнечными пятнами и земнымъ магнетизмомъ. Наблюденія *Кэррингтона* надъ движеніемъ и распредѣленіемъ пятенъ. Теорія пятенъ Вильсона 547

Стр.

Спектральный анализъ. Ньютонъ, *Волластонъ, Фраунгоферъ, Кирхгоффъ*. Химія солнца 549

Затменія солнца. Корона, хромосфера и выступы. Спектроскопическіе методы наблюденія 554

Спектроскопическій методъ опредѣленія движенія по лучу зрѣнія наблюдателя. Принципъ *Допплера*. Приложеніе его къ солнцу 556

Составъ солнца 558

Наблюденія кометъ. Ядро. Теорія образованія ихъ хвостовъ. Ихъ спектры. Родство между кометами и метеорами. 559

Звѣздная астрономія. Жизнь *Джона Гершеля*. Его каталоги туманностей и двойныхъ звѣздъ. Экспедиція на мысъ Доброй Надежды. Измѣреніе солнечной теплоты Гершелемъ и *Пулье* 564

Двойныя звѣзды. Наблюденія *Струве* и другихъ. Орбиты физическихъ паръ 567

Телескопы лорда *Росса*. Его наблюденія туманностей. Возрожденіе теоріи островныхъ вселенныхъ 570

Приложеніе спектроскопа къ изученію туманностей. Различіе между туманностями и кучами 571

Спектроскопическая классификація звѣздъ *Секки*. Химія звѣздъ. Звѣзды, въ спектрѣ которыхъ наблюдаются свѣтлыя линіи 572

Движеніе звѣздъ по лучу зрѣнія. Открытіе физическихъ паръ помощью спектроскопа. Теорія затменій перемѣнныхъ звѣздъ 573

Наблюденія перемѣнныхъ звѣздъ 574

Звѣздная фотометрія. *Погсоново* свѣтовое отношеніе. Оксфордская, Гарвардская и Потсдамская фотометрія . . 575

Структура звѣздной системы. Отношеніе звѣздъ и туманностей 576

Лапласова небулярная гипотеза при свѣтѣ новѣйшихъ открытій. Солнечная теплота. Теорія сжатія *Гельмгольца*. Вліяніе приливнаго тренія на развитіе солнечной системы. Теорія профессора Дарвина относительно происхожденія луны. Заключенія 578

Указатель именъ 585

Предметный указатель 591

Литературный указатель 605

СПИСОКЪ ИЛЛЮСТРАЦІЙ.

Фиг. *Стр.*

Луна. Заглавный.

1. Небесная сфера 7
2. Суточные пути околополярныхъ звѣздъ . . . . къ 11
3. Круги небесной сферы 12
4. Экваторъ и эклиптика 16
5. Большая Медвѣдица . . . . . къ 17
6. Видимый путь Юпитера 22
7. Видимый путь Меркурія 23
8—11. Фазы луны . . . . . 42—44
12. Кривизна земли 45
13 Методъ Аристарха для опредѣленія разстояній солнца и луны 48
14. Экгаторъ и эклиптика 50
15. Экваторъ, горизонтъ и меридіанъ 53
16. Измѣреніе земли 55
17. Эксцентрикъ 61
18. Положеніе солнечнаго апогея 63
19. Эпициклъ и деферентъ 65
20. Методъ затменія, связывающій разстоянія солнца и луны 69
21. Возрастаніе долготы звѣзды 73
22. Движеніе экватора 74
23—24. Предвареніе равноденствій . . . . . 74—75
25. Земная тѣнь 78
26. Эклиптика и путь луны 79
27. Солнце и луна . . . . . —
28. Частное затменіе луны . . . . . } 80
29. Полное затменіе луны . . . . . }
30. Кольцеобразное затменіе солнца 81
31. Параллаксъ 83
32. Атмосферное преломленіе 87
33. Параллаксъ 94
34. Эпициклъ и деферентъ Юпитера 97
35. Эквантъ 98

Фиг. *Стр.*
36. Небесныя сферы 125
Портретъ Коперника . . . . . къ 132
37. Относительное движеніе. 145
38. Относительное движеніе солнца и земли . . . . . —
39. Суточное вращеніе земли 147
40. Солнечная система по Копернику 151
41. 42. Коперниково объясненіе временъ года . . . 152, 153
43. Орбиты Венеры и земли 158
44. Синодическій и сидерическій періоды Венеры . . . 160
45. Эпициклъ Юпитера 163
46. Относительные размѣры орбитъ земли и верхней планеты 164
47. Стаціонарныя точки Меркурія 166
48. Стаціонарныя точки Юпитера 167
49. Измѣненіе кажущагося положенія планеты въ зависимости отъ разстоянія земли отъ солнца 170
50. Звѣздный параллаксъ 172
51. Уранибургъ 185
52. Система міра Тихо 190
Портретъ Тихо Браге . . . . . къ 192
53. Одинъ изъ Галилеевыхъ рисунковъ луны . . . къ 210
54. Юпитеръ и его спутники 7 января 1610 года 212
55. Солнечныя пятна . . . . . къ 216
56. Доказательства Галилея, что солнечныя пятна не планеты 218
57. Дифференціальный методъ параллакса 229
Портретъ Галилея . . . . . къ 238
58. Суточная либрація луны 242
Портретъ Кеплера . . . . . къ 254
59. Эллипсъ 257
60. Второй законъ Кеплера 258
61. Діаграмма Кеплера, иллюстрирующая законы планетныхъ движеній 259
62. «Музыка сферъ» по Кеплеру 264
63. Идея Кеплера о тяготѣніи 272
64. Кольцо Сатурна, по рисунку Гюйгенса . . . . къ 278
65. Сатурнъ и кольцо, видимое съ края . . . . . къ —
66. Фазы кольца Сатурна 279
67. Старинныя изображенія Сатурна . . . . . къ 280
68. Марсъ въ противостояніи 287
69. Параллаксъ планеты . . . . . —
70. Круговое движеніе 289
71. Луна, разсматриваемая какъ ядро 305

Фиг. *Стр.*
72. Сфероидальная форма земли 326
73. Удлиненный эллипсъ и парабола 331
Портретъ Ньютона . . . . . къ 334
Портретъ Брадлея . . . . . къ 362
74. 75. Аберрація свѣта 366, 367
76. Аберраціонный эллипсъ 368
77. Прецессія и нутація 374
78. Измѣнчивая кривизна земли 387
79. Карта луны Товіи Майера . . . . . къ 396
80. Путь кометы Галлея 413
81. Варьирующій эллипсъ 426
Портретъ Лагранжа . . . . . къ 428
Портретъ Лапласса . . . . . къ 430
Портретъ Вильяма Гершеля . . . . . къ 460
82. Сорокафутовый телескопъ Гершеля 465
83. Сѣченіе звѣздной системы 470
84. Иллюстрація къ движенію солнца въ пространствѣ . 488
85. 61 Лебедя и двѣ сосѣднія звѣзды 511
86. Параллаксъ 61 Лебедя 512
87. Путь Галлеевой кометы 529
88. Фотографическій слѣдъ малой планеты . . . . . къ 536
89. Пути малыхъ планетъ 537
90. Сравнительная величина трехъ малыхъ планетъ и луны 539
91. Сатурнъ и его система 540
92. Марсъ и его спутники 541
93. Юпитеръ и его спутники 542
94. Апеннины и смежныя области луны . . . . . къ 544
95. Сатурнъ съ кольцомъ . . . . . къ 546
96. Группа солнечныхъ пятенъ . . . . . къ 548
97. Фраунгоферова карта солнечнаго спектра . . . . . къ 550
98. Полное затменіе солнца 22 августа 1886 г. . . . . къ 554
99. Большая комета 1882 г. . . . . къ 560
100. Туманность около η Аргуса . . . . . къ 567
101. Орбита ξ Медвѣдицы 569
102. Спиральныя туманности . . . . . къ 571
103. Спектръ β Возничаго . . . . . къ 574
104. Млечный Путь близъ кучи въ Персеѣ . . . . . къ 577

Луна. Съ фотографіи Ликовской обсерваторіи.

(Къ стр. 1).

КРАТКАЯ ИСТОРІЯ АСТРОНОМІИ.

ГЛАВА I.

Первобытная астрономія.

Неутомимое солнце и круглый, сверкающій мѣсяцъ,
Также и звѣзды, что сводъ необъятнаго неба вѣнчаютъ:
И Оріонъ, и Плеяды, и семеро дщерей Атласа;
Тѣсная кучка Тіадъ, и Медвѣдица, что Колесницы
Прозвище носитъ. Свой оборотъ вкругъ небеснаго вала свершая
На Оріона она око всегда устремляетъ,
И лишь одна изъ безчисленныхъ свѣточей неба
Не поникаетъ челомъ золотымъ въ глубину океана.

Иліада.

1. Астрономія есть наука, изучающая солнце, луну, звѣзды и другіе предметы (напримѣръ, кометы), встрѣчающіеся на небесномъ сводѣ. До нѣкоторой степени она занимается и землею, но интересуется при этомъ только тѣми ея свойствами, которыя присущи и небеснымъ тѣламъ. Въ древности астрономы почти исключительно занимались наблюденіемъ видимыхъ движеній небесныхъ свѣтилъ. Позднѣе они научились опредѣлять разстоянія и размѣры многихъ свѣтилъ, а нѣкоторыя—даже и взвѣшивать; въ послѣднее же время они пріобрѣли массу свѣдѣній относительно природы этихъ свѣтилъ и матеріала, изъ котораго они построены.

2. Мы ничего не знаемъ о зарожденіи астрономіи и можемъ только догадываться, какимъ образомъ нѣкоторые изъ простѣйшихъ научныхъ фактовъ, особенно тѣ, которые имѣли непосредственное вліяніе на человѣческую жизнь и комфортъ, постепенно вошли въ сознаніе первобытнаго человѣчества, подобно тому, какъ съ ними знакомятся современные дикари.

Съ такихъ фактовъ всего удобнѣе начинать дѣло, знакомясь съ ними въ томъ порядкѣ, въ какомъ они сами представляются обыкновенному наблюдателю.

3. Солнце, какъ мы видимъ, ежедневно восходитъ въ восточной части неба, подымается кверху, достигаетъ къ полудню наивысшаго своего положенія на югѣ, затѣмъ начинаетъ спускаться внизъ и, наконецъ, закатывается въ западной части небосклона. Но дневной путь, описываемый имъ на небѣ, не всегда одинаковъ: точки горизонта, въ которыхъ оно восходитъ и заходитъ, высота его на небѣ въ полдень и время, протекающее отъ восхода до заката,—всѣ эти элементы подвержены ряду измѣненій, сопровождаемыхъ перемѣнами въ состояніи погоды, растительности и т. д.; благодаря этому, происходитъ смѣна временъ года, возвращающихся черезъ промежутокъ времени, называемый годомъ.

4. Между тѣмъ какъ солнце всегда представляется намъ въ видѣ яркаго, круглаго диска, наиболѣе замѣтное послѣ него небесное свѣтило, луна, претерпѣваетъ измѣненія въ формѣ, поражающія глазъ наблюдателя и повторяющіяся въ правильномъ порядкѣ и приблизительно черезъ равные промежутки

времени. Нѣсколько труднѣе уловить связь между формой луны и ея положеніемъ на небѣ относительно солнца. Когда луна появляется изъ лучей его вскорѣ послѣ заката, недалеко отъ того мѣста, гдѣ оно зашло, то она имѣетъ видъ тонкаго серпа (фиг. 11 на стр. 44), причемъ вогнутая сторона его обращена отъ солнца, а выпуклая—къ солнцу; въ это время луна закатывается вскорѣ послѣ дневного свѣтила. На слѣдующій вечеръ она уже дальше отъ солнца, серпъ ея шире, и заходитъ она позже. Такъ продолжается дальше, пока не пройдетъ недѣля, въ концѣ которой луна пріобрѣтаетъ форму полудиска; плоскій край его обращенъ въ сторону, противоположную солнцу. Полудискъ растетъ, и въ концѣ второй недѣли превращается въ полный дискъ; въ это время луна стоитъ почти прямо противъ солнца, и потому восходитъ при солнечномъ закатѣ, а заходитъ при восходѣ солнца. Затѣмъ она начинаетъ приближаться къ солнцу съ противоположной стороны, и въ концѣ недѣли снова пріобрѣтаетъ форму полудиска; плоскій край его опять обращенъ отъ солнца, но теперь уже не къ востоку, а къ западу. Полудискъ превращается въ постепенно суживающійся серпъ, время восхода луны приближается ко времени солнечнаго восхода и, наконецъ, луна совсѣмъ исчезаетъ изъ глазъ. Черезъ два-три дня показывается «новая» луна, и рядъ перемѣнъ повторяется снова. Различныя формы, пріобрѣтаемыя луной, называются фазами ея; промежутокъ, обнимающій циклъ такихъ перемѣнъ, т.-е. мѣсяцъ, естественно долженъ былъ показаться удобнымъ мѣриломъ времени; такимъ образомъ, день, мѣсяцъ и годъ легли въ

основу первобытной грубой системы измѣренія времени.

5. Нѣсколько наблюденій надъ звѣздами съ достаточной ясностью убѣждаютъ въ томъ, что и эти свѣтила, подобно солнцу и лунѣ, измѣняютъ свое положеніе на небесномъ сводѣ; что тѣ изъ нихъ, которыя находятся въ восточной части горизонта, подымаются вверхъ, находящіяся на западѣ спускаются внизъ и закатываются, что иныя передвигаются по небосклону съ востока на западъ, а другія, хотя и участвуютъ въ движеніи, никогда не восходятъ и не заходятъ. Хотя первыя попытки полной классификаціи звѣздъ относятся къ позднѣйшей стадіи науки, однако, уже и первымъ наблюдателямъ легко было распознать и выдѣлить нѣсколько звѣздныхъ группъ, и ихъ положеніемъ на небѣ могли пользоваться для грубой оцѣнки времени въ ночную пору, подобно тому, какъ положеніе солнца опредѣляетъ время дня.

6. Впослѣдствіи эти основныя понятія были значительно расширены по мѣрѣ того, какъ съ теченіемъ времени накоплялось все больше наблюденій и они становились точнѣе, и когда къ объясненію ихъ приложены были извѣстныя усилія мысли.

Нѣкоторые народы, достигшіе высокой ступени цивилизаціи уже въ древнѣйшее время, претендуютъ на важные успѣхи въ области астрономіи. Греки приписываютъ значительныя астрономическія познанія египетскимъ жрецамъ, жившимъ за тысячи лѣтъ до Р. Х., и нѣкоторыя особенности въ устройствѣ пирамидъ дѣйствительно указываютъ на существованіе довольно точныхъ астрономическихъ наблюденій въ ту отдаленную эпоху; у ки-

тайцевъ имѣются записи наблюденій, восходящихъ, какъ думаютъ, къ XXV в. до Р. Х.; нѣкоторыя священныя книги индусовъ заставляютъ предполагать у нихъ существованіе астрономическихъ свѣдѣній еще раньше этой эпохи нѣсколькими вѣками; а первыя наблюденія вавилонскихъ жрецовъ-халдеевъ относятся приблизительно къ той же эпохѣ, развѣ что немногимъ позже.

Съ другой стороны, первыя записи астрономическихъ наблюденій, подлинность которыхъ не подлежитъ никакому сомнѣнію, встрѣчаются только въ VIII в. до Р. Х.

Мы не будемъ пытаться выдѣлить изъ массы сомнительныхъ преданій и гадательныхъ толкованій надписей, трактующихъ объ этой древней астрономіи, нѣсколько зеренъ истины, заключающихся въ нихъ, а займемся тѣми астрономическими познаніями, какія находились въ распоряженіи первыхъ исторически извѣстныхъ астрономовъ — грековъ, въ началѣ ихъ научнаго поприща, оставивъ открытымъ вопросъ о томъ, какую часть ихъ они получили отъ египтянъ, халдеевъ, какую — отъ своихъ предковъ или изъ другихъ источниковъ.

7. Если вы взглянете на небо въ ясную ночь, то вамъ покажется, что вы видите безчисленное множество [1]) звѣздъ, разбросанныхъ по сферической поверхности, въ центрѣ которой находится наблюдатель. Эта сферическая поверхность, т.-е. небо, въ астрономіи носитъ названіе **небесной сферы**; видимая часть этой сферы ограничена землей, такъ

[1]) Въ нашемъ климатѣ 2000 есть приблизительно наибольшее число звѣздъ, которыя даже очень зоркій наблюдатель можетъ видѣть за разъ (одновременно).

что глазъ обозрѣваетъ лишь половину ея; но достаточно самаго слабаго усилія воображенія, чтобы представить себѣ и другую половину ея, какъ бы лежащую подъ землей и заключающую въ себѣ остальныя звѣзды и солнце. Эта сфера представляется наблюдателю очень большою, хотя онъ и не въ состояніи произвести точной оцѣнки ея размѣровъ [1]).

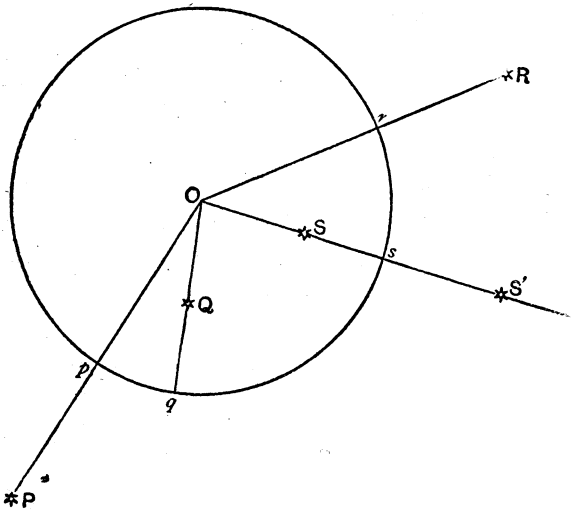
Большею частью мы еще въ дѣтствѣ узнаемъ о томъ, что звѣзды находятся отъ насъ на различныхъ разстояніяхъ, и что никакой сферы въ дѣйствительности не существуетъ. Древніе народы этого не знали: для нихъ небесная сфера обладала реальнымъ существованіемъ и представлялась твердымъ, полымъ хрустальнымъ шаромъ.

Но и современные астрономы, подобно древнимъ, находятъ удобнымъ пользоваться этой несуществующей сферой для очень многихъ цѣлей, такъ какъ она даетъ наилучшій способъ представленія тѣхъ направленій, по которымъ мы видимъ небесныя тѣла, и ихъ движеній. Направленіе — это все, что намъ можетъ сказать прямое наблюденіе относительно положенія такого, напримѣръ, объекта, какъ звѣзда; разстояніе, если только его можно вообще узнать, опредѣляется не прямыми способами. Начертимъ сферу и помѣстимъ въ центрѣ ея, въ точкѣ O, глазъ наблюдателя (фиг. 1), затѣмъ проведемъ прямую линію отъ O къ звѣздѣ S; она

---

[1]) Благодаря тому, что звѣзды надъ головой кажутся намъ ярче, онѣ представляются намъ и ближе, чѣмъ у горизонта, и потому мы склонны думать, что наблюдаемъ меньше половины небесной сферы. Впрочемъ, это обстоятельство не играетъ существенной роли.

пресѣчетъ небесную сферу въ точкѣ *s*. Звѣзда намъ представится тогда въ точкѣ *s*, и кажущееся положеніе ея не измѣнится, гдѣ бы она ни помѣщалась: въ точкѣ ли S′ или S″, лишь бы на той же линіи. Значитъ, когда мы говоримъ, что звѣзда находится въ точкѣ *s* на небесномъ сводѣ, то этимъ мы хотимъ лишь сказать, что она лежитъ въ направленіи



Фиг. 1. Небесная сфера.

точки *s*, другими словами—гдѣ-нибудь на прямой линіи OS, продолженной въ пространство. Преимущества этого метода опредѣленія положеній звѣздъ сразу станутъ намъ понятны, если мы пожелаемъ сравнить положенія нѣсколькихъ звѣздъ между собою. Разница въ направленіи двухъ звѣздъ выражается угломъ, составленнымъ прямыми, идущими отъ этихъ звѣздъ къ глазу; напримѣръ, если

звѣзды суть R и S, то угломъ ROS. Равнымъ образомъ, различіе въ положеніи другой пары звѣздъ, P и Q, выражается угломъ POQ. Звѣзды P и Q кажутся ближе или дальше другъ отъ друга сравнительно со звѣздами R и S въ зависимости отъ того, какой уголъ больше, POQ или ROS. Если мы отмѣтимъ положеніе звѣздъ соотвѣтственными точками *p*, *q*, *r*, *s* на небесной сферѣ, то въ силу основного свойства шара уголъ POQ (или, что все равно, *p*O*q*) окажется больше или меньше угла ROS (или *r*O*s*), въ зависимости отъ того, больше ли дуга *pq*, или меньше дуги *rs*, и въ такомъ же отношеніи; если, напримѣръ, уголъ POQ вдвое меньше угла ROS, то и дуга *pq* окажется вдвое меньше дуги *rs*. Вотъ почему во всѣхъ случаяхъ, гдѣ дѣло идетъ о направленіи звѣздъ, мы можемъ замѣнять уголъ между ихъ направленіями дугою, соединяющею соотвѣтственныя точки на небѣ, другими словами—разстояніемъ между этими точками на небесной сферѣ. Эти дуги небесной сферы легче опредѣлять и глазомъ, и геометрическимъ путемъ, чѣмъ углы, и поэтому небесная сфера имѣетъ для насъ важное значеніе, помимо историческаго. Не слѣдуетъ забывать, что это видимое, **кажущееся разстояніе** между двумя звѣздами, т.-е. разстояніе между ними на небесной сферѣ, не имѣетъ ничего общаго съ ихъ дѣйствительнымъ разстояніемъ другъ отъ друга въ пространствѣ. На рисункѣ, напримѣръ, Q гораздо ближе къ S, чѣмъ къ P, однако, кажущееся разстояніе, измѣряемое дугой *qs*, во много разъ превосходитъ дугу *qp*. Это кажущееся разстояніе между двумя точками на небесной сферѣ численно измѣряется угломъ между линіями,

идущими отъ этихъ точекъ къ глазу, въ **градусахъ, минутахъ и секундахъ** [1]).

Разумѣется, мы могли бы придать небесной сферѣ произвольно опредѣленные размѣры и затѣмъ выражать разстоянія между точками ея въ миляхъ, футахъ или дюймахъ; но это повлекло бы за собою большія практическія неудобства. Сказать, какъ говорятъ нѣкоторые, что разстояніе между двумя звѣздами равно столькимъ-то футамъ—значитъ, сказать безсмыслицу, если при этомъ не дается указаній на предполагаемую величину небесной сферы.

Мы уже говорили, что наблюдатель всегда остается въ центрѣ небесной сферы; это справедливо даже и въ томъ случаѣ, если онъ мѣняетъ свое мѣстопребываніе. Шаръ, однако, обладаетъ только однимъ центромъ, и если сфера неподвижна, то наблюдатель не можетъ передвигаться внутри ея, оставаясь постоянно въ центрѣ. Древніе астрономы устраняли эту несообразность допущеніемъ, что небесная сфера настолько огромна, что всѣ передвиженія наблюдателя оказываются ничтожными по сравненію съ ея радіусомъ, и потому ими можно пренебречь. Такъ какъ мы пользуемся небесной сферой, какъ геометрической фикціей, то удобнѣе всего считать, что она передвигается вмѣстѣ съ наблюдателемъ, благодаря чему онъ и остается въ центрѣ.

8. Хотя всѣ звѣзды кажутся намъ движущимися по небу, и быстрота ихъ движеній различна, тѣмъ не менѣе разстояніе между любыми двумя звѣздами остается неизмѣннымъ; вслѣдствіе этого, ихъ счи-

---

[1]) Прямой уголъ дѣлится на девяносто градусовъ (90°), градусъ — на шестьдесятъ минутъ (60′), минута — на шестьдесятъ секундъ (60″).

тали прикрѣпленными къ небесной тверди. Кромѣ того, мало-мальски внимательное наблюденіе показываетъ, что, несмотря на кажущееся различіе звѣздныхъ движеній, въ нихъ есть и нѣчто общее; именно, движеніе ихъ происходитъ такимъ образомъ, какъ будто небесная сфера (съ прикрѣпленными къ ней звѣздами) вращается на оси, проходящей черезъ центръ и черезъ точку, лежащую поблизости такъ-называемой полярной звѣзды. Эта точка называется **полюсомъ**. Но такъ какъ всякая прямая, проведенная черезъ центръ сферы, встрѣчаетъ ее въ двухъ точкахъ, то ось небесной сферы пересѣкаетъ ее и во второй точкѣ, противоположной первой, и лежащей въ той половинѣ небесной сферы, которая находится подъ горизонтомъ. Эта вторая точка также носитъ названіе полюса; для отличія первую называютъ **сѣвернымъ**, а вторую— **южнымъ полюсомъ**. Звѣзды, разсѣянныя поблизости сѣвернаго полюса, описываютъ вокругъ него круги въ направленіи, обратномъ движенію часовой стрѣлки; въ этомъ направленіи вращается, значитъ, и вся небесная сфера. Вращеніе это совершается равномѣрно въ теченіе двадцати четырехъ часовъ безъ четырехъ минутъ, такъ что звѣзда, занявшая какое-нибудь опредѣленное положеніе на небѣ въ полночь, займетъ то же положеніе на слѣдующую ночь въ двѣнадцать часовъ безъ четырехъ минутъ.

Луна, подобно звѣздамъ, участвуетъ въ этомъ движеніи небесной сферы, точно такъ же и солнце, хотя это послѣднее обстоятельство труднѣе замѣтить, благодаря тому, что звѣздъ не видно при солнечномъ свѣтѣ.

Фиг. 2. Пути околополярныхъ звѣздъ, отмѣчающіе ихъ перемѣщеніе за семичасовой промежутокъ. Съ фотографіи Г. Пэна. Самая толстая линія обозначаетъ путь полярной звѣзды.

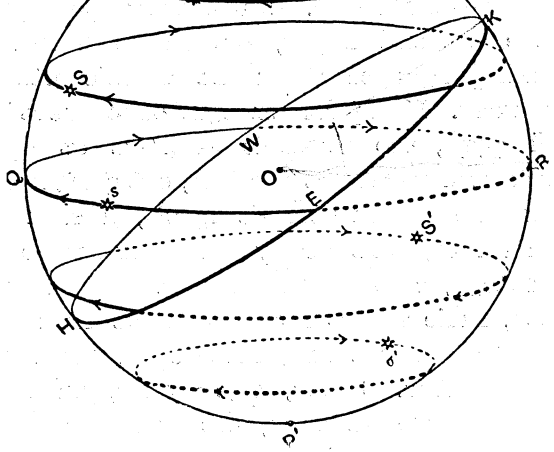
(Къ стр. 11).

Означенное движеніе, присущее всѣмъ небеснымъ тѣламъ, въ отличіе отъ другихъ, какими они обладаютъ, называется **суточнымъ движеніемъ** или **суточнымъ вращеніемъ** неба.

9. Дальнѣйшее изученіе суточнаго вращенія приведетъ насъ къ знакомству съ нѣкоторыми важными кругами небесной сферы.

Каждая звѣзда, вращаясь, описываетъ кругъ, величина котораго зависитъ отъ разстоянія звѣзды отъ полюсовъ. На фиг. 2 отмѣчены фотографическимъ способомъ круги, описанные нѣсколькими околополярными звѣздами въ теченіе нѣкоторой части ночи. Полярная звѣзда описываетъ с малый кругъ, что движеніе ея лишь съ трудомъ распознается простымъ глазомъ, слѣдующія за нею звѣзды описываютъ бо́льшіе круги, и такъ далѣе, пока на полдорогѣ между полюсами мы не встрѣтимъ звѣздъ, которыя описываютъ наибольшій изъ круговъ, какіе только можно описать на небесной сферѣ. Этотъ кругъ называется **экваторомъ**. Взглянувши на фиг. 3 или, еще лучше, на глобусъ, легко убѣдиться въ томъ, что половина экватора (EQW) лежитъ надъ горизонтомъ, а другая половина (WRE, отмѣчена пунктиромъ) подъ нимъ, вслѣдствіе чего звѣзда *s*, лежащая на экваторѣ, половину сутокъ проводитъ надъ горизонтомъ, половину—подъ нимъ. Если звѣзда, какъ, напримѣръ, S, лежитъ къ сѣверу отъ экватора, т.-е. въ одномъ полушаріи съ сѣвернымъ полюсомъ P, то бо́льшую часть своего суточнаго пути она совершаетъ надъ горизонтомъ, а меньшую, отмѣченную пунктиромъ, подъ нимъ; если же звѣзда, скажемъ σ, лежитъ вблизи сѣвернаго полюса, точнѣе, ближе ближайшей

точки горизонта K, то она никогда не заходитъ и вѣчно остается надъ горизонтомъ. Такая звѣзда называется **сѣверной околополярной** звѣздой. Съ другой стороны, звѣзда S′, находящаяся къ югу отъ экватора, совершаетъ надъ горизонтомъ меньшую часть своего суточнаго пути, а звѣзда σ′, раз-



Фиг. 3. Круги небесной сферы.

стояніе которой отъ сѣвернаго полюса больше разстоянія отдаленнѣйшей отъ него точки горизонта H (или, другими словами, болѣе близкая къ южному полюсу, чѣмъ точка H), вѣчно остается подъ горизонтомъ.

10. Достаточно самаго поверхностнаго знакомства со звѣздами, чтобы убѣдиться въ томъ, что однѣ и тѣ же звѣзды не всегда бываютъ видны въ одно и то же время ночи. Болѣе внимательное и продол-

жительное наблюденіе показываетъ, что видъ неба правильно мѣняется изъ ночи въ ночь, и что по истеченіи года тѣ же звѣзды начинаютъ наблюдаться въ тѣ же часы ночи, что и годъ тому назадъ. Объяснить эти перемѣны, обязанныя своимъ существованіемъ движенію солнца по небесной сферѣ, уже гораздо труднѣе, и неизвѣстный наблюдатель, открывшій этотъ фактъ, несомнѣнно сдѣлалъ громадный шагъ впередъ въ развитіи древней астрономіи.

Замѣтьте себѣ какую-нибудь звѣзду въ западной части небосклона, вскорѣ послѣ заката солнца, и попробуйте отыскать ее спустя нѣсколько дней въ тотъ же самый часъ вечера; вы увидите, что она спустилась ниже и какъ бы придвинулась къ солнцу; еще черезъ нѣсколько дней она исчезнетъ, а мѣсто ея займетъ какая-нибудь другая звѣзда, лежащая къ востоку отъ нея. Въ свою очередь, и эта звѣзда будетъ мало-по-малу приближаться къ солнцу. Съ другой стороны, звѣзды, послѣ заката солнца низко стоящія надъ восточнымъ горизонтомъ, съ каждымъ днемъ поднимаются выше, а мѣсто ихъ занимаютъ другія. Такого рода наблюденія надъ звѣздами, восходящими или заходящими во время солнечнаго восхода или захода, убѣдили древнихъ наблюдателей въ томъ, что всѣ звѣзды постепенно мѣняютъ свое положеніе относительно солнца, или что солнце мѣняетъ свое положеніе относительно звѣздъ.

Только что описанныя перемѣны въ связи съ неизмѣнностью положенія звѣздъ относительно другъ друга показываютъ, что звѣзды совершаютъ свое суточное обращеніе быстрѣе солнца, и именно

на такую величину, что въ теченіе года успѣваютъ обогнать его на полный оборотъ вокругъ оси. Это можно выразить еще иначе: всѣ звѣзды движутся по небесной сферѣ къ западу относительно солнца, такъ что звѣзды на востокъ отъ солнца постоянно приближаются къ нему, а лежащія на западѣ отступаютъ отъ него. Съ неменьшей точностью и большей простотой можно это выразить и такъ: звѣзды какъ бы прикрѣплены къ небесной сферѣ, а солнце какъ бы движется по ней между звѣздъ отъ запада къ востоку (то-есть въ направленіи, противоположномъ суточному вращенію) съ такой скоростью, что въ теченіе года успѣваетъ совершить полный оборотъ на небесной сферѣ и вернуться въ прежнее положеніе.

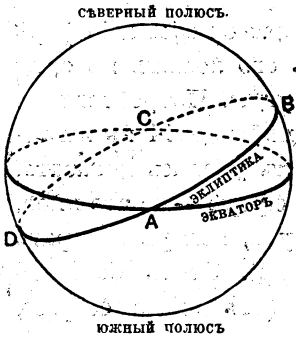
Это **годичное движеніе** солнца не исчерпывается, однако, однимъ лишь движеніемъ отъ запада къ востоку; въ этомъ случаѣ солнце восходило бы и заходило, подобно звѣздамъ, въ однѣхъ и тѣхъ же точкахъ горизонта, и его полуденная высота на небѣ, равно какъ и время отъ восхода до заката, были бы неизмѣнны. Мы уже видѣли, что если звѣзда лежитъ на экваторѣ, то она проводитъ надъ горизонтомъ половину своего пути, если къ сѣверу отъ экватора — больше половины, а если къ югу, то меньше половины суточнаго пути; это положеніе справедливо не для однѣхъ только звѣздъ, но и для всякаго тѣла, участвующаго въ суточномъ движеніи небесной сферы. Въ лѣтніе мѣсяцы (съ марта по сентябрь), когда день длиннѣе ночи и бо̀льшую половину сутокъ солнце остается надъ горизонтомъ, оно, естественно, должно находиться къ сѣверу отъ экватора; въ зимніе же мѣсяцы (съ

сентября по мартъ) солнце должно быть южнѣе экватора. Эта перемѣна въ разстояніи солнца отъ полюса сказывается еще и въ томъ обстоятельствѣ, что въ зимніе мѣсяцы солнце занимаетъ болѣе низкое положеніе на небѣ, чѣмъ въ лѣтніе; и особенно это замѣтно по его высотѣ надъ горизонтомъ въ полдень.

11. Слѣдовательно, путь солнца по небесной сферѣ наклоненъ къ экватору; часть его лежитъ по одну сторону экватора, часть—по другую. Потребовалось, однако, не мало тщательныхъ наблюденій въ вышеописанномъ родѣ, прежде чѣмъ удалось доказать, что путь солнца по небесной сферѣ — не что иное, какъ **большой кругъ** (т.-е. кругъ, центръ котораго совпадаетъ съ центромъ сферы). Этотъ большой кругъ называютъ **эклиптикой** (отъ слова eclipses, затменія, происходящія тогда, когда луна находится по близости этого круга или на немъ), а уголъ, подъ которымъ онъ пересѣкаетъ экваторъ, называется **наклоненіемъ** эклиптики. Китайцы утверждаютъ, что въ 1100 году до Р. Х. имъ удалось измѣрить уголъ наклоненія эклиптики и найти для него удивительно точную величину въ 23° 52′ (см. гл. II, § 35). Въ справедливости этого утвержденія можно сомнѣваться, но, съ другой стороны, мнѣніе нѣкоторыхъ позднѣйшихъ греческихъ писателей, будто Пиѳагоръ или Анаксимандръ (въ VI в. до Р. Х.) впервые открыли наклоненіе эклиптики, слѣдуетъ считать безусловно ошибочнымъ, такъ какъ этотъ фактъ съ достаточной точностью извѣстенъ былъ халдеямъ и египтянамъ задолго до означенной эпохи.

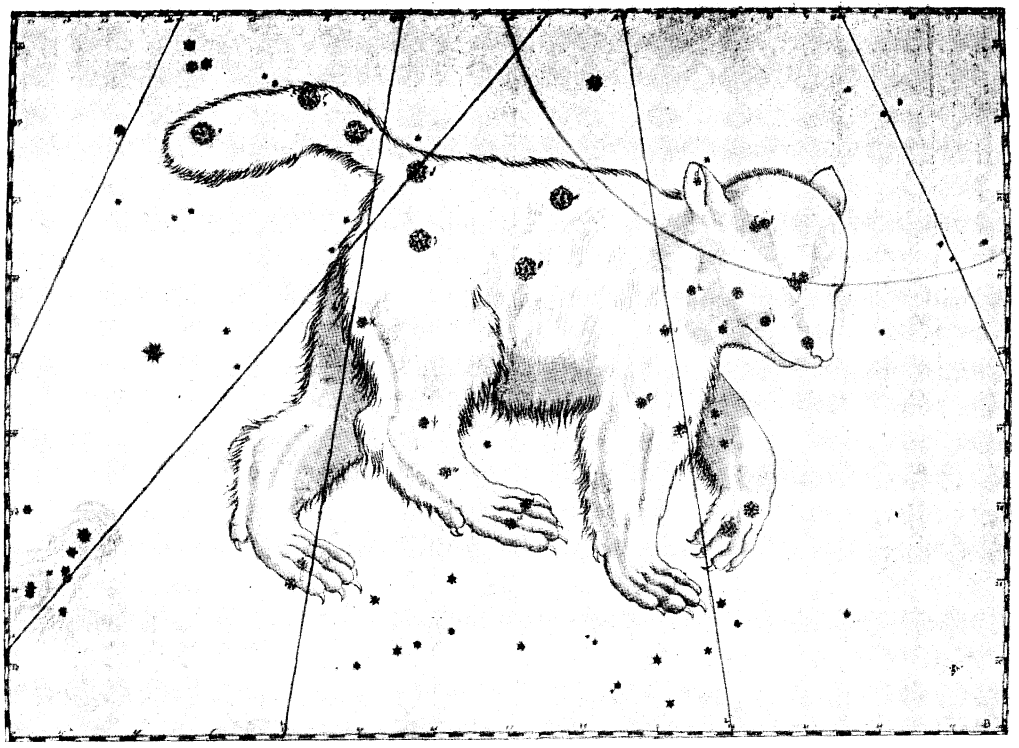
Когда солнце находится на экваторѣ (въ точкѣ пересѣченія его съ эклиптикой), то день равенъ

ночи, почему эпохи, въ которыя это случается, называются **равноденствіями; весеннее равноденствіе** наступаетъ въ тотъ моментъ, когда солнце переходитъ черезъ экваторъ изъ южной половины въ сѣверную (около 8 марта по старому стилю), а **осеннее равноденствіе** наступаетъ тогда, когда солнце переходитъ экваторъ въ обратномъ направленіи (около 10 сентября). Точки пересѣченія экватора съ эклиптикой называются **равноденственными точками**, а иногда — просто равноденствіями.



Фиг. 4. Экваторъ и эклиптика.

Послѣ весенняго равноденствія солнце постепенно удаляется отъ экватора къ сѣверу, пока не достигнетъ, спустя три мѣсяца, наибольшаго отъ него разстоянія, послѣ чего снова начинаетъ приближаться къ нему. Моментъ, когда солнце достигаетъ наибольшаго удаленія къ сѣверу отъ экватора, называется **лѣтнимъ солнцестояніемъ**, такъ какъ въ это время поступательное движеніе солнца къ сѣверу прекращается, и оно какъ бы останавливается на одномъ мѣстѣ. Въ моментъ **зимняго солнцестоянія** солнце находится въ наибольшемъ удаленіи къ югу отъ экватора. Точки эклиптики (B и D на фиг. 4), въ которыхъ солнце находится въ моменты солнцестояній, можно назвать **точками стояній** или, еще лучше, **поворотными пунктами**; онѣ лежатъ на полпути между равноденственными точками.



Фиг. 5. Большая Медвѣдица. Изъ *Ураномeтріи* Байера *(1603)*.

(Къ стр. 17).

12. Древнѣйшіе наблюдатели, по всей вѣроятности, уже обращали свое вниманіе на нѣкоторыя группы звѣздъ, замѣчательныя по формѣ или яркости звѣздъ, образующихъ эти группы, и пытались находить въ нихъ сходства съ тѣми или иными предметами; такимъ образомъ, мы встрѣчаемся уже въ самыя отдаленныя времена съ грубыми попытками раздѣлить звѣзды на группы, называемыя **созвѣздіями**, и дать этимъ послѣднимъ имена.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ звѣзды, отнесенныя къ какому-либо созвѣздію, образуютъ настолько замѣтную группу на небѣ, что ее легко отдѣлить отъ другихъ, хотя сходство между группой и тѣмъ предметомъ, именемъ котораго она названа, можетъ быть самымъ ничтожнымъ. Напримѣръ, семь яркихъ звѣздъ Большой Медвѣдицы сразу бросаются въ глаза всякому наблюдателю и какъ бы напрашиваются на то, чтобы соединить ихъ въ созвѣздіе, но сходство этихъ и менѣе яркихъ звѣздъ съ фигурою медвѣдя очень отдаленное (фиг. 5); яркая часть Большой Медвѣдицы называется еще и Колесницей, а въ Америкѣ — Черпакомъ. У насъ на Руси простонародье также называетъ ее Черпакомъ или Ковшомъ. Созвѣздіе Лиры называется еще иногда Ястребомъ. Во многихъ случаяхъ выборъ звѣздъ представляется настолько произвольнымъ, что наводитъ на мысль, ужъ не происходило ли дѣло такимъ образомъ, что сначала изобрѣталась какая-нибудь фантастическая фигура, а затѣмъ выбирались звѣзды для заполненія ея контуровъ. Въ самомъ дѣлѣ, какъ замѣчаетъ Джонъ Гершель, «созвѣздіямъ давались имена и очертанія какъ бы съ нарочною цѣлью породить возможно большую

путаницу и неудобства. Безчисленные змѣи извиваются длинными кольцами, удержать которыя не въ силахъ ни одна память, на всемъ пространствѣ небеснаго свода; медвѣди, львы и рыбы, большія и малыя, безнадежно путаютъ номенклатуру» (*Очерки астрономіи*, § 301).

Въ настоящее время созвѣздія, за исключеніемъ нѣкоторыхъ, преимущественно южныхъ, присоединенныхъ въ современную эпоху, удержаны нами въ такомъ видѣ, въ какомъ они существовали у древнихъ грековъ; свѣдѣнія, какими мы располагаемъ относительно системы созвѣздій у халдеевъ и египтянъ, показываютъ, что греки кое-чѣмъ и у нихъ позаимствовались. Имена (кромѣ животныхъ и обыкновенныхъ предметовъ: Медвѣдица, Змѣй, Лира и др.) заимствованы, главнымъ образомъ, у героевъ греческой миѳологіи (Геркулесъ, Персей, Оріонъ и т. д.). Созвѣздіе Волосы Вероники, названное въ честь египитской царицы III в. до Р. Х., — одно изъ немногихъ, связанныхъ съ именемъ историческаго лица [1]).

13. Въ число первыхъ созвѣздій, получившихъ названія, попали тѣ, черезъ которыя проходитъ солнце въ своемъ годичномъ движеніи по небу, т.-е. тѣ, черезъ которыя пролегаетъ эклиптика. Мѣсячный путь луны также представляетъ собою большой кругъ, немногимъ отличающійся отъ эклиптики, а

---

[1]) Я не пытался дать здѣсь описаніе созвѣздій и ихъ положеній, такъ какъ считаю такое описаніе почти безполезнымъ. Для начинающаго лучше всего обратиться къ какому-нибудь опытному лицу и подъ его руководствомъ ознакомиться съ наиболѣе замѣтными созвѣздіями въ различныхъ частяхъ неба. Остальныя уже легко отыскать помощью звѣзднаго атласа или звѣздныхъ картъ, помѣщенныхъ во многихъ руководствахъ.

пути планетъ (§ 14) въ свою очередь не очень сильно уклоняются отъ нея. Слѣдовательно, солнце, луна и планеты (числомъ пять) всегда наблюдались древними въ опредѣленной области неба, границы которой лежать на 8° съ каждой стороны отъ эклиптики. Эта полоса названа **зодіакомъ**, потому что всѣ расположенныя въ ней созвѣздія (за исключеніемъ одного) носятъ названія живыхъ существъ (греческое ζῷον, животное); ее раздѣлили на двѣнадцать равныхъ частей, названныхъ **знаками зодіака**; каждый знакъ солнце пробѣгаетъ въ теченіе мѣсяца, такъ что положеніе его во всякое время можно приблизительно опредѣлить указаніемъ на «знакъ» зодіака, въ которомъ оно находится. Звѣзды въ каждомъ «знакѣ» группировались въ созвѣздія, причемъ знакъ и созвѣздіе получали одно и то же названіе. Такимъ путемъ произошли двѣнадцать **зодіакальныхъ созвѣздій**, имена которыхъ, съ незначительными измѣненіями, дошли до насъ отъ древнихъ грековъ [1]). Благодаря, однако, нѣкоторымъ измѣненіямъ въ положеніи экватора и, значитъ, равноденственныхъ точекъ, знакъ Овна, въ которомъ, по Гиппарху, во второмъ вѣкѣ до Р. Х. (см. гл. II, § 42) находилась точка весенняго равноденствія, теперь уже совпадаетъ не съ созвѣздіемъ Овна, а съ предыдущимъ созвѣздіемъ, Рыбами; соотвѣтственно съ этимъ произошли измѣненія и во всемъ зодіакѣ. Въ настоящее время, при тѣхъ точныхъ методахъ,

---

[1]) Приведемъ ихъ въ латинскомъ двустишіи:

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces

или по-русски: Овенъ, Телецъ, Близнецы, Ракъ, Левъ, Дѣва, Вѣсы, Скорпіонъ, Стрѣлецъ, Козерогъ, Водолей, Рыбы.

какими располагаетъ современная астрономія, знаки зодіака являются устарѣлымъ способомъ координаціи; однако, **первая точка Овна** (γ) **и первая точка Вѣсовъ** (♎) до сихъ поръ употребляются, какъ названія равноденственныхъ точекъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ отдѣльныя звѣзды также получали названіе или спеціально для нихъ придуманное, или по той части созвѣздія, на которую онѣ приходятся, напримѣръ: Сиріусъ, Глазъ Тельца, Сердце Льва и т. п. Но большинство названій звѣздъ арабскаго происхожденія (гл. III, § 64).

14. Какъ мы видѣли, звѣзды въ цѣломъ сохраняютъ неизмѣнное положеніе на небесной сферѣ [1]), тогда какъ мѣста луны и солнца измѣняются. Но еще въ отдаленнѣйшія времена извѣстно было, что пять свѣтилъ, по внѣшнему виду похожихъ на остальныя звѣзды, также мѣняютъ свои мѣста на небѣ.

Эти пять тѣлъ — Меркурій, Венера, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ — вмѣстѣ съ солнцемъ и луною были названы **планетами** [2]) или странствующими звѣздами, въ отличіе отъ остальныхъ **неподвижныхъ звѣздъ**. Меркурій наблюдается чрезвычайно рѣдко, только вскорѣ послѣ захода или незадолго до восхода солнца, низко надъ горизонтомъ, и въ нашемъ климатѣ отысканіе его требуетъ немало вниманія и труда; замѣчательно, что у насъ не сохранилось

---

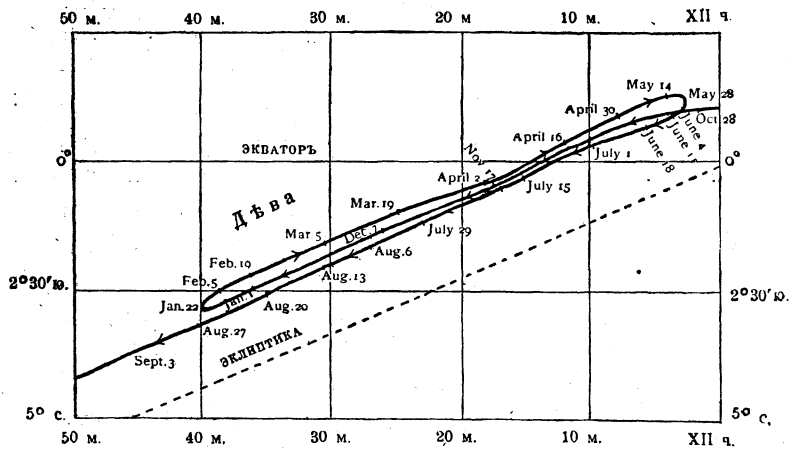
[1]) Мы при этомъ не считаемъ легкихъ движеній, почти или совсѣмъ недоступныхъ простому глазу, изъ коихъ нѣкоторыя составляютъ наиболѣе интересныя открытія телескопической астрономіи; см., напримѣръ, гл. X, §§ 207 — 215.

[2]) Обычай включать луну и солнце въ число планетъ теперь вывелся изъ употребленія, и мы не придерживаемся его въ этой книгѣ.

никакихъ извѣстій относительно того, какъ и когда его открыли. Венера извѣстна подъ названіемъ Вечерней или Утренней звѣзды. Честь открытія тождества Вечерней и Утренней звѣздъ приписывается Пиѳагору (VI в. до Р. Х.), но оно, несомнѣнно, было сдѣлано еще раньше, хотя въ поэмахъ Гомера упоминаются обѣ безъ указанія на ихъ тождественность. Юпитеръ достигаетъ иногда блеска Венеры, а Марсъ и Сатурнъ, при благопріятныхъ условіяхъ, по яркости приближаются къ самымъ яркимъ изъ неподвижныхъ звѣздъ.

Пути планетъ на небесной сферѣ, какъ мы видѣли (§ 13), не очень уклоняются отъ эклиптики; но въ то время какъ луна и солнце постоянно движутся отъ запада къ востоку, движеніе планетъ иногда бываетъ **прямымъ**, отъ запада къ востоку, иногда же **попятнымъ**, съ востока на западъ. Если мы станемъ слѣдить за планетой, идущей среди звѣздъ къ востоку, то замѣтимъ, что съ теченіемъ времени она начнетъ замедлять свое движеніе, пока, повидимому, совсѣмъ не остановится, а затѣмъ начнетъ двигаться съ постепенно возрастающею скоростью въ противоположномъ направленіи; черезъ нѣкоторое время ея стремленіе на западъ замедлится и совсѣмъ прекратится, послѣ чего планета снова пойдетъ на востокъ, сначала медленно, затѣмъ быстрѣе, пока не вернется въ прежнія условія и не претерпитъ тѣхъ же перемѣнъ. Когда планета мѣняетъ направленіе своего движенія, она называется **стаціонарной**, а точки, въ которыхъ это случается, называются **точками стоянія** или **стаціонарными точками**. Время попятнаго движенія всегда, однако, меньше періода движенія прямого; Юпитеръ, на-

примѣръ, находится въ прямомъ движеніи 39 недѣль, а въ попятномъ — 17, а прямое движеніе Меркурія продолжается 13 или 14 недѣль, тогда какъ попятное — всего 3 (фиг. 6, 7). Въ результатѣ планета движется поступательно съ запада на востокъ и описываетъ круги на небесной сферѣ въ періоды, различные для каждой планеты. Объясненіе этихъ неправильностей планетнаго движенія

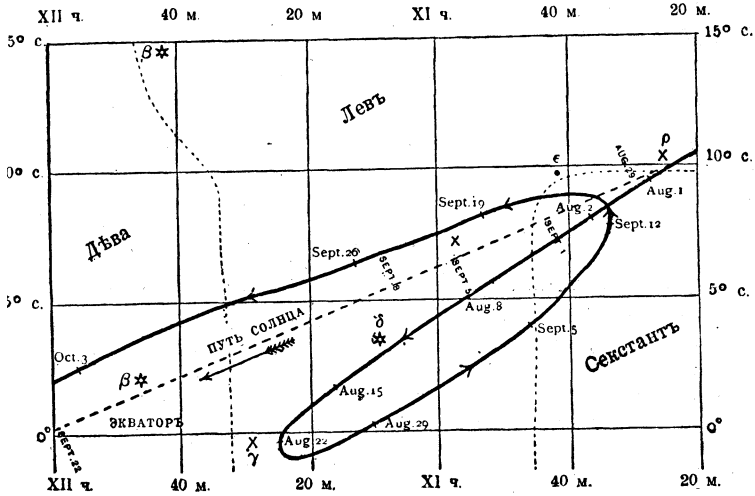


Фиг. 6. Видимый путь Юпитера съ 28 окт. 1897 г. по 3 сент. 1898. Числа на діаграммѣ отмѣчаютъ положеніе Юпитера.

долгое время составляло одну изъ труднѣйшихъ задачъ астрономіи.

15. На мысль о томъ, что нѣкоторыя небесныя тѣла лежатъ къ намъ ближе, чѣмъ другія, человѣка должны были навести затменія (§ 17) и **покрытія** луною звѣздъ и планетъ. Такимъ путемъ узнали, что луна — самое близкое къ намъ изъ небесныхъ тѣлъ. Такъ какъ для опредѣленія разстояній не имѣлось прямыхъ методовъ, то за приблизительный

критерій разстоянія принята была скорость движенія. Сатурнъ возвращается въ прежнее положеніе между звѣздами черезъ $29^1/_2$ лѣтъ, Юпитеръ — черезъ 12, Марсъ—черезъ 2 года, Солнце—черезъ годъ, Венера—черезъ 225 дней, Меркурій—черезъ 88 дней, а луна—черезъ 27 дней; этотъ порядокъ какъ бы указывалъ послѣдовательность разстояній, и, такимъ образомъ, Сатурнъ считается самымъ отдаленнымъ



Фиг. 7. Видимый путь Меркурія съ 1 авг. по 3 окт. 1898 г. Числа при пунктирной линіи отмѣчаютъ положеніе солнца, остальныя — положенія Меркурія.

тѣломъ, а луна — самымъ близкимъ. Звѣзды, находящіяся постоянно надъ нами, считались выше и дальше всѣхъ планетъ; и соотвѣтственно этому, Юпитеръ, Сатурнъ и Марсъ, находившіеся (судя по скорости движенія) дальше солнца, назывались **верхними планетами** въ отличіе отъ **нижнихъ планетъ** Меркурія и Венеры. Это дѣленіе соотвѣтствуетъ также разницѣ въ характерѣ движенія: Меркурій

и Венера какъ бы сопровождаютъ солнце въ его годичномъ пути и никогда не удаляются отъ него больше чѣмъ на (соотвѣтственно) 29° и 47°, тогда какъ другія планеты занимаютъ относительно солнца всевозможныя положенія и не стѣснены, такимъ образомъ, въ своихъ движеніяхъ.

16. Астрономическія знанія, прежде всего, были приложены къ измѣренію времени. Такъ какъ попеременное исчезновеніе и появленіе солнца, несущаго съ собой тепло и свѣтъ, являлось самымъ замѣтнымъ астрономическимъ фактомъ, то сутки, естественно, стали простѣйшей единицей времени [1]). Нѣкоторые изъ цивилизованныхъ народовъ древности дѣлили время отъ восхода до заката, а также и ночь, на 12 равныхъ промежутковъ или часовъ. Сообразно съ этимъ, дневной часъ лѣтомъ былъ длиннѣе, чѣмъ зимою, и длина часа мѣнялась въ теченіе года. Въ Вавилонѣ, напримѣръ, гдѣ существовало такое обыкновеніе, длина дневного часа въ серединѣ лѣта была почти въ половину короче, чѣмъ зимою, а на широтѣ Лондона тотъ же промежутокъ оказался бы вдвое длиннѣе зимняго. Греки внесли, поэтому, значительное усовершенствованіе, раздѣливши, въ сравнительно болѣе позднее время, сутки на 24 равныхъ часа. Нѣкоторые древніе народы дѣлили сутки на 12 двойныхъ часовъ, а другіе даже на 60 часовъ.

---

[1]) Нужно замѣтить, что нашъ «день» (и соотвѣтствующія слова въ другихъ языкахъ) обыкновенно употребляется въ двухъ значеніяхъ: имъ обозначается то время отъ восхода до заката солнца (день въ отличіе отъ ночи), то весь періодъ въ 24 часа, т.-е. день и ночь, или сутки. Греки для обозначенія сутокъ употребляли особое слово νυχθήμερον.

Вслѣдъ за сутками напрашивается и другая, не менѣе очевидная единица времени, **лунный мѣсяцъ**, или періодъ, въ теченіе котораго луна проходитъ черезъ всѣ свои фазы. Третья независимая единица времени есть годъ. Хотя для повседневной жизни годъ гораздо важнѣе мѣсяца, однако, древнѣйшія системы измѣренія времени основаны были на мѣсяцѣ, а не на годѣ; причина та, что годъ гораздо длиннѣе мѣсяца, и точно уловить моментъ начала того или иного времени года гораздо труднѣе, чѣмъ начало лунной фазы, а, значитъ, труднѣе найти и продолжительность года. Въ мѣсяцѣ насчитывали почти точно $29^1/_2$ дней, а такъ какъ періодъ изъ круглаго числа сутокъ былъ, очевидно, удобнѣе для практическихъ цѣлей, то его считали попеременно то въ 29 дней, то въ 30, приводя, такимъ образомъ, календарь въ согласіе съ лунными фазами (гл. II, § 19).

И халдеи, и египтяне, повидимому, знали, что годъ состоитъ изъ $365^1/_4$ дней; послѣдніе, для которыхъ годъ имѣлъ огромное значеніе въ виду разлитія и обмелѣнія Нила, раньше всѣхъ народовъ, по всей вѣроятности, предпочли годъ мѣсяцу. Они установили его въ 365 дней.

Происхожденіе недѣли отлично отъ происхожденія года или мѣсяца и коренится въ нѣкоторыхъ астрологическихъ представленіяхъ относительно планетъ. Каждымъ часомъ сутокъ «управляла» какая-нибудь планета (включая сюда и луну съ солнцемъ), и каждый день получалъ названіе отъ планеты, управлявшей первымъ часомъ этого дня. Считая планеты въ вышеуказанномъ порядкѣ (§ 15), мы найдемъ, что Сатурнъ управлялъ первымъ ча-

сомъ перваго дня, а, значитъ—и 8, и 15, и 22 перваго дня, затѣмъ 5, 12, 19 второго дня и т. д.; Юпитеръ управлялъ 2, 9, 16, 23 часомъ перваго дня, и, слѣдовательно, 1 часомъ шестого дня. Такимъ образомъ, первые часы всѣхъ дней недѣли падали на планеты въ такомъ порядкѣ: Сатурнъ, Солнце, Луна, Марсъ, Меркурій, Юпитеръ, Венера. Возьмемъ, напримѣръ, англійскія названія субботы, воскресенья и понедѣльника — *Saturday*, *Sunday*, *Monday* (нѣмецкое *Sonntag*, *Montag*), французскія — вторника, среды, четверга и пятницы — *Mardi*, *Mercredi*, *Jeudi (Jovis dies)*, *Vendredi*, или, еще лучше, итальянскія: *Martedi*, *Mercoledi*, *Giovedi*, *Venerdi*.

17. **Затменія** луны и солнца несомнѣнно уже въ древнѣйшія времена возбуждали высокій интересъ, смѣшанный съ суевѣрнымъ ужасомъ, и надежда узнать что-нибудь относительно ихъ послужила, вѣроятно, важнымъ стимуломъ къ первымъ астрономическимъ наблюденіямъ. Открытіе того факта, что затменія солнца случаются только въ новолуніе, а затменія луны только въ полнолуніе, потребовало, надо думать, небольшихъ усилій; догадаться, что солнечныя затменія вызываются прохожденіемъ луны передъ солнцемъ, было, вѣроятно, немногимъ труднѣе; но открытіе, что затменія луны вызываются вступленіемъ ея въ земную тѣнь, было сдѣлано, надо думать, гораздо позже. Въ самомъ дѣлѣ, даже во времена Анаксагора (V в. до Р. Х.) аѳиняне были такъ мало знакомы съ этой мыслью, что она казалась имъ богохульной.

Халдейскіе жрецы обогатили астрономическую науку въ высшей степени замѣчательнымъ открытіемъ (сдѣланнымъ во всякомъ случаѣ за нѣсколько

вѣковъ до Р. Х.). Они замѣтили, что затменія повторяются въ прежнемъ порядкѣ черезъ извѣстный промежутокъ времени, названный саросскимъ періодомъ или **саросомъ**, состоящій изъ 6,585 дней (или восемнадцати лѣтъ и десяти-одиннадцати дней, включая и пять или четыре високосныхъ года по нашему счисленію). По всей вѣроятности, открытіе это было сдѣлано не путемъ вычисленій, основанныхъ на знакомствѣ съ движеніями луны и солнца, а просто путемъ сравненія лѣтописей. Но такъ какъ затменія солнца, въ отличіе отъ лунныхъ, бываютъ видимы только на небольшомъ участкѣ земной поверхности, и притомъ не всегда въ одномъ и томъ же мѣстѣ, хотя бы и по истеченіи восемнадцатилѣтняго промежутка, то можно сомнѣваться въ томъ, прилагали ли халдеи саросъ къ вычисленію сроковъ солнечныхъ затменій наравнѣ съ лунными. Для иллюстраціи сароса можно привести такой рядъ затменій солнца изъ новаго времени, 18 іюля 1860 г., 29 іюля 1878 г. и 9 авг. 1896 г.; но первое изъ нихъ наблюдалось въ южной Европѣ, второе въ сѣверной Америкѣ, а третье въ сѣверной Европѣ и Азіи.

18. **Халдеямъ** приписывается еще сомнительная заслуга развитія **астрологіи**, псевдо-науки, признававшей вліяніе небесныхъ свѣтилъ на человѣческія дѣла и предсказывавшей изъ наблюденій войну, голодъ, чуму, а также и судьбу отдѣльныхъ личностей по положенію, занимаемому звѣздами въ моментъ ихъ рожденія. Астрологическія воззрѣнія всегда преобладали у восточныхъ народовъ; въ свое время астрологія процвѣтала у грековъ и римлянъ; она составляла существенный элементъ науч-

ной мысли въ средніе вѣка и не исчезла совершенно даже и въ наши дни [1]). Не слѣдуетъ, однако, забывать, что если исторія астрологіи представляетъ печальное явленіе, какъ доказательство невѣжественнаго суевѣрія, съ одной стороны и беззастѣнчиваго надувательства — съ другой, тѣмъ не менѣе вѣра въ астрологію служила, несомнѣнно, могущественнымъ стимуломъ къ ревностному изученію астрономіи (см. гл. III, § 56, и гл. V, §§ 99,100).

---

[1]) Напримѣръ, *Альманахъ Цадкіеля*, а у насъ въ Россіи масса «оракуловъ».

ГЛАВА II.

Астрономія у грековъ.

«Астрономъ нашелъ, что геометрія, чистая абстракція человѣческаго ума, служитъ мѣрой планетныхъ движеній».

Эмерсонъ.

19. Въ древнѣйшій періодъ греческой исторіи одной изъ главныхъ функцій, возложенныхъ на астрономовъ, было упорядоченіе календаря. Какъ и всѣ древніе народы, греки начали съ календаря, основаннаго на лунныхъ фазахъ. Во времена Гезіода былъ въ общемъ употребленіи годъ, составленный изъ 12 мѣсяцевъ, по 30 дней въ каждомъ; позже былъ введенъ годъ изъ 6 **полныхъ** мѣсяцевъ по 30 дней и 6 **неполныхъ** по 29 дней. Солону приписываютъ честь введенія въ Аѳинахъ, около 594 г. до Р. Х., особой системы лѣтосчисленія, заключавшейся въ томъ, что черезъ каждые два года прибавлялся полный мѣсяцъ. Такимъ образомъ, двухлѣтній періодъ состоялъ изъ 13 мѣсяцевъ по 30 дней и 12 по 29, т.-е. изъ 738 дней, распредѣленныхъ между 25 мѣсяцами; въ среднемъ на годъ приходилось 369 дней, а на мѣсяцъ около $29^1/_2$. Для улучшенія этого календаря введенъ былъ, по всей вѣроятности, въ V в. до Р. Х., такъ-называемый **октаэдрисъ**, т.-е. восьмилѣтній циклъ; къ тремъ годамъ этого цикла присчитывался добавочный «полный» мѣсяцъ, а

остальные попрежнему состояли изъ 6 «полныхъ» и 6 «неполныхъ». Такимъ путемъ средняя длина года установлена была въ $365^1/_4$ дней, длина же мѣсяца почти не измѣнилась. Но такъ какъ греки любили начинать мѣсяцъ съ момента появленія новой луны, то они по необходимости время отъ времени вносили въ календарь произвольныя измѣненія, въ концѣ-концовъ приведшія къ невообразимой путаницѣ, на которую Аристофанъ въ своей комедіи *Облака*, поставленной на сцену около 423 г. до Р. Х., заставляетъ луну жаловаться въ слѣдующихъ выраженіяхъ:

«Вамъ не удастся дни согласовать
Съ ея велѣньями; запутали вы ихъ—и въ вѣкъ не разобраться.
И боги всѣ, ложась безъ ужина въ постель,
Согласнымъ хоромъ льютъ на голову ея
Потокъ упрековъ, въ разочарованьи горькомъ,
Что праздникъ встрѣтить имъ пришлося безъ пирушки».

20. Немного позже астрономъ *Метонъ* (родился около 460 г. до Р. Х.) открылъ, что 19 лѣтъ почти въ точности равняются 235 луннымъ мѣсяцамъ (ошибка, дѣйствительно, меньше сутокъ), и установилъ циклъ изъ 12 лѣтъ по 12 мѣсяцевъ и 7 по 13 мѣсяцевъ; изъ нихъ 125 мѣсяцевъ считались «полными», а остальные «неполными». Спустя почти столѣтіе, *Калиппъ* внесъ небольшую поправку замѣной въ концѣ четвертаго періода изъ 19 лѣтъ «неполнаго» мѣсяца «полнымъ». Былъ ли введенъ **Метоновъ циклъ**, какъ его называли, въ гражданскій календарь или нѣтъ—неизвѣстно, несомнѣнно только, что онъ служилъ образцомъ, по которому время отъ времени исправлялся дѣйствующій календарь. Вскорѣ Метоновъ циклъ распространился и въ остальной Греціи; въ настоящее время имъ пользуется Цер-

ковь для опредѣленія дня пасхи. Трудность установленія точнаго соотвѣтствія между гражданскимъ календаремъ и дѣйствительными движеніями луны и солнца повела къ необходимости издавать время отъ времени особыя таблицы (παραπήγματα), вродѣ нашихъ альманаховъ или календарей, заключавшія въ себѣ на нѣсколько лѣтъ впередъ указанія относительно фазъ луны, восхода и заката нѣкоторыхъ неподвижныхъ звѣздъ, на ряду съ предсказаніями погоды. По той же причинѣ древніе, писавшіе о земледѣліи (напримѣръ, Гезіодъ), устанавливая эпохи полевыхъ работъ, руководствовались не календаремъ, но временами восхода и заката созвѣздій, т.-е. эпохами ихъ перваго появленія передъ восходомъ солнца или послѣдняго исчезновенія послѣ заката; этотъ способъ практиковался долгое время даже послѣ изобрѣтенія довольно удовлетворительнаго календаря, и не совсѣмъ, повидимому, исчезъ во времена Галена (II в. по Р. Х.).

21. Римскій календарь въ древности былъ еще болѣе запутанъ, нежели греческій. Одно время въ Римѣ существовалъ, повидимому, годъ изъ 304 или 354 дней; преданіе приписываетъ Нумѣ введеніе четырехлѣтняго цикла, благодаря чему календарь приведенъ былъ въ полное согласіе съ солнцемъ, но зато средняя продолжительность мѣсяца была значительно меньше дѣйствительной. Вмѣсто послѣдовательныхъ улучшеній, римляне предпочитали время отъ времени поручать календарь вѣдѣнію жрецовъ, на обязанности которыхъ лежало приводить его въ согласіе съ солнцемъ и луной. По однимъ извѣстіямъ, первый день каждаго мѣсяца возвѣщался черезъ глашатая. По невѣжеству ли, или, какъ

утверждаютъ нѣкоторые, въ угоду сильнымъ міра сего (политическаго и финансоваго) жрецы привели календарь въ такой безпорядокъ, что, по словамъ Вольтера, «les généraux Romains triomphaient toujours, mais ils ne savaint pas, quel jour il triomphaient» — «римскіе полководцы всегда побѣждали, но никогда не знали, въ какой день это случалось».

Удовлетворительная реформа календаря произведена была Юліемъ Цезаремъ за короткій періодъ его владычества въ Римѣ, при участіи Александрійскаго астронома *Созигена*. Погрѣшности календаря къ этому времени возросли до такой степени, что въ видахъ исправленія его оказалось необходимымъ прибавить три лишнихъ мѣсяца къ одному году (46 г. до Р. Х.). Такимъ образомъ, этотъ годъ состоялъ изъ 445 дней. На будущее время было установлено лѣтосчисленіе, независимое отъ луннаго мѣсяца; обыкновенный годъ былъ принятъ состоящимъ изъ 365 дней; каждые четыре года къ февралю прибавлялся лишній день (нашъ високосный годъ), такъ что средняя длина года получилась въ $365^1/_4$ дней.

Новая система лѣтосчисленія началась съ 45 г. до Р. Х., и вскорѣ разошлась, подъ названіемъ **Юліанскаго календаря**, по всему цивилизованному міру.

22. Изъ дальнѣйшихъ реформъ мы займемся только тѣми, которыя представляютъ особую важность.

Разница между средней длиной года, установленнаго Юліемъ Цезаремъ, и истинной его величиной столь незначительна, что достигаетъ сутокъ лишь въ теченіе 128 лѣтъ. Такимъ образомъ, во вторую

половину XVI вѣка весеннее равноденствіе приходилось почти десятью днями раньше, чѣмъ въ эпоху Никейскаго Собора (325 г. по Р. Х.), на которомъ установлены были правила исчисленія дня пасхи. На этомъ основаніи папа Григорій XIII ввелъ въ календарь, въ 1582 году, нѣкоторыя измѣненія, заключавшіяся въ слѣдующемъ: десять дней (5—14 октября) были изъ этого года выброшены, и было поставлено въ каждыя четыреста лѣтъ три високосныхъ года обращать въ простые (именно 1700, 1800, 1900, 2100—простые годы, тогда какъ годы 1600, 2000, 2400 и т. д. остаются високосными). Этотъ **Григоріанскій календарь** или, какъ его часто называютъ, **новый стиль** принятъ былъ повсемѣстно въ западной Европѣ; въ Англіи, однако, только въ 1752 году. Въ Россіи же и Греціи онъ еще до сихъ поръ не принятъ, и мы теперь въ своемъ счетѣ времени отстаемъ отъ нашихъ западныхъ сосѣдей на цѣлыхъ 13 дней.

23. Въ то время, какъ восточные предшественники первыхъ греческихъ философовъ ограничивались преимущественно астрономическими наблюденіями, эти послѣдніе, повидимому, не сдѣлали никакихъ важныхъ наблюденій и гораздо больше занимались изслѣдованіями о причинахъ явленій. Основателю Іонійской школы, *Ѳалесу*, позднѣйшіе писатели приписываютъ честь введенія въ Грецію египетской астрономіи, около VII в. до Р. Х.; но ни Ѳалесъ, ни его ближайшіе преемники почти ничего не внесли въ астрономію, кромѣ, можетъ быть, чрезвычайно туманныхъ теорій относительно формы земли и ея отношенія къ остальному міру. Нѣкоторый прогрессъ въ науку о небѣ внесъ *Пиѳа-*

горъ[1]) и его послѣдователи. Пиѳагоръ училъ, что земля, наравнѣ съ другими небесными тѣлами, имѣетъ форму шара и что она виситъ безъ всякой поддержки среди вселенной. Были ли у него реальныя доказательства этой истины—неизвѣстно, но весьма вѣроятно, что онъ понималъ причину луннаго сіянія, приписывая его происхожденіе отраженному солнечному свѣту, и причину лунныхъ фазъ, которыя онъ объяснялъ большей или меньшей степенью освѣщенія обращенной къ намъ половины; въ кривизнѣ границы между темной и свѣтлой частью луны онъ справедливо видѣлъ доказательство того, что луна шаръ, а не плоскій дискъ, какъ можно подумать съ перваго взгляда. Вѣроятно, по аналогіи, онъ заключилъ о шарообразности земли. Какъ бы то ни было, увѣренность въ шарообразности земли никогда не покидала греческихъ философовъ, а въ позднѣйшее время послужила основой системы, почти безъ измѣненія дошедшей и до нашей эпохи. Идея эта, такимъ образомъ, на 2000 лѣтъ старше идеи о вращеніи земли и обращеніи ея вокругъ солнца (глава IV), — идеи, которую мы иногда склонны связывать съ первой, въ качествѣ основаній современной астрономіи.

Пиѳагору, кажется, первому также пришла въ голову мысль, оказавшая сильное вліяніе на древнюю и средневѣковую астрономію. Не однѣ только звѣзды были сочтены прикрѣпленными къ хрустальной сферѣ, обращавшейся разъ въ сутки на

---

[1]) О жизни Пиѳагора имѣется мало положительныхъ свѣдѣній Родился онъ въ началѣ VI в. до Р. Х., а умеръ въ концѣ его или въ началѣ слѣдующаго.

оси вокругъ земного шара; но и каждой изъ семи планетъ (считая солнце и луну въ томъ числѣ) была приписана особая сфера. Разстоянія этихъ сферъ отъ земли Пиѳагоръ привелъ въ зависимость отъ нѣкоторыхъ своеобразныхъ представленій относительно чиселъ и музыки,— по его мнѣнію, сферы при вращеніи производили гармоническіе звуки, доступные уху немногихъ избранныхъ. Такимъ путемъ родилась идея о **музыкѣ сферъ**, которая постоянно встрѣчается въ средневѣковыхъ сочиненіяхъ и случайно попадаетъ даже и въ современную литературу. Впослѣдствіи сферы Пиѳагора получили развитіе въ научномъ объясненіи небесныхъ движеній, которое составило основаніе до-кеплеровской астрономіи (глава VII).

24. Пиѳагореецъ *Филолай,* жившій столѣтіемъ позже своего учителя, впервые высказалъ мысль о движеніи земли; онъ, повидимому, вѣрилъ, что земля, солнце, луна и пять планетъ обращаются вокругъ центральнаго огня, причемъ земля вращалась, по его мнѣнію, еще и на своей оси такимъ образомъ, что означенный центральный огонь всегда оставался невидимымъ для жителей всѣхъ извѣстныхъ въ то время частей свѣта. Разумѣется, это было чисто-искусственное построеніе, совершенно непохожее на современное ученіе о движеніи земли, съ которымъ позднѣйшіе писатели склонны были смѣшивать его; достаточно для этого привести совершенно произвольный пунктъ этой системы — противо-землю (ἀντιχθών), благодаря которой число движущихся тѣлъ дошло до десяти — священнаго числа пиѳагорейцевъ. Появленіе столь важной идеи, какъ идея о движеніи земли (которой

такъ противится непосредственное чувство), не взирая на грубую форму ея, на отсутствіе доказательствъ, которыя могли бы завоевать ей всеобщее признаніе, было, несомнѣнно, весьма благодѣтельно для астрономической мысли. Замѣтимъ, что Коперникъ въ своей великой книгѣ, легшей въ основу современной астрономіи (гл. IV, § 75), по преимуществу ссылается на Филолая и другихъ пиѳагорейцевъ, какъ на иниціаторовъ доктрины движенія земли.

Позднѣйшіе писатели указываютъ еще на трехъ пиѳагорейцевъ, вѣрившихъ въ движеніе земли,— именно на *Гицетія Сиракузскаго, Гераклита* и *Экфанта*, жившихъ въ концѣ VI и въ V вѣкахъ до Р. Х.

Въ одномъ изъ Платоновыхъ діалоговъ (*Тимей*) встрѣчается темное мѣсто, истолковываемое многими изъ древнихъ и современныхъ комментаторовъ какъ намекъ на идею движенія земли; кромѣ того, Плутархъ, опираясь частью на авторитетъ Ѳеофраста, сообщаетъ намъ, будто Платонъ въ старости увѣровалъ, что центръ вселенной занятъ не землею, но какимъ нибудь болѣе совершеннымъ тѣломъ [1]).

Кажется, единственнымъ ученымъ астрономомъ, вѣрившимъ въ движеніе земли, былъ *Аристархъ Самосскій*, жившій въ первой половинѣ III в. до Р. Х.; онъ, впрочемъ, больше извѣстенъ своими измѣреніями разстояній солнца и луны (см. § 32). Онъ утверждалъ, что солнце и звѣзды неподвижны, причемъ солнце находится въ центрѣ сферы, по которой разсѣяны эти послѣднія, и что земля не

---

[1]) Ѳеофрастъ родился спустя полвѣка, а Плутархъ пятью вѣками позже Платона.

только вращается на своей оси, но еще и движется вокругъ солнца. *Селевкъ* изъ Селевкіи, въ серединѣ II в. до Р. Х., держался аналогичнаго мнѣнія. Къ сожалѣнію, намъ ничего неизвѣстно объ основаніяхъ, на которыхъ покоились ихъ утвержденія, и взгляды ихъ, надо думать, не встрѣтили большого сочувствія въ средѣ ихъ современниковъ и послѣдователей.

Къ сказанному можно добавить, что Аристотель (§ 27) ясно постигалъ возможность объясненія кажущагося движенія звѣздъ либо движеніемъ звѣздъ, либо движеніемъ земли, но отъ послѣдней мысли отказался.

25. *Платонъ* (около 428—347 до Р. Х.) не посвятилъ астрономіи спеціальныхъ сочиненій, но во многихъ мѣстахъ его діалоговъ встрѣчаются замѣчанія астрономическаго характера. Тщательное изученіе небесныхъ движеній онъ считалъ занятіемъ скорѣе принижающимъ, чѣмъ возвышающимъ душу, и вообще удостоивалъ астрономію своимъ вниманіемъ лишь постольку, поскольку она касается геометріи; на мѣсто дѣйствительныхъ небесныхъ движеній умъ его создалъ идеальныя движенія, надѣленныя высшей красотой и занимательностью. Этотъ взглядъ на астрономію шелъ въ разрѣзъ съ популярнымъ воззрѣніемъ, по которому главное значеніе этой науки исчерпывалось пользой, приносимой ею земледѣльцу, мореплавателю и другимъ, нуждавшимся въ точномъ знаніи временъ года [1]). Въ концѣ упомянутаго діалога онъ даетъ краткое описаніе небесныхъ тѣлъ, изъ котораго

---

[1]) *Республика*, VII, 529, 530.

видно, что солнце, луна, планеты и неподвижныя звѣзды обращаются по восьми концентрическимъ плотно пригнаннымъ колесамъ или кругамъ вокругъ оси, проходящей черезъ землю. По степени разстоянія отъ земли они расположены въ слѣдующемъ порядкѣ: луна, солнце, Меркурій, Венера, Марсъ, Юпитеръ, Сатурнъ, звѣзды. Солнце, Меркурій и Венера совершаютъ свое обращеніе въ одинаковое время, другія же планеты движутся медленнѣе, изъ чего видно нѣкоторое знакомство Платона съ тѣмъ обстоятельствомъ, что движенія Меркурія и Венеры отличаются отъ движеній другихъ планетъ. Онъ указываетъ также, что луна свѣтитъ отраженнымъ свѣтомъ, получаемымъ ею отъ солнца.

Говорятъ, что Платонъ поставилъ своимъ ученикамъ, какъ предметъ, особенно достойный усилій, такую задачу: объяснить небесныя движенія при помощи комбинацій равномѣрнаго кругового движенія. Сколько-нибудь точная теорія небесныхъ движеній, согласованная съ дѣйствительными наблюденіями, вродѣ той, которую Гиппархъ и Птоломей не безъ успѣха создали впослѣдствіи, врядъ ли соотвѣтствовала платоновымъ идеямъ объ истинной астрономіи; несомнѣнно, однако, что ему хотѣлось создать простую и гармоничную геометрическую схему, ненаходящуюся въ противорѣчіи съ установленными фактами.

26. Исходя отчасти изъ идей Платона, *Эвдоксъ* изъ Книда (около 409 — 356 до Р. Х.) пытался объяснить наиболѣе очевидныя особенности небесныхъ движеній помощью комбинаціи равномѣрныхъ круговыхъ движеній. Его можно считать представителемъ перехода отъ умозрительной къ научной

стадіи греческой астрономіи. Какъ и въ построеніяхъ нѣкоторыхъ изъ его предшественниковъ, звѣзды лежатъ у него на сферѣ, обращающейся разъ въ сутки вокругъ оси, проходящей черезъ землю; движеніе каждаго изъ остальныхъ свѣтилъ регулируется комбинаціей другихъ сферъ, причемъ центръ каждой сферы лежитъ на поверхности предыдущей. Солнце и луна нуждались въ трехъ сферахъ: одна производила суточное вращеніе, раздѣляемое всѣми небесными тѣлами; другая производила годичное или (въ случаѣ луны) мѣсячное движеніе по эклиптикѣ, въ направленіи, противоположномъ суточному; а третья, ось которой наклонена была къ оси предыдущей сферы, производила малыя движенія въ обѣ стороны отъ эклиптики. Эвдоксу, повидимому, было хорошо извѣстно, что путь луны не совпадаетъ съ эклиптикой и что онъ даже не всегда одинаковъ, но подверженъ непрерывнымъ измѣненіямъ, такъ что третья сфера была безусловно необходима; съ другой стороны, онъ врядъ ли могъ имѣть понятіе о крайне малыхъ уклоненіяхъ орбиты солнца отъ эклиптики, съ которыми имѣетъ дѣло современная астрономія. Приходится думать, поэтому, что онъ или воспользовался ошибочными наблюденіями, или, что вѣроятнѣе, третья солнечная сфера придумана была для объясненія вполнѣ воображаемаго движенія, заподозрѣннаго по «аналогіи» съ извѣстнымъ движеніемъ луны. Для каждой изъ пяти планетъ необходимо было четыре сферы; дополнительная сфера производила измѣненія скорости и мѣняла направленіе движенія по эклиптикѣ (гл. I, § 14, и ниже, § 51). Такимъ образомъ, движенія небес-

ныхъ тѣлъ получили нѣкоторое объясненіе благодаря системѣ изъ 27 сферъ — 1 для звѣздъ, 6 для солнца и луны, 20 для планетъ. Мы не имѣемъ ясныхъ указаній на какія-либо серьезныя попытки со стороны Эвдокса привести въ точное согласіе размѣры или время обращенія сферъ съ наблюденными движеніями свѣтилъ, хотя ему съ достаточной точностью извѣстны были промежутки времени, затрачиваемые каждой планетой на возвращеніе къ прежнему положенію относительно солнца; другими словами—въ его схемѣ небесныя движенія представлены были качественно, но не количественно. Съ другой стороны, нѣтъ основаній предполагать, чтобы Эвдоксъ видѣлъ въ сферахъ (за исключеніемъ, быть можетъ, сферы неподвижныхъ звѣздъ) нѣчто матеріальное; его склонность къ математикѣ дѣлаетъ вѣроятнымъ, что сферы въ глазахъ его (какъ и большинства ученыхъ астрономовъ Греціи, наслѣдовавшихъ ему) представлялись чисто-геометрическими фигурами, полезнымъ средствомъ для разложенія въ высшей степени сложныхъ движеній на простѣйшіе элементы. Объ Эвдоксѣ упоминаютъ, какъ о первомъ изъ грековъ, владѣвшемъ обсерваторіей, помѣщавшейся въ Книдѣ, хотя къ намъ дошло очень мало подробностей относительно употреблявшихся тамъ инструментовъ или наблюденій, производившихся на ней. Ему мы обязаны, однако, первымъ систематическимъ описаніемъ созвѣздій (см. ниже, § 42), хотя, по всей вѣроятности, въ основу его легли, главнымъ образомъ, грубыя наблюденія, заимствованныя отъ грековъ-предшественниковъ или отъ египтянъ. Онъ былъ, кромѣ того, замѣчательный математикъ и

БИБЛИОТЕКА ОБЩЕСТВА ЛЮБИТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВОЗНАНІЯ, АНТРОПОЛОГІИ И ЭТНОГРАФІИ при Императорскомъ Московскомъ Университетѣ и Политехническомъ Музеѣ.

отличился въ нѣкоторыхъ другихъ областяхъ знанія.

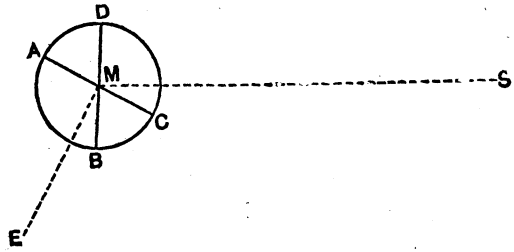
Въ скоромъ времени Калиппъ (§ 20) расширилъ эвдоксову систему вращающихся сферъ дѣленіемъ, по причинамъ, намъ неизвѣстнымъ, двухъ сферъ для солнца, двухъ для луны и по одной для Венеры, Меркурія и Марса, чѣмъ довелъ число ихъ до 34.

27. Объ астрономическихъ воззрѣніяхъ *Аристотеля* (384 — 322 до Р. Х.) къ намъ дошли довольно обстоятельныя свѣдѣнія, частью въ видѣ случайныхъ сообщеній, частью изъ двухъ трактатовъ — *Meteorologica* и *De Coelo*; къ сожалѣнію, одна изъ его книгъ, трактовавшая спеціально объ интересующемъ насъ предметѣ, пропала безвозвратно. Онъ признавалъ планетную систему Эвдокса и Калиппа, но представлялъ себѣ, изъ какихъ-то «метафизическихъ соображеній», что сферы должны оказывать другъ на друга нѣкоторое возмущающее вліяніе; съ цѣлью поправить дѣло, онъ ввелъ 22 новыхъ сферы, доведя ихъ число до 56. Кромѣ того, онъ признавалъ сферы матеріальными предметами, чѣмъ превратилъ остроумную и прекрасную геометрическую схему въ громоздкій механизмъ [1]). Впрочемъ, сферы Аристотеля не получили признанія у наслѣдовавшихъ ему греческихъ астрономовъ, и геометрическія системы Гиппарха и Птоломея построены на основаніяхъ, болѣе близкихъ къ идеямъ Эвдокса.

28. Аристотель, подобно другимъ философамъ его времени, вѣрилъ, что небо и небесныя тѣла обла-

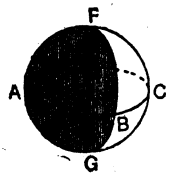
[1]) Громоздкій и запутанный, потому что механическія познанія того времени не въ состояніи были объяснить того, какимъ образомъ эти сферы дѣйствовали одна на другую.

даютъ шарообразной формой. Для доказательства шарообразности луны онъ прибѣгаетъ къ аргументу, приписываемому Пиѳагору (§ 23), именно, что внѣшній видъ луны въ различныхъ ея фазахъ соотвѣтствуетъ тому виду, какой принимало бы шарообразное тѣло, наполовину освѣщаемое солн-



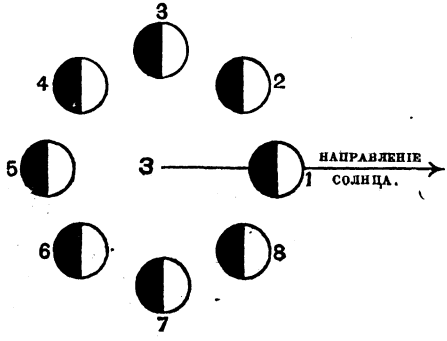
Фиг. 8. Фазы луны.

цемъ. Такимъ образомъ, видимая часть луны ограничена двумя плоскостями, проходящими по близости ея центра и соотвѣтственно перпендикулярнымъ линіямъ, соединяющимъ центръ луны съ центрами солнца и земли. На приложенной діаграммѣ, изображающей сѣченіе черезъ центры солнца (S), земли (E) и луны (M), ABCD представляютъ въ значительно увеличенномъ масштабѣ сѣченіе самой луны; часть ея DAB, направленная отъ солнца, темна, тогда какъ часть ADC, обращенная отъ наблюдателя съ земли, вообще невидима для него. Поэтому, освѣщена лишь та часть луны, которой въ разрѣзѣ соотвѣтствуетъ BC, или участокъ, изображенный FBGC на фиг. 9 (изображеніе полной луны) и ограниченный для глаза наблюдателя полукругомъ FCG и частью овала (FBG)



Фиг. 9.
Фазы луны.

(т.-е. собственно эллипса). Ширина этой освѣщенной поверхности замѣтно мѣняется въ зависимости отъ относительнаго положенія солнца, луны и земли; такъ что въ теченіе мѣсяца луна послѣдовательно занимаетъ положенія, отмѣченныя цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 на фиг. 10, и видъ ея измѣняется соотвѣтственно цифрамъ на фиг. 11; она проходитъ фазы серпа, полулунія, горбушки, полнаго диска, и снова горбушки, полулунія, серпа [1]).



Фиг. 10. Фазы луны.

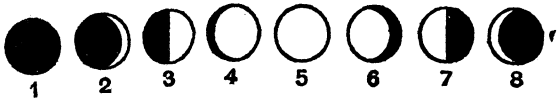
Затѣмъ Аристотель доказываетъ, что разъ одно небесное тѣло шарообразно, то и другія должны быть такими же, и подкрѣпляетъ свои разсужденія другимъ доводомъ, въ равной мѣрѣ для насъ не-

---

[1]) Мы привели здѣсь наиболѣе распространенное объясненіе фазъ луны, какъ доказательство ея шарообразности, хотя до Аристотеля, насколько намъ извѣстно, мы не встрѣчаемъ ни у одного изъ древнѣйшихъ писателей ясныхъ и опредѣленныхъ указаній на это объясненіе; послѣ же Аристотеля оно составляетъ общепризнанное достояніе греческой элементарной астрономіи. Нужно замѣтить, что объясненіе это совершенно не проливаетъ свѣта на вопросъ о вращеніи земли вокругъ оси или солнца.

убѣдительнымъ, именно, что сферическая форма неизбѣжно присуща тѣламъ, движущимся такъ, какъ, повидимому, движутся небесныя свѣтила.

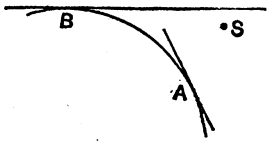
29. Нѣсколько интереснѣе его доказательства шарообразности земли. Обсудивши и отвергнувши всѣ возможныя гипотетическія формы, онъ показываетъ, что лунныя затменія причиняются тѣнью земли, отбрасываемой въ пространство въ сторону, противоположную солнцу; изъ круглоты свѣтовой границы тѣни, перемѣщающейся по лунному диску во время затменія, онъ заключаетъ, что земля шарообразна; иначе она отбрасывала бы тѣнь иныхъ очертаній. Другимъ доказательствомъ шаро-



Фиг. 11. Фазы луны.

образности земли служитъ то обстоятельство, что когда мы перемѣщаемся къ сѣверу или къ югу, то и звѣзды измѣняютъ свои видимыя положенія относительно горизонта — однѣ исчезаютъ, другія впервые появляются. Это показываетъ, что направленіе звѣздъ мѣняется относительно горизонта наблюдателя; а такъ какъ истинное направленіе звѣздъ весьма нечувствительно мѣняется въ зависимости отъ перемѣщенія наблюдателя по поверхности земли, то, значитъ, два горизонта, — одинъ южнѣе, другой сѣвернѣе, — имѣютъ различныя направленія; другими словами — земля обладаетъ кривизной. Напримѣръ, если наблюдатель въ А видитъ звѣзду (фиг. 12), тогда какъ наблюдатель въ В въ то же

самое время не видитъ ея, т.-е. она скрыта отъ него землей, то значитъ, земная поверхность въ А имѣетъ совершенно иное направленіе, чѣмъ въ В. Далѣе Аристотель сообщаетъ, въ подтвержденіе круглоты земли, что путешественники, прибывающіе какъ съ далекаго Востока, такъ и съ дальняго Запада (для того времени—Индія и Марокко), одинаково описываютъ эти страны, какъ мѣстопребываніе слоновъ, откуда можно заключить, что онѣ не очень далеки другъ отъ друга. Кромѣ того, онъ пользуется для доказательства своего мнѣнія кое-какими весьма темными аргументами апріорнаго характера.



Фиг. 12. Кривизна земли.

Врядъ ли можно сомнѣваться, что та легкость, съ какой Аристотель, наравнѣ съ другими греками, призналъ шарообразность за землей и другими небесными тѣлами, объясняется пристрастіемъ, какое греки издавна, повидимому, питали къ кругу и шару, какъ къ «совершеннымъ», т.-е. вполнѣ симметричнымъ фигурамъ.

30. Аристотель опровергаетъ возможность обращенія земли вокругъ солнца тѣмъ соображеніемъ, что если бы такое движеніе существовало, то оно вызвало бы соотвѣтственное кажущееся перемѣщеніе звѣздъ. Здѣсь мы встрѣчаемся съ однимъ изъ наиболѣе серьезныхъ возраженій, когда либо выставлявшихся противъ движенія земли, — возраженіемъ, окончательно устраненнымъ только въ XIX столѣтіи, когда было обнаружено существованіе такого перемѣщенія звѣздъ; однако, по причинѣ неизмѣ-

римо громаднаго разстоянія ихъ, замѣтить его удается лишь при помощи чрезвычайно утонченныхъ методовъ наблюденія (гл. XIII, §§ 278, 279). Аристотель занимается также вопросомъ о разстояніяхъ нѣкоторыхъ небесныхъ тѣлъ и приходитъ къ заключенію, что планеты отстоятъ отъ насъ дальше луны и солнца; свое мнѣніе онъ подкрѣпляетъ личными наблюденіями надъ покрытіемъ Марса луною (т.-е. прохожденіемъ луны передъ Марсомъ) и ссылкой на такія же наблюденія надъ другими планетами, произведенныя египтянами и вавилонянами. Непонятно, однако, почему онъ помѣщалъ планеты за солнцемъ; онъ долженъ былъ знать, что ослѣпительное сіяніе солнца не даетъ возможности наблюдать планеты въ его сосѣдствѣ и что по этой причинѣ невозможно наблюдать ихъ покрытія, если бы даже онѣ и происходили. Онъ сообщаетъ также мнѣніе «математиковъ» о томъ, что звѣзды отстоятъ по меньшей мѣрѣ въ девять разъ дальше солнца.

Въ сочиненіяхъ Аристотеля встрѣчается немало сообщеній и разсужденій астрономическаго характера, не основанныхъ на какихъ-либо солидныхъ доказательствахъ и представляющихъ весьма ничтожную цѣнность; между прочимъ, онъ занимается вопросомъ о природѣ кометъ, о звѣздахъ, о причинахъ мерцанія звѣздъ и различныхъ небесныхъ движеній.

Въ области астрономіи, какъ и въ другихъ отрасляхъ науки, Аристотель, повидимому, собиралъ и систематизировалъ лучшія знанія своего времени; но самостоятельныя его работы въ этой сферѣ не только не равняются его вкладамъ въ область мыш-

ленія и нравственныхъ наукъ, но даже уступаютъ работамъ въ другихъ отрасляхъ естествознанія — напримѣръ, естественной исторіи. Къ сожалѣнію, греческая астрономія его времени, да еще и въ стадіи крайней неразвитости, какъ бы кристаллизовалась въ его сочиненіяхъ; нѣсколькими столѣтіями позже невѣжественные и нерѣдко скудоумные послѣдователи ссылались на его громадный авторитетъ для поддержки мнѣній, въ его время извинительныхъ, но оказавшихся несостоятельными, въ результатѣ дальнѣйшихъ изслѣдованій. Совѣты, которые онъ даетъ читателямъ въ началѣ своего изложенія небесныхъ движеній — сравнивать его воззрѣнія съ тѣми, какія имъ самимъ приходили въ голову или съ какими имъ случалось знакомиться у другихъ—эти совѣты съ большой пользой могли бы быть приняты къ свѣдѣнію многими изъ такъ-называемыхъ аристотеліанцевъ среднихъ вѣковъ или временъ Возрожденія [1]).

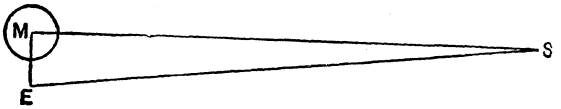
31. Послѣ Аристотеля центръ греческой научной мысли переносится въ Александрію. Александрія, основанная въ 332 г. до Р. Х. Александромъ Великимъ (нѣкоторое время состоявшимъ ученикомъ Аристотеля), въ эпоху царствованія Птоломеевъ была столицей Египта. Эти монархи, особенно второй изъ нихъ, Птоломей Филадельфъ, покровительствовали наукамъ; они основали знаменитый музей, съ великолѣпной библіотекой и обсерваторіей, и вскорѣ Александрія стала убѣжищемъ знаменитыхъ математиковъ и астрономовъ. Въ теченіе слѣдующихъ пяти вѣковъ всѣ мало-мальски

---

[1]) См., напримѣръ, разсказъ о процессѣ Галилея въ гл. VI.

значительные астрономы, за исключеніемъ великаго Гиппарха (§ 37), были александрійцы.

32. Среди древнѣйшихъ астрономовъ Александрійской школы назовемъ *Аристарха Самосскаго, Аристилла* и *Тимохариса*, трехъ ученыхъ, почти современниковъ, жившихъ около первой половины III в. до Р. Х. О взглядахъ Аристарха относительно движенія земли мы уже упоминали (§ 24). Его трактатъ *О величинѣ и разстояніяхъ солнца и луны* дошелъ до нашего времени; въ немъ онъ даетъ чрезвычайно остроумный методъ опредѣленія сравнительныхъ разстояній солнца и луны. Если на фиг. 13 E, S и M отмѣчаютъ центры земли,



Фиг. 13. Методъ Аристарха для опредѣленія разстояній солнца и луны.

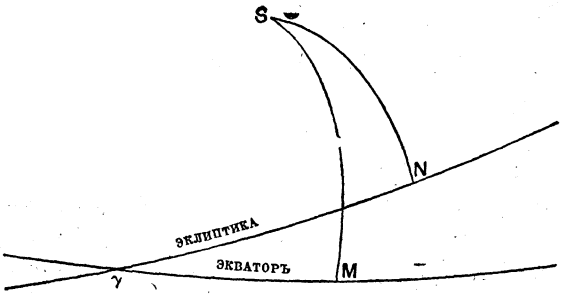
солнца и луны, то луна должна казаться наблюдателю въ E въ фазѣ полукруга, если уголъ EMS прямой. Если въ этомъ случаѣ измѣрить угловое разстояніе между центрами солнца и луны, т.-е. уголъ MES, то мы узнаемъ всѣ углы треугольника MES; видъ его совершенно опредѣлится, и тогда отношеніе сторонъ его EM и ES можно вычислить безъ труда. Насколько извѣстно изъ элементарной геометріи, сумма угловъ E и S равна прямому углу; отсюда легко получить уголъ S, именно, вычтя уголъ SEM изъ прямого. Аристархъ опредѣлилъ уголъ S въ 3° и на этомъ основаніи вычислилъ, что разстояніе солнца въ 18—20 разъ больше разстоянія луны; въ дѣйствительности же оно превос-

ходитъ его въ 400 разъ. Эта громадная ошибка произошла оттого, что опредѣлить съ достаточной точностью моментъ полулунія или квадратуры очень трудно: граница, раздѣляющая темную и свѣтлую половину луннаго диска, представляетъ собой (благодаря неровностямъ поверхности луны) плохо очерченную и прерывистую линію (фиг. 53 и заглавный рисунокъ), такъ что наблюденіе, легшее въ основу аристархова метода, не могло бы быть произведено съ надлежащей точностью даже и при помощи современныхъ инструментовъ, а тѣмъ меньше — съ инструментами его времени. Далѣе, Аристархъ считалъ кажущіеся діаметры солнца и луны почти одинаковыми (что доказывается, напримѣръ, солнечными затменіями, въ которыхъ луна иногда съ избыткомъ закрываетъ собой дискъ солнца, иногда же не совсѣмъ покрываетъ его), и совершенно правильно заключилъ изъ этого, что ихъ поперечники находятся въ соотвѣтствіи съ ихъ разстояніями, т.-е. прямо пропорціональны имъ. Помощью метода, основаннаго на наблюденіи затменій и усовершенствованнаго впослѣдствіи Гиппархомъ (§ 41), онъ нашелъ, что діаметръ луны составляетъ около $^1/_3$ земного діаметра, — результатъ, весьма близкій къ истинѣ; тотъ же методъ доставилъ ему данныя, изъ которыхъ непосредственно получалось разстояніе луны въ земныхъ радіусахъ; но въ этомъ мѣстѣ трудъ его совершенно искаженъ былъ грубой ошибкой въ оцѣнкѣ кажущагося діаметра луны (2° вмѣсто $^1/_2{}^\circ$), и заключенія вышли совсѣмъ противорѣчивыя. Повидимому, онъ считалъ разстоянія звѣздъ неизмѣримо громадными сравнительно съ разстояніемъ солнца. Такимъ образомъ, какъ умо-

зрѣнія его, такъ и дѣйствительные результаты его трудовъ отмѣчаютъ рѣшительный шагъ впередъ въ области астрономіи.

Тимохарисъ и Аристиллъ первые занялись опредѣленіемъ и записываніемъ положеній главныхъ звѣздъ на основаніи числовыхъ измѣреній ихъ разстояній отъ нѣкоторыхъ постоянныхъ точекъ небеснаго свода; ихъ, поэтому, можно считать творцами перваго звѣзднаго каталога въ настоящемъ смыслѣ этого слова. Въ то время, какъ древнѣйшіе астрономы пытались только описывать положенія звѣздъ при помощи болѣе или менѣе неясныхъ словесныхъ указаній, они произвели рядъ цѣнныхъ наблюденій надъ планетами, солнцемъ и т. д., изъ чего послѣдующіе астрономы, преимущественно Гиппархъ и Птоломей, съумѣли извлечь значительную пользу.

33. Одной изъ важнѣйшихъ заслугъ греческой астрономіи является разработка, главнымъ образомъ,



Фиг. 14. Экваторъ и эклиптика.

съ математической точки зрѣнія, слѣдствій вращенія небесной сферы и нѣкоторыхъ простѣйшихъ небесныхъ движеній; отдѣльныя ступени этого

процесса прослѣдить довольно нелегко. У насъ имѣется, однако, рядъ небольшихъ трактатовъ или руководствъ, написанныхъ преимущественно въ Александрійскій періодъ и трактующихъ объ упомянутой отрасли науки (извѣстной подъ названіемъ **сферики**, т.-е. ученія о сферахъ); прекраснымъ образцомъ такихъ трактатовъ являются *Phenomena* знаменитаго геометра *Эвклида* (около 300 г. до Р. Х.). Въ дополненіе къ описаннымъ уже (гл. I, §§ 8—11) точкамъ и кругамъ сферы мы встрѣчаемся теперь съ ясными указаніями на **горизонтъ** или большой кругъ, по которому горизонтальная плоскость, проведенная черезъ мѣсто наблюденія, пересѣкается съ небесной сферой, и **полюсъ** [1]), далѣе **зенитъ** [2]) или точка небесной сферы, находящаяся прямо или, какъ говорятъ, вертикально надъ головой наблюдателя; **вертикали** или большіе **круги**, **проходящіе** черезъ зенитъ; онѣ пересѣкаютъ горизонтъ подъ прямыми углами; наконецъ, **круги склоненія**, проходящіе черезъ южный и сѣверный полюсы и пересѣкающіе экваторъ подъ прямымъ угломъ. Слѣдующимъ по важности большимъ кругомъ является **меридіанъ**, проходящій черезъ зенитъ и полюсы. Хорошо извѣстный въ древности Млечный Путь обозначалъ собой другой большой кругъ. Тамъ же мы наталкиваемся на слѣды двухъ обычныхъ для нашего времени методовъ опредѣленія положенія звѣзды на небесной

---

[1]) Полюсы большого круга на сферѣ суть концы діаметра, перпендикулярнаго къ плоскости этого круга. Каждая точка большого круга находится въ одномъ и томъ же разстояніи отъ каждаго полюса (именно, на разстояніи 90°).

[2]) Слово «зенитъ» арабскаго, а не греческаго происхожденія; см. гл. III, § 64.

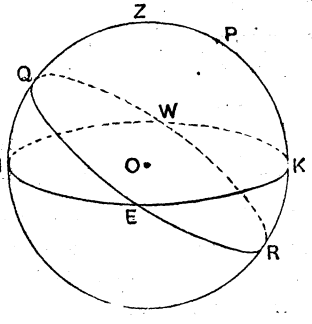
сферѣ — относительно экватора или эклиптики. Если мы проведемъ на небесной сферѣ (фиг. 14) черезъ звѣзду S часть большого круга SN, пересѣкающаго эклиптику ♈N въ точкѣ N подъ прямымъ угломъ, и другой большой кругъ (кругъ склоненія), пересѣкающій экваторъ въ M, и если ♈ мы примемъ за первую точку Овна (§ 13), въ которой эклиптика пересѣкается съ экваторомъ, то положеніе звѣзды вполнѣ опредѣлится или длиною дугъ ♈N, NS, называемыхъ **небесной долготой** и **широтой**, или дугами ♈M, MS, т.-е. **прямымъ восхожденіемъ и склоненіемъ**. Въ однихъ случаяхъ оказывается удобнымъ опредѣлять положеніе звѣздъ первымъ методомъ, т.-е. относительно эклиптики; въ другихъ удобнѣе пользоваться для этой цѣли экваторомъ, т.-е. прибѣгать ко второму способу.

34. Однимъ изъ приложеній сферики было изобрѣтеніе солнечныхъ часовъ, идея которыхъ, какъ полагаютъ, занесена была первоначально изъ Вавилона, но получила широкое развитіе у грековъ; они пользовались большимъ распространеніемъ какъ во времена грековъ, такъ и въ средніе вѣка. Правильное дѣленіе циферблата въ зависимости отъ различныхъ положеній — горизонтальнаго, вертикальнаго и наклоннаго — требуетъ значительнаго математическаго искусства. Немало вниманія удѣлялось также временамъ восхода и заката различныхъ созвѣздій и другимъ вопросамъ въ томъ же родѣ.

35. Открытіе шарообразной формы земли повело къ научному обсужденію различій временъ года въ различныхъ частяхъ земли и соотвѣтственному раздѣленію земного шара на зоны. Мы уже видѣли

что высота полюса надъ горизонтомъ не одинакова въ различныхъ мѣстахъ земного шара; далѣе узнано было, что если отправиться на крайній сѣверъ, то полюсъ совпадетъ съ зенитомъ, если же отправиться къ югу, то можно достигнуть такой области (недалеко отъ предѣловъ извѣстнаго грекамъ міра), гдѣ полюсъ окажется на горизонтѣ, а экваторъ пройдетъ черезъ зенитъ; еще южнѣе сѣверный полюсъ совсѣмъ скроется изъ глазъ, а южный покажется надъ горизонтомъ.

Пойдемъ дальше. Если на фиг. 15 HEKW представляетъ горизонтъ, пересѣкающій экваторъ QERW въ точкахъ востока и запада E и W, а меридіанъ HQZPK въ точкахъ юга и сѣвера H и K, причемъ Z отмѣчаетъ зенитъ, а P полюсъ, то легко убѣдиться, что QZ равно PK, высотѣ полюса надъ горизонтомъ. Поэтому, всякое небесное тѣло, сѣверное разстояніе котораго отъ экватора (т.-е. склоненіе) меньше QZ, пересѣчетъ меридіанъ къ югу отъ зенита, если же склоненіе его больше QZ, то оно пересѣчетъ его къ сѣверу отъ зенита. Предѣльное разстояніе отъ экватора, какого достигаетъ солнце, измѣряется угломъ между эклиптикой и экваторомъ, около $23^1/_2{}^\circ$. Изъ этого слѣдуетъ, что въ мѣстахъ, гдѣ высота полюса меньше $23^1/_2{}^\circ$, солнце въ извѣстное время года будетъ отбрасывать полуденную тѣнь къ югу. Въ очень близкихъ къ этому



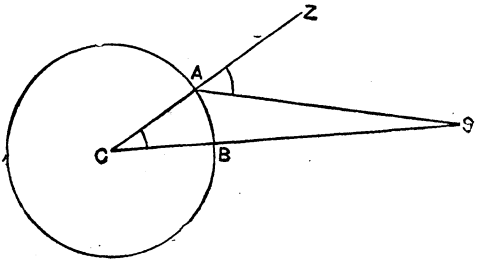
Фиг. 15. Экваторъ, горизонтъ и меридіанъ.

условіяхъ находилась мѣстность немного южнѣе Александріи, что было извѣстно грекамъ. Равнымъ образомъ имъ было извѣстно, что по ту сторону экватора есть область, гдѣ солнце обыкновенно отбрасываетъ тѣни къ югу, временами же къ сѣверу. Эти двѣ области—жаркіе пояса современныхъ географовъ.

Далѣе, если разстояніе солнца отъ экватора равно $23^1/_2{}^\circ$, то его разстояніе отъ полюса равно $66^1/_2{}^\circ$, поэтому, въ мѣстностяхъ, гдѣ высота PK сѣвернаго полюса больше $66^1/_2{}^\circ$, солнце лѣтомъ переходитъ въ область околополярныхъ, незаходящихъ звѣздъ (гл. I, § 9), и нѣкоторое время непрерывно стоитъ надъ горизонтомъ. Зато зимой солнце для этихъ мѣстъ (когда оно ближе подойдетъ къ южному полюсу) нѣкоторое время скрывается подъ горизонтомъ. Эти мѣстности (наши арктическія страны) неизвѣстны были греческимъ путешественникамъ, но астрономы несомнѣнно догадывались о ихъ существованіи.

36. *Эратосѳену* (отъ 276 до 195—196 г. до Р. Х.), также представителю Александрійской школы, мы обязаны первымъ научнымъ измѣреніемъ величины земного шара. Онъ нашелъ, что въ эпоху лѣтняго солнцестоянія угловое зенитное разстояніе полуденнаго солнца въ Александріи равно $^1/_{50}$ полной окружности, или около 7°, тогда какъ въ Сіенѣ въ верхнемъ Египтѣ солнце въ тотъ же моментъ стоитъ въ зенитѣ. Зная, что Сіена находится къ югу отъ Александріи, онъ заключилъ, что разстояніе между Сіеной и Александріей равно $^1/_{50}$ окружности земли. Если на фиг. 16 S обозначаетъ солнце, A и B Александрію и Сіену, C центръ

земли, а AZ направленіе зенита въ Александріи, то измѣренный Эратосѳеномъ уголъ SAZ, по причинѣ громаднаго разстоянія S, окажется равнымъ SCZ; опредѣливъ этотъ уголъ въ 7°, онъ заключилъ, что дуга AB находится къ земной окружности въ отношеніи 7° къ 360° или 1 къ 50. Такъ какъ разстояніе между Сіеной и Александріей считалось въ 5.000 *стадій*, то Эратосѳенъ опредѣлилъ длину земной окружности въ 250.000 стадій; это число впослѣд-



Фиг. 16. Измѣреніе земли.

ствіи замѣнили 252.000, подставивъ болѣе точное число стадій (700) вмѣсто каждаго градуса земной окружности. Очевидно, что употребленныя имъ данныя были до крайности грубы; тѣмъ не менѣе измѣреніе покоилось на очень прочномъ принципѣ; трудно, однако, судить о точности результата, за неимѣніемъ точныхъ извѣстій о величинѣ *стадіи*. Если, какъ представляется вѣроятнымъ, это была обыкновенная олимпійская стадія, то результатъ оказался на 20% больше истины, но по другимъ извѣстіямъ [1]) ошибка меньше 1% (гл. X, § 221).

---

[1]) Paul Tannery, *Recherches sur l' Histoire de l' Astronomie Ancienne*, chap. V.

Кромѣ того, Эратосѳенъ измѣрилъ наклоненіе эклиптики, которое онъ опредѣлилъ въ $^{22}/_{83}$ прямого угла, или 23° 51′, съ погрѣшностью всего около 7′.

37. Громадный прогрессъ въ астрономію внесъ *Гиппархъ*, котораго компетентные критики ставятъ неизмѣримо выше всѣхъ астрономовъ древняго міра и котораго смѣло можно поставить на на одну доску съ величайшими астрономами всѣхъ вѣковъ. Къ сожалѣнію, отъ него сохранилась только одна книга второстепенной важности, и всѣ наши свѣдѣнія о его трудахъ почти всецѣло почерпнуты изъ сочиненій его послѣдователя и великаго почитателя—Птоломея, жившаго спустя три вѣка (§§ 46 и слѣд.). О жизни его у насъ также имѣются самыя скудныя свѣдѣнія. Родился онъ или въ Никеѣ въ Виѳиніи, или на островѣ Родосѣ, гдѣ онъ построилъ обсерваторію и совершилъ большинство своихъ работъ. Мы не имѣемъ прямыхъ указаній на принадлежность его къ Александрійской школѣ, хотя онъ, по всей вѣроятности, посѣщалъ Александрію и, можетъ быть, дѣлалъ тамъ наблюденія. Птоломей упоминаетъ о наблюденіяхъ, произведенныхъ имъ въ 146, 126 годахъ до Р. Х. и о многихъ промежуточныхъ годахъ, такъ же, какъ и объ одномъ, весьма сомнительномъ наблюденіи 161 года до Р. Х. Періодомъ его наиболѣе продуктивной дѣятельности является, такимъ образомъ, середина II в. до Р. Х.

Помимо собственныхъ астрономическихъ открытій, услуги, оказанныя имъ астрономій, можно подраздѣлить на четыре категоріи. Онъ изобрѣлъ, или во всякомъ случаѣ значительно усовершен-

ствовалъ, спеціальную отрасль математики [1]), позволяющую прилагать процессы числовыхъ вычисленій къ геометрическимъ фигурамъ, какъ въ плоскости, такъ и на шаровой поверхности. Онъ произвелъ рядъ многочисленныхъ наблюденій со всею точностью, какую могли допустить его инструменты. Онъ систематически пользовался критической оцѣнкой и сравненіемъ старыхъ наблюденій съ позднѣйшими въ цѣляхъ обнаруженія астрономическихъ измѣненій, слишкомъ медленно происходящихъ для того, чтобы ихъ можно было замѣтить на небесномъ сводѣ въ предѣлахъ жизни одного человѣка. Наконецъ, онъ систематически разработалъ геометрическую систему (эксцентриковъ и отчасти эпицикловъ) для удобнѣйшаго изображенія движеній солнца и луны.

38. Честь догадки, что движенія небесныхъ тѣлъ съ большей простотой могутъ быть представлены комбинаціей однообразныхъ *круговыхъ* движеній, чѣмъ вращающимися *сферами* Эвдокса и его школы (§ 26), обыкновенно приписывается великому александрійскому математику *Аполлонію* изъ Перги, жившему во второй половинѣ III в. до Р. Х., но у насъ нѣтъ положительныхъ извѣстій о томъ, чтобы онъ разработалъ эту систему въ деталяхъ.

Въ виду той громадной роли, какую эта идея играла въ астрономіи въ продолженіе почти 2000 лѣтъ, мы считаемъ умѣстнымъ познакомить читателей нѣсколько подробнѣе съ Гиппарховой теоріей солнца — простѣйшимъ и наиболѣе успѣшнымъ приложеніемъ этой идеи.

---

[1]) Тригонометрію.

Мы уже видѣли (гл. I, § 10), что, помимо суточнаго движенія (съ востока на западъ), раздѣляемаго солнцемъ со всѣми остальными небесными тѣлами, солнце обладаетъ еще годичнымъ движеніемъ по небесной сферѣ въ обратномъ направленіи (съ запада на востокъ), по орбитѣ, наклонной къ экватору, уже издавна признанной за большой кругъ и получившей названіе эклиптики. Не слѣдуетъ забывать, кромѣ того, что небесная сфера, на которой, повидимому, находится солнце, есть не что иное, какъ геометрическая фикція, введенная для удобства; все, что непосредственное наблюденіе можетъ намъ дать, сводится лишь къ измѣненію того направленія, по которому видно солнце, такъ что солнце можетъ сколько угодно измѣнять свое разстояніе отъ земли, лишь бы измѣненія видимыхъ размѣровъ его, вызываемыя перемѣной разстоянія, находились въ согласіи съ наблюденіями или, по крайней мѣрѣ, не расходились съ ними на замѣтную величину. Сверхъ того, извѣстно было (вѣроятно, задолго до Гиппарха), что видимое движеніе солнца по эклиптикѣ не совсѣмъ равномѣрно, именно, что въ одно время года оно нѣсколько быстрѣе, чѣмъ въ другія.

Положимъ, мы имѣемъ цѣлый рядъ наблюденій надъ движеніемъ солнца и знаемъ его положеніе изо дня въ день; какъ приступить къ регистраціи и къ описанію этого движенія? Для практическихъ цѣлей нѣтъ ничего удобнѣе метода, принятаго для нашихъ календарей, гдѣ дается положеніе солнца на каждый день; прослѣдивши наблюденія за нѣсколько лѣтъ, не трудно убѣдиться, что движеніе солнца (за вычетомъ неправильностей нашего ка-

лендарнаго счета) изъ года въ годъ одинаково, и на этомъ основаніи предсказывать положеніе солнца изо дня въ день на будущіе года.

Ясно, однако, что такое описаніе не только оказалось бы слишкомъ длиннымъ, но и не удовлетворило бы всякаго, кто заинтересовался бы этимъ вопросомъ изъ научной любознательности. Такой человѣкъ почувствовалъ бы, что всѣ эти мелочные факты должны вытекать, какъ слѣдствія, изъ какого-нибудь болѣе простого общаго положенія.

Современный астрономъ попытался бы выразить движеніе солнца при помощи алгебраической формулы, т.-е. представилъ бы скорость солнца или его разстояніе отъ какой-нибудь неподвижной точки символическимъ выраженіемъ, которое связывало бы нѣкоторымъ опредѣленнымъ образомъ происходящія перемѣны съ единицами времени и позволяло бы компетентному лицу безъ труда находить требуемое положеніе солнца для любого даннаго момента[1]).

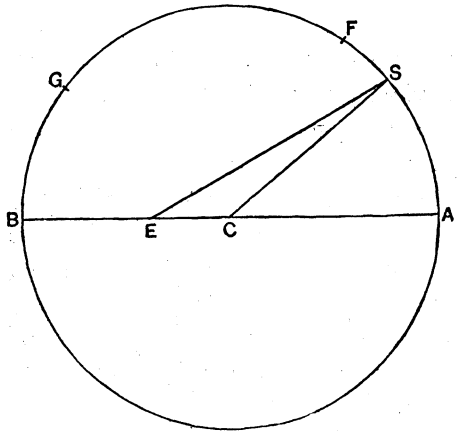
---

[1]) Эту процедуру можно иллюстрировать болѣе простымъ примѣромъ. Тяжелое тѣло, свободно подверженное дѣйствію тяжести, падаетъ (если пренебречь сопротивленіемъ воздуха) около 16 футовъ въ 1 секунду, 64 въ двѣ секунды, 144 въ 3 секунды, 256 футовъ въ 4 секунды, 400 футовъ въ 5 секундъ, и т. д. Этотъ рядъ чиселъ, продолженный насколько угодно, удовлетворяетъ практическимъ требованіямъ, причемъ его можно дополнить, по желанію, соотвѣтствующими цифрами для дробныхъ долей секунды; но математикъ представляетъ тѣ же факты — болѣе простымъ и удовлетворительнымъ для пытливаго ума способомъ, именно помощью формулы $s = 16\ t^2$, гдѣ s обозначаетъ число футовъ паденія, а t—число секундъ. Подставивъ въ t данное число секундъ, мы сразу получаемъ пространство, пройденное тѣломъ. Подобнымъ же образомъ можно приблизительно представить движеніе солнца болѣе сложной формулой $l = nt + 2\ e \sin nt$, гдѣ l обозначаетъ разстояніе отъ неподвижной точки орбиты, t — время, а n, e — опредѣленныя числовыя количества.

Греки, однако, не обладали надлежащими алгебраическими познаніями для пользованія такимъ методомъ, и Гиппархъ, подобно своимъ предшественникамъ, пользовался геометрическимъ изображеніемъ неравенствъ или варіацій солнечнаго движенія по эклиптикѣ,—методъ, въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ болѣе живой и удобопонятный, нежели алгебраическій, но совершенно непримѣнимый въ сложныхъ задачахъ. Кромѣ того, всегда рискуешь впасть въ искусственность построенія. Кругъ, какъ простѣйшая изъ извѣстныхъ тогда кривыхъ, естественно обратилъ на себя вниманіе астрономовъ, и такъ какъ всякое движеніе, кромѣ равномѣрнаго, требуетъ само по себѣ спеціальной схемы, то идея Аполлонія, въ разработкѣ Гиппарха, потребовала отысканія надлежащей комбинаціи однообразныхъ, равномѣрныхъ круговыхъ движеній.

39. Простѣйшимъ пріемомъ, удовлетворительно объяснившимъ особенности движенія солнца, было введеніе **эксцентрика**, т.-е. круга, центръ котораго (C) не совпадаетъ съ положеніемъ наблюдателя на землѣ (E). Если на фиг. 17 точка S описываетъ эксцентрическій кругъ AFBG равномѣрнымъ движеніемъ, т.-е. проходитъ равныя дуги въ равныя времена, а уголъ ACS возрастаетъ равномѣрно, то ясно, что уголъ AES, или кажущееся разстояніе S отъ A, возрастаетъ неравномѣрно. Когда S приближается къ точкѣ A, отстоящей дальше всего отъ земли и, поэтому, называемой **апогеемъ**, она кажется движущейся медленнѣе, чѣмъ въ F или G, по причинѣ большаго разстоянія наблюдателя; всего же быстрѣе она движется по близости B, точки, наиболѣе близкой къ E и, потому, называемой **перигеемъ**

Такимъ образомъ, движеніе точки S измѣняется наподобіе наблюдаемаго движенія солнца. Прежде, однако, чѣмъ принять теорію эксцентрика, необходимо было показать, что возможно подобрать такое направленіе линіи ВЕСА (**линія апсидъ**), опредѣляющей положеніе солнца въ моменты наибыстрѣйшаго и наимедленнѣйшаго движенія, и такое отношеніе



Фиг. 17. Эксцентрикъ.

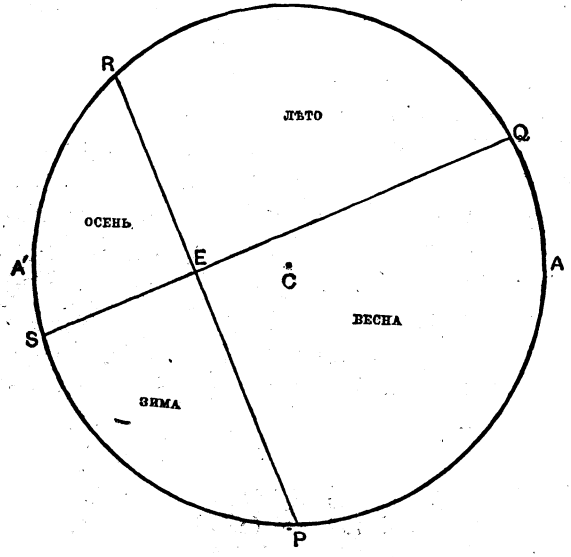
ЕС къ радіусу круга СА (**эксцентрицитетъ**), чтобы вычисленныя положенія солнца въ различныхъ частяхъ его пути отличались отъ наблюденныхъ положеній въ соотвѣтствующія времена года на величину столь малую, чтобы ее можно было съ полнымъ правомъ отнести на счетъ ошибокъ наблюденія.

Задача была гораздо труднѣе, чѣмъ могло показаться съ перваго взгляда, благодаря громаднымъ затрудненіямъ, которыя приходилось испытывать во времена грековъ и долго спустя, въ тѣхъ случаяхъ,

когда нужно было добыть удовлетворительныя наблюденія надъ солнцемъ. Такъ какъ звѣзды и солнце не могутъ быть наблюдаемы одновременно, то нѣтъ возможности непосредственно измѣрить разстояніе солнца отъ сосѣднихъ звѣздъ и такимъ образомъ опредѣлить положеніе его на небесной сферѣ. Но зато возможно, измѣривъ длину тѣни, отбрасываемой въ полдень вертикальнымъ стержнемъ, опредѣлить съ достаточной точностью высоту солнца надъ горизонтомъ и отсюда получить его разстояніе отъ экватора, т.-е. склоненіе (фиг. 3, 14). Но одной этой величины недостаточно для опредѣленія положенія солнца; если бы можно было съ точностью измѣрить его прямое восхожденіе (§ 33) или разстояніе къ востоку или западу отъ извѣстныхъ звѣздъ, то этимъ его положеніе на небесной сферѣ вполнѣ опредѣлилось бы. Однако, методы опредѣленія этой второй величины были весьма несовершенны. Одинъ методъ заключался въ томъ, что отмѣчалось время между прохожденіемъ солнца черезъ какое-либо постоянное мѣсто небеснаго свода (напримѣръ, черезъ меридіанъ) и прохожденіемъ звѣзды черезъ то же самое мѣсто; такимъ путемъ получалось угловое разстояніе между ними (извѣстно, что небесная сфера въ своемъ суточномъ вращеніи проходитъ 15° въ часъ); этотъ методъ очень точенъ при наличности современныхъ часовъ, но былъ весьма ненадеженъ въ тѣ времена, когда хронометрами служили водяные часы или песочныя склянки. По другому методу за связующее звено между солнцемъ и звѣздами бралась луна, причемъ положеніе ея относительно звѣздъ опредѣлялось ночью, а относительно солнца—днемъ; однако, бла-

годаря быстрому перемѣщенію луны въ промежуткѣ между двумя наблюденіями, этотъ методъ также не могъ считаться очень точнымъ.

Въ частности для опредѣленія линіи апсидъ Гиппархъ пользовался совсѣмъ особымъ методомъ; проницательность его сказалась въ поразительной догадкѣ, что и эксцентрицитетъ, и линію апсидъ



Фиг. 18. Положеніе солнечнаго апогея.

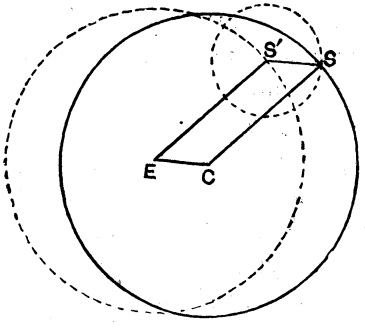
можно опредѣлить, зная длину двухъ временъ года, т.-е. промежутковъ, на которые годъ дѣлится солнцестояніями и равноденствіями (§ 11). Изъ личныхъ наблюденій и наблюденій, сдѣланныхъ его предшественниками, онъ убѣдился, что продолжительность весны (отъ весенняго равноденствія до лѣтняго солнцестоянія) равняется 94 суткамъ, а лѣта (отъ лѣтняго солнцестоянія до осенняго рав-

ноденствія) — $92^1/_2$ суткамъ, при длинѣ года въ $365^1/_4$ сутокъ. Такъ какъ солнце описываетъ въ каждое время года одинъ и тотъ же уголъ, именно прямой, а весна и лѣто составляютъ вмѣстѣ больше половины года, весна же длиннѣе лѣта, то отсюда слѣдуетъ, что солнце въ общемъ движется весной медленнѣе, чѣмъ во всякое другое время года, а, потому, весной же оно проходитъ черезъ апогей. Значитъ, если мы на фиг. 18 проведемъ два перпендикуляра QES и PER, отмѣчающіе направленіе солнца въ моменты солнцестояній и равноденствій, причемъ P соотвѣтствуетъ весеннему, а R — осеннему равноденствію, то апогей долженъ лежать въ нѣкоторой точкѣ A между P и Q. Это легко уразумѣть безъ помощи математики, но вычисленіе истиннаго положенія A и эксцентрицитета — вещь болѣе сложная. Уголъ PEA опредѣленъ былъ почти въ 65°; значитъ, солнце проходитъ черезъ свой апогей около начала іюня; эксцентрицитетъ опредѣлили въ $^1/_{24}$.

Когда удалось такимъ образомъ изобразить движеніе геометрически, то составить таблицу, на основаніи которой можно было бы опредѣлять положеніе солнца на каждый день въ году, оказалось сравнительно легкимъ дѣломъ, потребовавшимъ небольшихъ вычисленій. Для этого понадобилось найти такъ-называемое **уравненіе центра**, т.-е. уголъ, равный углу CSE на фиг. 17, представляющій собой излишекъ истинной долготы солнца сравнительно съ той долготой, какой оно обладало бы въ случаѣ равномѣрнаго движенія.

Благодаря несовершенству наблюденій (Гиппархъ полагалъ, что принятые имъ моменты равноден-

ствій и солнцестояній можно считать вѣрными лишь въ предѣлахъ полусутокъ), полученные результаты далеки были отъ точности въ современномъ смыслѣ, но теорія все-таки представляла солнечныя движенія съ точностью, вполнѣ соотвѣтствовавшей наблюденіямъ того времени. Любопытно замѣтить, что та же теорія, но при болѣе вѣрной оцѣнкѣ эксцентрицитета, можетъ настолько точно представить движеніе солнца, что ошибка никогда не превыситъ 1′ — величины, вполнѣ нечувствительной для простого глаза.



Фиг. 19. Эпициклъ и деферентъ.

Теорія Гиппарха представляетъ измѣненія въ разстояніи солнца съ гораздо меньшей точностью, и хотя на самомъ дѣлѣ угловой діаметръ солнца измѣняется въ теченіе года на $^1/_{30}$ своей величины, т.-е. на 1′—это неравенство по теоріи Гиппарха выходитъ вдвое бо́льшимъ. Но даже и такая погрѣшность почти совершенно ускользнула отъ его инструментовъ.

Гиппархъ понималъ, что движеніе солнца можно объяснить еще и другимъ способомъ, изобрѣтеннымъ Аполлоніемъ, именно помощью **эпицикла**. Тѣло, движеніе котораго необходимо представить, предполагаютъ равномѣрно движущимся по окружности круга, называемаго эпицикломъ, центръ котораго въ свою очередь движется по другому кругу, носящему названіе **деферента**. Легко убѣдиться, что

если кругъ, равный эксцентрику, но только съ центромъ въ точкѣ E (фиг. 19), принять за деферентъ, и если S′ взять на немъ такъ, чтобы ES′ оказалась параллельнымъ CS, тогда S′S окажется равнымъ и параллельнымъ EC; вотъ почему солнце, равномѣрно движущееся по эксцентрику, можно съ одинаковымъ правомъ помѣстить на кругѣ радіуса S′S, центръ котораго S′ движется по деференту. Для данной задачи оба вышеизложенныя построенія давали одинаковые результаты, и Гиппархъ, для простоты, выбралъ эксцентрикъ.

40. Лунныя движенія, какъ несравненно болѣе сложныя, издавна смущали астрономовъ [1]), и Гиппархъ по необходимости долженъ былъ для объясненія ихъ изобрѣсти болѣе утонченную схему. Прежде, однако, чѣмъ приступить къ положенію его теоріи, необходимо подробнѣе познакомиться съ движеніями луны.

Мы уже опредѣляли (въ гл. I, § 16) лунный мѣсяцъ, какъ періодъ, въ теченіе котораго луна возвращается въ прежнее положеніе относительно солнца; собственно этотъ періодъ (около $29^1/_2$ сутокъ) называется **синодическимъ мѣсяцемъ**; такъ какъ и солнце, подобно лунѣ, движется по небесной сферѣ, но только медленнѣе, то луна возвращается въ прежнее положеніе между звѣздами въ нѣсколько болѣе короткій періодъ; этотъ періодъ (около 27 дней и 8 часовъ) извѣстенъ подъ названіемъ **звѣзднаго** или **сидерическаго мѣсяца.** Кромѣ того, путь луны на небесной сферѣ слегка накло-

---

[1]) И въ настоящее время существуетъ небольшое разногласіе между наблюдаемыми и вычисленными положеніями луны. См. гл. XIII, § 290.

ненъ къ эклиптикѣ; приблизительно это большой кругъ, пересѣкающій эклиптику въ двухъ **узлахъ**, подъ угломъ приблизительно въ 5°, величину котораго Гиппархъ, какъ кажется, первый окончательно установилъ. Мало того, путь луны непрерывно измѣняется такимъ образомъ, что въ то время, какъ наклоненіе его къ эклиптикѣ остается почти неизмѣннымъ (гл. V, § III), углы медленно отступаютъ назадъ (отъ востока къ западу) вдоль эклиптики, совершая полное обращеніе почти въ 19 лѣтъ. Поэтому, удобно обозначить особымъ названіемъ **драконическій мѣсяцъ** [1]) тотъ періодъ, въ теченіе котораго луна возвращается въ прежнее положеніе относительно узловъ (приблизительно 27 дней и 5 часовъ).

Далѣе, лунное движеніе, подобно солнечному, не равномѣрно, и неравенства его еще крупнѣе солнечныхъ. Гиппархъ кажется, первый замѣтилъ, что та часть луннаго пути, въ которой она всего быстрѣе движется, не занимаетъ постояннаго положенія на небесной сферѣ, но непрерывно перемѣщается, другими словами—линія апсидъ (§ 39) луннаго пути подвижна. Движеніе это поступательное, причемъ полный оборотъ совершается почти въ девять лѣтъ. Мы имѣемъ, такимъ образомъ, четвертый видъ мѣсяца, такъ-называемый **аномалистическій мѣсяцъ** — періодъ, въ теченіе котораго луна возвращается къ прежнему апогею или перигею.

---

[1]) Это названіе сохранилось, какъ любопытный пережитокъ очень древняго суевѣрія. Затменія, всегда происходящія вблизи узловъ, причинялись, какъ нѣкогда думали, дракономъ, пожиравшимъ луну или солнце. Знаки ☊ и ☋, которыми еще донынѣ пользуются для обозначенія узловъ, символизируютъ, по мнѣнію нѣкоторыхъ, голову и хвостъ дракона.

Гиппарху приписываютъ честь болѣе точнаго установленія длины каждаго изъ этихъ мѣсяцевъ. Въ цѣляхъ наиболѣе точнаго опредѣленія означенныхъ періодовъ онъ считалъ очень важнымъ сравнивать лунныя наблюденія, раздѣленныя какъ можно большимъ промежуткомъ времени; онъ нашелъ, что самые удовлетворительные результаты получаются изъ халдейскихъ и другихъ наблюденій надъ затменіями, которыя являются одновременной регистраціей положеній луны, узловъ и солнца, по той причинѣ, что затменія происходятъ лишь поблизости лунныхъ узловъ.

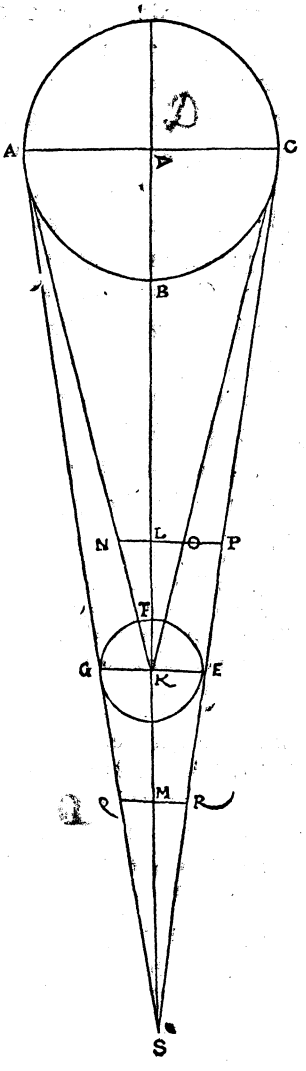
Для объясненія этого сложнаго ряда движеній Гиппархъ пользовался, какъ и въ случаѣ солнца, эксцентрикомъ, центръ котораго описывалъ кругъ вокругъ земли почти въ девять лѣтъ (соотвѣтственно движенію апсидъ); плоскость этого эксцентрика должна имѣть наклонъ въ 5° къ эклиптикѣ и отступать назадъ такимъ образомъ, чтобы получалось вышеописанное движеніе узловъ.

Разумѣется, результатъ не можетъ получиться столь же удовлетворительнымъ, какъ и для солнца. Неравенство скорости луннаго движенія не только крупнѣе солнечнаго, но и подчиняется болѣе сложному закону и не можетъ быть съ такимъ же успѣхомъ представлено посредствомъ одного эксцентрика, такъ что, хотя система Гиппарха представляетъ движеніе луны въ нѣкоторыхъ частяхъ ея орбиты съ поразительной точностью, тѣмъ не менѣе разногласія между вычисленными и наблюденными положеніями были явленіемъ нерѣдкимъ. Есть нѣкоторыя указанія на то, что Гиппархъ это зналъ, но только не въ силахъ былъ перерабо-

тать свою теорію до надлежащей степени совершенства.

41. Что касается планетъ, то Гиппархъ нашелъ такъ мало удовлетворительныхъ наблюденій среди оставленныхъ его предшественниками, что даже и не пытался построить систему эпицикловъ и эксцентриковъ для объясненія ихъ движеній, но предпочелъ собрать новыя наблюденія съ цѣлью завѣщать ихъ своимъ послѣдователямъ. Онъ воспользовался ими для болѣе точнаго опредѣленія среднихъ періодовъ обращенія нѣкоторыхъ планетъ.

Онъ пытался, и довольно успѣшно, опредѣлить величину и разстояніе луны, пользуясь методомъ, основаннымъ на затменіяхъ, главная идея котораго принадлежитъ Аристарху (§ 32); наблюдая угловой діаметръ земной тѣни (QR) на разстояніи луны во время затменія и сравнивая его съ извѣстными



Фиг. 20. Методъ затменія, связывающій разстоянія солнца и луны.

угловыми діаметрами солнца и луны, онъ получилъ, путемъ простого вычисленія [1]), отношеніе между разстояніями солнца и луны; зная одно, легко опредѣлить другое. Гиппархъ зналъ, что солнце гораздо дальше луны, и, повидимому, бралъ не одинъ результатъ, между прочимъ, аристарховскій; во всѣхъ случаяхъ онъ неизмѣнно получалъ, что разстояніе луны равно почти 59 радіусамъ земли. Соединивъ оцѣнки Гиппарха и Аристарха, мы получимъ для солнца разстояніе въ 1200 земныхъ радіусовъ — число, не подвергавшееся существеннымъ измѣненіямъ въ продолженіе многихъ вѣковъ (гл. VIII, § 161).

42. Разсказываютъ, что появленіе новой звѣзды въ созвѣздіи Скорпіона, въ 134 году до Р. Х, на-

---

[1]) На фиг. 20, взятой нами для особо интересующихся, изъ *De Revolutionibus* Коперника (гл. IV, § 85), D, K, M отмѣчаютъ центры солнца, земли и луны, въ моментъ луннаго затменія, а SQG, SRE — границы конуса тѣни, отбрасываемой землей; тогда QR, проведенное подъ прямымъ угломъ къ оси конуса, представляетъ ширину тѣни на разстояніи луны. Изъ подобія треугольниковъ мы получаемъ: (GK — QM): (AD — GK) = MK: KD. Если KD = n. MK, то и AD = n (радіусъ луны *), причемъ n, по Аристарху, равно 19; значитъ, (GK — QM): [n. (радіусъ луны) — GK] = 1: n

n. (радіусъ луны) — GK = n GK — n QM, слѣдовательно, радіусъ луны + радіусъ тѣни = $\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ (радіуса земли).

Изъ наблюденій было найдено, что угловой радіусъ тѣни равенъ почти 40′, а радіусъ луны 15′, откуда сдѣдуетъ, что радіусъ тѣни = $\frac{8}{3}$ радіуса луны, значитъ, радіусъ луны равенъ $\frac{3}{11}\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ (радіуса земли). Но такъ какъ угловой радіусъ луны равенъ 15′, то разстояніе ея непремѣнно около 220 разъ больше радіуса. Слѣдовательно, разстояніе луны = 60 $\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ (радіуса земли), что даетъ въ грубомъ видѣ результатъ Гиппарха, если подъ n разумѣть нѣкоторое большое число.

---

*) См. § 32 объ отношеніи линейныхъ радіусовъ солнца и луны.

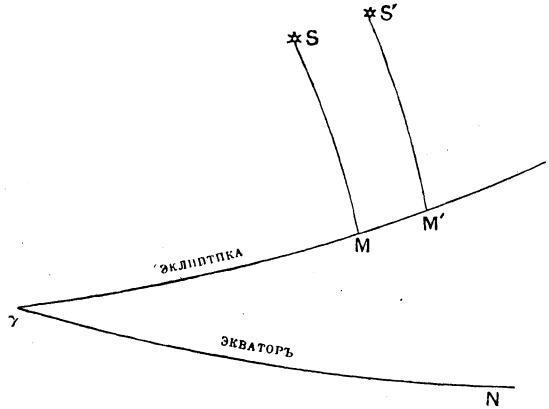
вело Гиппарха на мысль о составленіи новаго звѣзднаго каталога. Онъ записалъ въ него 1080 звѣздъ, и не только отмѣтилъ небесную широту и долготу каждой звѣзды, но и раздѣлилъ ихъ на шесть величинъ по степени яркости. Созвѣздія, о которыхъ онъ упоминаетъ, почти тождественны съ созвѣздіями Эвдокса; списокъ ихъ претерпѣлъ очень мало измѣненій до нашего времени, если не считать нѣкотораго числа новыхъ созвѣздій южнаго полушарія, недоступныхъ цивилизованнымъ народамъ древняго міра. Гиппархъ записалъ также нѣсколько случаевъ, въ которыхъ три и болѣе звѣзды лежали на одной линіи, точнѣе, на одномъ большомъ кругѣ; онъ имѣлъ въ виду оставить позднѣйшимъ наблюдателямъ данныя для наиболѣе легкаго уловленія возможныхъ перемѣнъ въ положеніи звѣздъ. Его каталогъ, за незначительными измѣненіями, считался образцомъ въ теченіе шестнадцати вѣковъ (гл. III, § 63).

Составленіе этого каталога привело его къ замѣчательному открытію, поразительнѣйшему, быть можетъ, изъ дошедшихъ до насъ открытій Гиппарха. Сравнивая свои наблюденія нѣкоторыхъ звѣздъ съ наблюденіями Аристилла и Тимохариса (§ 33), сдѣланными приблизительно за полтора вѣка, Гиппархъ нашелъ, что разстоянія этихъ звѣздъ отъ точки равноденствія измѣняются. Такъ, для яркой звѣзды Спика (иначе Колосъ, въ созвѣздіи Дѣвы) разстояніе отъ равноденственныхъ точекъ (считая къ востоку) возросло на 2° за 150 лѣтъ, т.-е. на 48″ въ годъ. Хотя грубые способы наблюденій показывали значительную разницу въ движеніяхъ отдѣльныхъ звѣздъ, однако, очевидно было, что

долготы всѣхъ звѣздъ вообще (считая отъ запада къ востоку) возрастали при отсутствіи какихъ бы то ни было измѣненій въ широтѣ; Гиппархъ считалъ это перемѣщеніе по долготѣ по меньшей мѣрѣ въ 36″ въ годъ, а то и больше. Согласіе въ движеніяхъ различныхъ звѣздъ въ достаточной мѣрѣ убѣдило его въ томъ, что эти перемѣны можно объяснить не движеніемъ отдѣльныхъ звѣздъ, а скорѣе перемѣной въ положеніи равноденственныхъ точекъ, отъ одной изъ которыхъ отсчитываются долготы. Эти точки лежатъ въ пересѣченіи экватора съ эклиптикой; слѣдовательно, одинъ изъ этихъ двухъ большихъ круговъ мѣняетъ свое положеніе. Но такъ какъ широты звѣздъ не претерпѣваютъ никакихъ измѣненій, то изъ этого слѣдуетъ, что эклиптика сохраняетъ свое положеніе, а всѣ перемѣны происходятъ, благодаря движенію экватора. Подобно многимъ своимъ предшественникамъ, Гиппархъ измѣрилъ наклоненіе эклиптики, и въ результатѣ не нашелъ никакихъ замѣтныхъ измѣненій. Отсюда Гиппархъ заключилъ, что экваторъ, такъ сказать, медленно отступаетъ назадъ (т.-е. отъ востока къ западу), удерживая постоянное наклоненіе къ эклиптикѣ.

Пояснимъ это рисункомъ. На фиг. 21 γM обозначаетъ эклиптику, γN экваторъ, S звѣзда, наблюдавшаяся Тимохарисомъ, SM большой кругъ, проведенный перпендикулярно къ эклиптикѣ. SM, значитъ, широта, γM — долгота. Пускай S′ обозначаетъ ту же звѣзду во времена Гиппарха; онъ нашелъ, что S′M′ равно прежнему SM, но $\gamma M'$ больше γM, другими словами — M′ слегка подалось къ востоку отъ M. Такъ какъ MM′ приблизительно одинаково

для всѣхъ звѣздъ, то проще всего было приписать это измѣненіе движенію въ противоположномъ направленіи точки γ, т.-е. отъ γ къ γ′ (фиг. 22), другими словами — движеніе экватора отъ γN къ γ′N′, причемъ наклоненіе его N′γ′M остается равнымъ первоначальной величинѣ NγM. Общій результатъ этой перемѣны показанъ иначе на фиг. 23, гдѣ γγ′♎′ обозначаетъ эклиптику, ABCD — экваторъ во



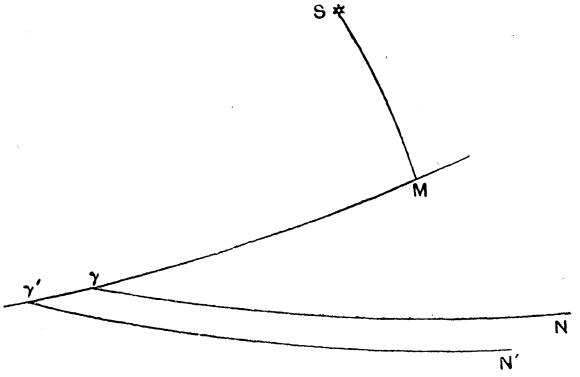
Фиг. 21. Возрастаніе долготы звѣзды.

времена Тимохариса, A′B′C′D′ (напечатанное краснымъ) — тотъ же экваторъ во времена Гиппарха, γ,♎ — прежнія положенія двухъ равноденственныхъ точекъ, а γ′,♎′ — позднѣйшія.

Величина годичнаго перемѣщенія γγ′, какъ было уже сказано, опредѣлена Гиппархомъ въ 36″ по меньшей мѣрѣ (что соотвѣтствуетъ одному градусу въ столѣтіе); теперь извѣстно, что она значительно больше, именно около 50″.

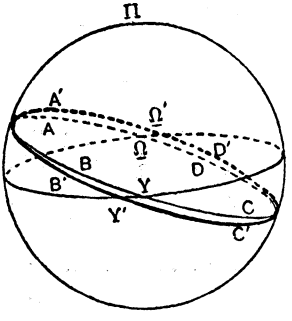
Вышеописанное перемѣщеніе экватора влечетъ за собой очень важное слѣдствіе, а именно: солнце,

отправившись отъ равноденственной точки въ годичное путешествіе по эклиптикѣ, возвращается въ новое положеніе равноденственной точки нѣсколько



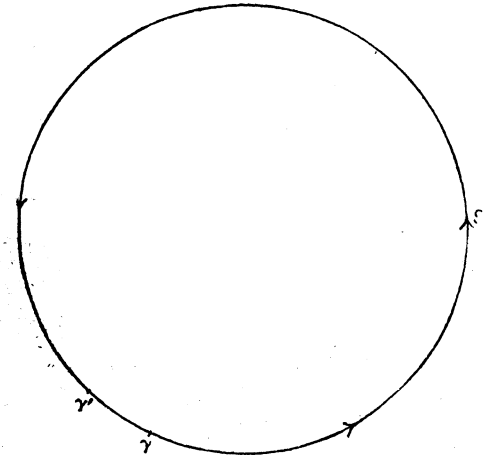
Фиг. 22. Движеніе экватора.

ранѣе того момента, въ какой оно займетъ прежнее положеніе относительно звѣздъ, и, такимъ образомъ, послѣдовательныя равноденствія наступаютъ немного раньше, чѣмъ слѣдовало бы. Это обстоятельство и дало поводъ назвать описываемое явленіе **предвареніемъ равноденствій**, или, короче — **прецессіей**, для означенія разсмотрѣннаго нами движенія. Поэтому, необходимо различать, какъ это уже замѣтилъ и Гиппархъ, **тропическій годъ** или періодъ, въ теченіе котораго солнце возвращается къ прежнему положенію относительно равноденственныхъ точекъ,



Фиг. 23. Предвареніе равноденствій.

и звѣздный или **сидерическій годъ**, въ теченіе котораго солнце возвращается къ прежнему положенію относительно звѣздъ. Если $\gamma\gamma'$ (фиг. 24) отмѣчаетъ перемѣщеніе равноденственной точки въ теченіе тропическаго года, то солнце, отправившись отъ равноденствія γ, придетъ—въ концѣ тропическаго года—въ новую равноденственную точку γ'; сидерическій же



Фиг. 24 Предвареніе равноденствій.

годъ исполнится только тогда, когда солнце опишетъ еще дугу $\gamma'\gamma$ и вернется въ точку отправленія γ. При современной оцѣнкѣ прецессіи или дуги $\gamma\gamma'$ въ 50″, солнце въ сидерическій годъ описываетъ дугу въ 360°, въ тропическій же—дугу, на 50″ меньшую, или 359°59′10″; въ такомъ же отношеніи находятся и длины годовъ, и величина, на которую сидерическій годъ превосходитъ тропическій, сохраняетъ отношеніе 50″ къ 360° (или 50″ къ 1,296,000″), и

равна поэтому $\frac{365\frac{1}{4} \times 50}{1.296.000}$ дней или около 20 минутъ.

Можно еще иначе представить прецессію, именно: равноденственная точка совершаетъ полный оборотъ по эклиптикѣ и возвращается въ прежнее положеніе приблизительно черезъ 26.000 лѣтъ.

Длина тропическаго и сидерическаго года была также опредѣлена Гиппархомъ съ значительной точностью. Длину тропическаго года онъ опредѣлилъ путемъ сравненія временъ солнцестояній и равноденствій, наблюдавшихся прежними астрономами, со своими собственными наблюденіями. Сравнивши, напримѣръ, дату лѣтняго солнцестоянія 280 г. до Р. Х., наблюдавшагося Аристархомъ Самосскимъ, съ солнцестояніемъ 135 г. до Р. Х., онъ нашелъ, что ходячую оцѣнку длины года въ $365^1/_4$ дней слѣдуетъ уменьшить на $^1/_{300}$ сутокъ или почти на пять минутъ, что приблизительно подтверждалось другими наблюденіями. Какъ интересную иллюстрацію къ его научному методу можно привести его тщательныя изысканія насчетъ возможныхъ погрѣшностей наблюденія, приведшія его къ заключенію, что моментъ солнцестоянія можно опредѣлить съ ошибкой до $^3/_4$ сутокъ, опредѣленіе же момента равноденствія можетъ уклониться отъ истины не болѣе какъ на $^1/_4$ сутокъ. Въ данномъ примѣрѣ получается ошибка въ $1^1/_2$ сутокъ на 145 лѣтъ или около 15 минутъ на годъ. На дѣлѣ его оцѣнка длины года больше истинной всего на какихъ-нибудь шесть минутъ, такъ что погрѣшность гораздо меньше его собственныхъ предположеній. Между прочимъ, онъ разсматривалъ возможность измѣненій длины года и пришелъ къ заключенію, что хотя его

собственныя наблюденія и не настолько точны, чтобы рѣшительно доказать неизмѣняемость годичнаго періода, тѣмъ не менѣе нѣтъ основаній предполагать противное.

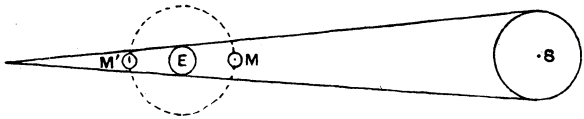
Когда длина тропическаго года была, такимъ образомъ, опредѣлена въ 365 дней 5 часовъ 55 минутъ, и изъ наблюденій прецессіи найдена разница между тропическимъ и сидерическимъ годомъ, тогда получилось, что сидерическій годъ превосходитъ $365^1/_4$ сутокъ почти на 10 минутъ,—результатъ, почти въ точности совпадающій съ данными современной науки. То, что при сложеніи двухъ невѣрныхъ данныхъ, длины тропическаго года и прецессіи, получился столь точный результатъ, вовсе не было, какъ кажется на первый взглядъ, простой случайностью. Такъ какъ главнымъ источникомъ ошибки въ каждомъ случаѣ являлись невѣрныя даты многихъ равноденствій и солнцестояній, то эти погрѣшности имѣли тенденцію вызывать погрѣшности противоположнаго характера въ длинѣ тропическаго года и прецессіи, такъ что до нѣкоторой степени онѣ компенсировались другъ другомъ. Эта оцѣнка длины сидерическаго года была, вѣроятно, отчасти провѣрена Гиппархомъ путемъ сравненія наблюденій надъ затменіями въ различныя эпохи.

43. Громадныя усовершенствованія, внесенныя Гиппархомъ въ теорію луны и солнца, естественно дали ему возможность успѣшнѣе своихъ предшественниковъ справиться съ задачей, возбуждавшей величайшій интересъ во всѣ вѣка—съ вопросомъ о предсказаніи лунныхъ и солнечныхъ затменій.

То, что лунныя затменія происходятъ во время прохожденія луны черезъ земную тѣнь, отбрасы-

ваемую солнцемъ, или, другими словами, въ то время, когда земля становится между луной и солнцемъ, а солнечныя—во время прохожденія луны по диску солнца, было прекрасно извѣстно греческимъ астрономамъ эпохи Аристотеля (§ 29), а, можетъ быть, и болѣе ранней (гл. I, § 17), хотя, по всей вѣроятности, лишь немногимъ, и вообще съ затменіями долгое время связывали самыя суевѣрныя представленія и ужасы.

Главное затрудненіе въ вопросѣ о затменіяхъ заключается въ томъ, что путь луны не совпадаетъ съ эклиптикой. Если бы путь луны совпадалъ съ

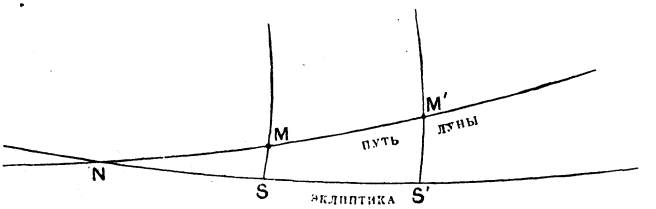


Фиг. 25. Земная тѣнь.

эклиптикой, тогда каждое новолуніе луна (M) проходила бы какъ разъ между землей и солнцемъ, и это послѣднее затмевалось бы, и каждое полнолуніе луна (M') становилась бы какъ разъ діаметрально противоположно солнцу, и потому затмевалась бы тѣнью.

Но такъ какъ лунный путь наклоненъ къ эклиптикѣ (§ 40), то широты солнца и луны могутъ различаться до 5°, будутъ ли эти свѣтила въ **соединеніи**, т.-е. будутъ имѣть одинаковыя долготы, или же въ **противостояніи**, различаясь долготами на 180°; въ обоихъ этихъ случаяхъ они слишкомъ далеки другъ отъ друга, чтобы затмиться. Быть ли затменію, или не быть — это зависитъ прежде всего отъ широты луны въ данное время, затѣмъ отъ положенія ея

относительно узловъ орбиты (§ 40). Если соединеніе случается поблизости одного изъ узловъ (N), какъ показано на фиг. 26 (SM), то солнце и луна могутъ придти въ соприкосновеніе (въ проэкціи, разумѣется), и произойдетъ затменіе; если же оно случается на значительномъ разстояніи отъ узла, какъ въ S'M', то центры солнца и луны такъ удалены другъ отъ друга, что затменія произойти не можетъ.

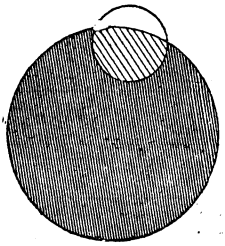


Фиг. 26. Эклиптика и путь луны.

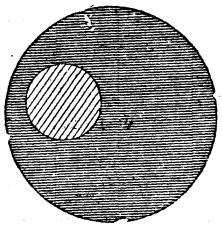
Угловой діаметръ луны или солнца, какъ мы видѣли (§ 32), равенъ почти $^1/_2{}^\circ$; значитъ, когда ихъ диски только соприкасаются, какъ на фиг. 27, то разстояніе между ихъ центрами равно также $^1/_2{}^\circ$. Если въ моментъ соединенія разстояніе центровъ меньше этой величины, то происходитъ затменіе солнца; если — нѣтъ, то затменія не произойдетъ. Путемъ вычисленія легко опредѣлить (фиг. 26) сторону NS или NM треугольника NMS, когда SM равно указанной величинѣ, а затѣмъ опредѣлить наибольшее разстояніе отъ узла, на которомъ можетъ произойти затменіе въ эпоху соединенія. Такимъ же образомъ можно поступить и въ случаѣ луннаго затменія, съ той только разницей, что приходится имѣть

Фиг. 27. Солнце и луна.

дѣло съ луной и съ земной тѣнью на разстояніи луны. Видимые размѣры тѣни, впрочемъ, гораздо больше кажущагося діаметра луны, и затменіе луны происходитъ въ томъ случаѣ, когда разстояніе между центрами луны и тѣни меньше 1°. Какъ и въ предыдущемъ случаѣ, легко опредѣлить для момента соединенія то разстояніе луны или центра тѣни отъ узла, при которомъ затменіе непремѣнно произойдетъ. Но такъ какъ кажущіеся діаметры солнца и луны, а слѣдовательно и земной тѣни, измѣняются сообразно съ разстояніемъ луны



Фиг. 28. Частное затменіе луны.



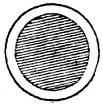
Фиг. 29. Полное затменіе луны.

и солнца, о чемъ Гиппархъ не имѣлъ точныхъ свѣдѣній, то вычисленіе оказывается гораздо болѣе сложнымъ, чѣмъ можетъ показаться на первый взглядъ, и потому онъ произвелъ его не особенно точно.

Различаются **частныя** и **полныя** затменія луны; первыя происходятъ въ томъ случаѣ, когда земная тѣнь покрываетъ только часть луннаго диска (фиг. 28), а послѣднія, когда лунный дискъ совершенно погружается въ земную тѣнь (фиг. 29). Точно такъ же и солнечныя затменія могутъ быть частными и полными; но такъ какъ солнечный

дискъ временами бываетъ нѣсколько больше луннаго, то иногда случается, что весь дискъ солнца покрывается луннымъ, за исключеніемъ узенькой полоски или кольца по краямъ (фиг. 30); такое затменіе называется **кольцеобразнымъ.** Такъ какъ земная тѣнь на разстояніи луны всегда больше луннаго диска, то кольцеобразныхъ лунныхъ затменій никогда не бываетъ.

Итакъ, затменія имѣютъ мѣсто только въ томъ случаѣ, если разстояніе луны отъ узла въ эпоху соединенія или противостоянія не превосходитъ опредѣленныхъ, приблизительно извѣстныхъ предѣловъ; проблема предсказанія затменій до нѣкоторой степени уже рѣшена, если мы знакомы съ движеніемъ луны и узловъ ея орбиты въ томъ объемѣ, въ какомъ оно было извѣстно Гиппарху. Кромѣ того, опредѣливъ разъ навсегда длину синодическаго и драконическаго мѣсяца (§ 40), можно, посредствомъ простого ариѳметическаго разсчета, найти одинъ или нѣсколько періодовъ, по истеченіи которыхъ затменія повторяются приблизительно въ прежнемъ порядкѣ. Если какой-нибудь періодъ времени содержитъ цѣлое число тѣхъ или другихъ мѣсяцевъ, то по истеченіи этого періода снова происходитъ соединеніе (или противостояніе) въ томъ же разстояніи луны отъ узла, и затменіе случается при прежнихъ условіяхъ. Саросъ, напримѣръ (гл. I, § 17), содержалъ почти полныхъ 223 синодическихъ или 242 драконическихъ мѣсяца, съ точностью до одного часа. Гиппархъ видѣлъ, что для предсказанія затменій нельзя вполнѣ полагаться на эти періоды, и

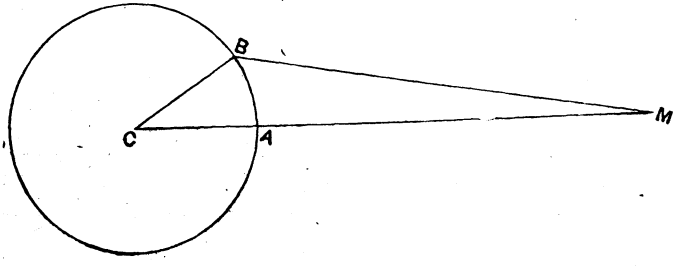


Фиг. 30. Кольцеобразное затменіе солнца.

показалъ даже, какъ ввести въ вычисленія неправильности движеній луны и солнца (§§ 39, 40), не принятыя въ соображеніе для Сароса, но не могъ во всей полнотѣ устранить затрудненія, возникающія отъ измѣненій кажущагося діаметра солнца или луны.

Затменія солнца усложняются, однако, еще однимъ важнымъ обстоятельствомъ, подмѣченнымъ болѣе древними писателями, но впервые разсмотрѣннымъ въ трудахъ Гиппарха. Такъ какъ затменіе луны есть дѣйствительное потемнѣніе ея поверхности, то оно наблюдается всѣми и всюду, гдѣ вообще луна доступна глазу въ данный моментъ; напримѣръ, даже предполагаемымъ обитателямъ сосѣднихъ планетъ, точь въ точь какъ мы наблюдаемъ затменія спутниковъ Юпитера. Солнце же при затменіи закрывается луной, какъ бы экраномъ, только для даннаго наблюдателя, а для другого, находящагося гдѣ-нибудь въ иномъ мѣстѣ, не представляетъ въ то же время никакихъ особенностей. Значитъ, при вычисленіи солнечнаго затменія необходимо принимать въ соображеніе и мѣсто наблюдателя на землѣ. Проще всего будетъ взять въ разсчетъ разницу въ направленіяхъ луны, видимой изъ мѣста наблюденія и изъ какого-нибудь примѣрнаго пункта — скажемъ, какимъ-нибудь воображаемымъ наблюдателемъ изъ центра земли. Если на фиг. 31 M означаетъ луну, C—центръ земли, A—точку на земной поверхности между C и M (въ этомъ мѣстѣ луна стоитъ надъ головой наблюдателя), а B—другую точку земной поверхности, то наблюдатели, помѣщенные въ C (или A) и B, одновременно видятъ луну въ различныхъ направленіяхъ,

CM и BM, разница между которыми измѣряется угломъ BMC, носящимъ названіе **параллакса** и зависящимъ отъ разстоянія луны, величины земли и положенія наблюдателя B. Для солнца, по причинѣ его громаднаго разстоянія, параллаксъ даже въ оцѣнкѣ грековъ во всѣхъ случаяхъ оказывался слишкомъ малъ, чтобы его можно было ввести въ вычисленія, но параллаксъ луны, доходящій до 1°, не такая величина, чтобы ею можно было пренебречь.



Фиг. 31. Параллаксъ.

Если извѣстенъ путь луны, видимый изъ центра земли, то положеніе его относительно какого-нибудь пункта земной поверхности можно опредѣлить помощью параллакса, и тогда уже легко вычислить условія видимости солнечнаго затменія въ данномъ мѣстѣ.

Со времени Гиппарха самый заурядный астрономъ легко умѣлъ предсказывать лунныя затменія съ точностью до одного-двухъ часовъ, а солнечныя, вѣроятно, съ меньшимъ приближеніемъ; въ обоихъ случаяхъ вычисленіе величины затменія, т.-е. того, какая часть луннаго или солнечнаго диска будетъ потемнена, надо думать, оставляло желать многаго.

44. Громадныя услуги, оказанныя астрономіи Гиппархомъ, едва ли не лучшую оцѣнку нашли себѣ въ словахъ знаменитаго французскаго историка астрономіи Деламбра, далеко не снисходительнаго критика трудовъ своихъ предшественниковъ:

«Какъ разсмотришь все, изобрѣтенное или усовершенствованное Гиппархомъ, и поразмыслишь надъ множествомъ его трудовъ и массой содержащихся въ нихъ вычисленій, то поневолѣ причислишь его къ удивительнѣйшимъ мужамъ древности и величайшимъ въ области наукъ не чисто умозрительныхъ, но требующихъ соединенія геометрическихъ знаній съ знаніемъ явленій, поддающихся наблюденію только при условіи полнаго вниманія и утонченныхъ инструментовъ» [1]).

45. Въ теченіе трехъ вѣковъ послѣ смерти Гиппарха исторія астрономіи какъ бы задернута мглой. Существуетъ нѣсколько руководствъ, написанныхъ въ этотъ періодъ и отражающихъ постепенное распространеніе и популяризацію его великихъ открытій. Изъ немногихъ интересныхъ положеній, встрѣчающихся въ этихъ книгахъ, любопытно отмѣтить слѣдующія мнѣнія: звѣздамъ нѣтъ необходимости непремѣнно лежать на поверхности сферы, онѣ могутъ находиться въ самыхъ различныхъ разстояніяхъ, которыя, однако, невозможно опредѣлить; затѣмъ, догадку, что солнце и звѣзды настолько удалены отъ земли, что съ солнца она показалась бы точкой, а со звѣздъ ея и совсѣмъ не было бы видно; и возвращеніе къ старинному

---

[1]) *Histoire de l'Astronomie Ancienne*, Vol. I, p. 185.

мнѣнію, приписываемому египтянамъ (Александрійскаго ли, или болѣе ранняго періода — не установлено), по которому Венера и Меркурій обращаются вокругъ солнца. Повидимому, въ этомъ же періодѣ сдѣлано было нѣсколько попытокъ объясненія планетныхъ движеній помощью эпицикловъ, но отмѣтили ли онѣ собой какой-нибудь прогрессъ сравнительно съ тѣмъ, что сдѣлано было Аполлоніемъ и Гиппархомъ, неизвѣстно.

Любопытно отмѣтить, что у *Плинія* (23 — 79 по Р. Х.) мы находимъ общеизвѣстное въ наши дни доказательство шарообразности земли, именно, что при отплытіи корабля мачты и т. п. остаются еще видимы нѣкоторое время послѣ того, какъ корпусъ корабля скрылся подъ горизонтомъ.

Заслуживаетъ упоминанія еще новое измѣреніе окружности земли *Посидоніемъ* (родился въ концѣ жизни Гиппарха); онъ пользовался методомъ, близкимъ къ эратосѳеновскому (§ 36), и получилъ два различныхъ результата. По послѣдней оцѣнкѣ, которой онъ, повидимому, придавалъ больше вѣроятія, длина земной окружности равна 180.000 стадій, — результатъ, который почти настолько же ниже истины, насколько эратосѳеновскій превышаетъ ее.

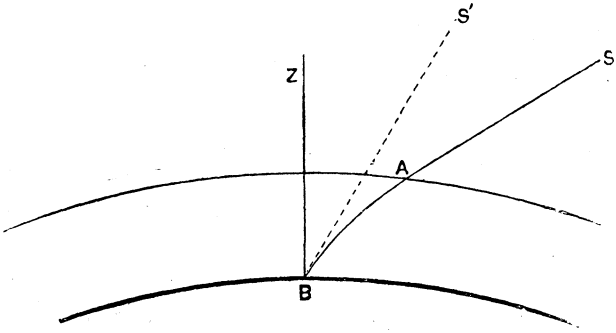
46. Послѣднее славное имя, съ которымъ мы встрѣчаемся въ греческой астрономіи, принадлежитъ Клавдію *Птоломею*, о жизни котораго не имѣется извѣстій, кромѣ того, что онъ жилъ въ Александріи около середины II в. по Р. Х. Его слава основана, главнымъ образомъ, на большомъ астрономическомъ трактатѣ, подъ названіемъ *Альмагестъ* [1]) —

[1]) Основная рукопись носитъ заглавіе μεγάλη σύνταξις или «Большое Сочиненіе», хотя авторъ въ ссылкахъ на свою книгу назы-

источникъ, изъ котораго почерпнута большая часть нашихъ свѣдѣній о греческой астрономіи и который можно смѣло назвать астрономической библіей среднихъ вѣковъ. Ему же приписывается нѣсколько меньшихъ астрономическихъ и астрологическихъ трактатовъ, изъ которыхъ нѣкоторые, вѣроятно, не оригинальнаго происхожденія; онъ, кромѣ того, былъ авторомъ цѣннаго труда по географіи, а, можетъ быть, и трактата по оптикѣ; впрочемъ, подлинность этого послѣдняго сочиненія не засвидѣтельствована, и вполнѣ возможно, что оно арабскаго происхожденія. Въ *Оптикѣ* разсматривается, между прочимъ, **рефракція** или преломленіе свѣта въ земной атмосферѣ; тамъ поясняется, что свѣтъ звѣзды (фиг. 32) или другого небеснаго тѣла S, войдя въ нашу атмосферу (въ точкѣ A) и пронизывая нижніе, болѣе плотные слои ея, понемногу долженъ изогнуться или **преломиться**; въ результатѣ звѣзда покажется наблюдателю, помѣщенному въ B, ближе къ зениту Z, чѣмъ въ дѣйствительности, другими словами — свѣтъ будетъ казаться исходящимъ изъ S′, а не изъ S. Далѣе показано, что преломленіе больше для свѣтилъ, находящихся у горизонта, чѣмъ для тѣхъ, которыя находятся у зенита, такъ какъ лучамъ, идущимъ съ горизонта, приходится пронизывать болѣе толстый слой атмосферы; результаты эти выставлены причиной наблюдаемыхъ

ваетъ ее μαθηματικὴ σύνταξις (математическое сочиненіе). Арабскіе переводчики — изъ уваженія ли, или по небрежности — превратили μεγάλη, «великое», въ μεγίστη, «величайшее», такъ что у арабовъ книга Птоломея извѣстна была подъ названіемъ *Al Magisti*, откуда и произошло латинское *Almagestum* или наше *Альмагестъ*.

уклоненій въ суточномъ движеніи звѣздъ, благодаря которымъ онѣ приподняты надъ горизонтомъ выше истиннаго своего положенія. Рефракціей же объясняется хорошо извѣстный приплюснутый видъ луннаго и солнечнаго диска при восходѣ и закатѣ, происходящій оттого, что нижній край его приподнимается дѣйствіемъ рефракціи больше верхняго, такъ что дискъ сокращается по вертикальному діаметру, а отчасти и по горизонтальному [1]).



Фиг. 32. Атмосферное преломленіе.

47. *Альмагестъ* несомнѣнно основанъ, главнымъ образомъ на трудахъ прежнихъ астрономовъ, въ особенности же Гиппарха, которому Птоломей на каждомъ шагу выражаетъ свое уваженіе и восхищеніе. О многихъ предметахъ, составляющихъ его содержаніе, мы уже раньше говорили, и потому нѣтъ надобности повторять ихъ подробнѣе. Книга

---

[1]) Общеизвѣстное кажущееся увеличеніе луннаго и солнечнаго диска при восходѣ или закатѣ не имѣетъ отношенія къ рефракціи. Это оптическая иллюзія, мало объясненная до сихъ поръ; причина ея, вѣроятно, заключается въ меньшей яркости луны и солнца въ эти моменты.

эта сыграла, однако, столь важную роль въ исторіи астрономіи, что мы считаемъ вполнѣ умѣстнымъ дать краткій очеркъ ея содержанія, въ добавленіе къ болѣе пространному изложенію тѣхъ частей ея, въ которыя Птоломей внесъ крупный прогрессъ.

Альмагестъ состоитъ всего изъ 13 книгъ. Первыя двѣ трактуютъ о наиболѣе простыхъ фактахъ наблюденія, каковы: суточное движеніе небесной сферы, главныя движенія солнца, луны и планетъ,— а также и о нѣкоторыхъ явленіяхъ, связанныхъ съ небесной сферой и ея движеніемъ, каковы: продолжительность дня и времена восхода и заката звѣздъ въ различныхъ поясахъ земного шара; здѣсь же даются рѣшенія нѣкоторыхъ изъ важнѣйшихъ математическихъ задачъ [1]) и математическая таблица [2]) значительныхъ размѣровъ и точности. Самая же интересная часть этихъ вступительныхъ главъ трактуетъ о томъ, что можно назвать постулатами птоломеевой астрономіи (кн. I, гл. II). Первый касается шарообразности земли. Птоломей попеременно обсуждаетъ и отбрасываетъ различныя воззрѣнія и излагаетъ нѣкоторыя изъ общепринятыхъ доказательствъ шарообразности земли, опуская, однако, одно изъ наиболѣе сильныхъ, принадлежащее Аристотелю (§ 29) и основанное на затменіяхъ; онъ сдѣлалъ это, быть можетъ, потому, что считалъ его слишкомъ отвлеченнымъ и труднымъ, и отъ себя прибавилъ аргументъ, основанный на фактѣ увеличенія площади горизонта, замѣчаемый при восхожденіи на высоты. Въ своей географіи онъ

---

[1]) Изъ сферической тригонометріи.

[2]) Таблица хордъ (или двойныхъ синусовъ половины угла) для каждаго $^1/_2{}^\circ$ отъ 0° до 180°.

принимаетъ оцѣнку Посидонія для окружности земли — 180.000 стадій. Изъ другихъ постулатовъ, выставленныхъ и защищаемыхъ имъ, отмѣтимъ доказательства того, что небо шарообразно и вращается, подобно сферѣ, что земля находится въ центрѣ неба, что она неподвижна и представляетъ собой точку по сравненію съ разстояніями неподвижныхъ звѣздъ. Положеніе, занимаемое этими постулатами въ трактатѣ, и общій методъ птоломеева изложенія заставляютъ думать, что онъ считалъ ихъ не важными истинами, требующими возможно лучшаго подтвержденія, но скорѣе предположеніями (въ числѣ другихъ извѣстныхъ автору), болѣе достойными довѣрія въ качествѣ базиса для математическихъ вычисленій, долженствующихъ объяснить наблюдаемыя явленія [1]). Этимъ онъ существенно отличается какъ отъ древнихъ грековъ, вродѣ Пиѳагора, такъ и отъ полемическихъ писателей XVI и XVII вѣковъ, вродѣ Галилея (гл. VI), для которыхъ истинность или ложность постулатовъ, аналогичныхъ птоломеевымъ, составляла самую сущность астрономіи и одинъ изъ конечныхъ объектовъ изслѣдованія. Аргументы, выдвигаемые Птоломеемъ въ защиту своихъ постулатовъ, аргументы, представ-

[1]) Его методъ можно уподобить методу экономиста школы Рикардо, который для объясненія экономическихъ явленій отправляется отъ нѣкоторыхъ простыхъ предположеній на счетъ человѣческой природы, во всякомъ случаѣ болѣе вѣроятныхъ, чѣмъ какія-либо другія одинаковой съ ними простоты, и изъ нихъ выводитъ нѣсколько абстрактныхъ заключеній, приложимость которыхъ къ реальной жизни приходится разсматривать въ частныхъ случаяхъ. Но бѣглыя опредѣленія качествъ «экономическаго» человѣка, данныя такимъ писателемъ, нельзя, разумѣется, принимать за осторожную и конечную оцѣнку человѣческой природы.

лявшіе, по всей вѣроятности, общія мѣста астрономической литературы его времени, кажутся намъ шаткими и малоцѣнными, за исключеніемъ доказательствъ, касающихся формы земли. Въ самомъ дѣлѣ, остальныя положенія едва ли можно доказать или опровергнуть тѣми данными, какія имѣлись въ распоряженіи Птоломея. Его доводы въ пользу неподвижности земли не лишены интереса; въ нихъ онъ обнаруживаетъ ясное пониманіе того, что нѣкоторыя, несомнѣнно кажущіяся явленія, можно съ одинаковымъ успѣхомъ объяснить какъ движеніемъ звѣздъ, такъ и движеніемъ земли; онъ склоняется, однако, къ заключенію, что гораздо легче приписать движеніе звѣздамъ, тѣламъ, повидимому, огненной природы, чѣмъ твердой землѣ, и, кромѣ того, указываетъ на трудность представить себѣ землю обладающей быстрымъ движеніемъ, совершенно невоспринимаемымъ нашимъ сознаніемъ. Онъ, однако, не вдается въ серьезное разсмотрѣніе возможности обращенія земли или хотя бы Венеры и Меркурія вокругъ солнца.

Третья книга *Альмагеста* касается длины года и теоріи солнца, но она не прибавила ничего существеннаго къ трудамъ Гиппарха.

48. Въ четвертой книгѣ *Альмагеста*, трактующей о длинѣ мѣсяца и о теоріи луны, содержится одно изъ важнѣйшихъ открытій Птоломея. Мы видѣли, что, кромѣ движенія лунной орбиты въ ея цѣломъ и обращенія линіи апсидъ, главная неправильность или неравенство заключалось въ такъ-называемомъ уравненіи центра (§§ 39—40), очень точно изображаемомъ помощью эксцентрика и зависящемъ только отъ положенія луны относительно своего апогея.

Птоломей, однако, открылъ то, что Гиппархъ только подозрѣвалъ, именно, что въ движеніи луны есть еще одна неправильность — получившая впослѣдствіи названіе **эвекціи**, — отчасти зависящая отъ положенія ея относительно солнца. Птоломей сравнилъ наблюденныя положенія луны относительно солнца и апогея съ вычисленіями Гиппарха и нашелъ, что хотя въ эпохи полнолунія и новолунія наблюдается значительное совпаденіе, въ эпохи квадратуръ (полулунія) замѣчаются большія уклоненія, хотя бы луна даже и не находилась очень близко къ перигею или апогею. Гиппархъ основывалъ свою теорію, главнымъ образомъ, на наблюденіяхъ затменій, т.-е. на наблюденіяхъ, по необходимости производившихся въ полнолуніе или новолуніе (§ 43), а Птоломей своимъ открытіемъ обязанъ тому обстоятельству, что провѣрялъ теорію Гиппарха наблюденіями, производившимися въ другое время. Для изображенія этого новаго неравенства оказалось необходимымъ воспользоваться эпицикломъ и деферентомъ, причемъ этотъ послѣдній представлялъ собой эксцентрическій кругъ, центръ котораго обращался вокругъ земли. Чтобы объяснить до нѣкоторой степени оставшіяся разногласія между теоріей и наблюденіемъ, производившимся ни въ полнолуніе или новолуніе, ни въ эпоху **квадратуръ** (полулуніе), Птоломей допустилъ нѣкоторое малое колебательное движеніе эпицикла, нѣчто вродѣ качанія, которому онъ далъ названіе **просневзиса** [1]). Птоломею удалось, такимъ образомъ,

---

[1]) Уравненіе центра можно выразить тригонометрически двумя членами въ выраженіи для долготы луны, $a\ Sin\ \theta + b\ sin\ (2\varphi - \theta)$, гдѣ a, b суть числовыя количества, въ круглыхъ циф-

настолько приспособить свою теорію къ наблюденіямъ, что погрѣшность ихъ рѣдко превосходила 10′— величину ничтожную для астрономіи того времени; на основаніи своего построенія онъ вычислилъ таблицы, по которымъ легко было узнать положеніе луны въ любой данный моментъ.

Въ этой теоріи особенно сильно сказался одинъ изъ характерныхъ недостатковъ системы эпицикловъ. Говоря о теоріи солнца (§ 39), мы уже замѣтили, что эксцентрикъ или эпициклъ производилъ ошибочное измѣненіе въ разстояніи солнца, во времена грековъ, однако, незамѣтное. По системѣ Птоломея луна въ нѣкоторые моменты находилась на разстояніи почти вдвое большемъ минимальнаго, и, слѣдовательно, кажущійся діаметръ ея временами долженъ составлять немного больше половины максимальной своей величины — заключеніе, явно несогласное съ наблюденіями. Весьма вѣроятно, что Птоломей замѣтилъ эту несообразность, но не могъ одолѣть возникнувшихъ при этомъ затрудненій;

рахъ 6° и 1°, θ—угловое разстояніе луны отъ перигея, а φ угловое разстояніе отъ солнца. Въ соединеніи или противостояніи φ равно 0° или 180°, и вышеприведенный двучленъ упрощается въ $(a - b) \sin \theta$. Это та форма, въ которой уравненіе центра представлялось Гиппарху. Птоломеева поправка, поэтому, равносильна прибавкѣ

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

уничтожающейся во время соединенія, но въ квадратурахъ упрощающейся въ $2\,b \sin \theta$; эта прибавка опять-таки обращается въ нуль, когда луна находится въ перигеѣ или апогеѣ, но максимальнаго значенія она достигаетъ въ промежутокъ, когда $\theta = 90°$. Построеніе Птоломея даетъ начало еще меньшему члену того же типа — $c \sin 2\varphi\ [\cos (2\varphi + \theta) + 2 \cos (2\,\varphi - \theta)]$, который, надо замѣтить, уничтожается какъ въ квадратурахъ, такъ и въ соединеніяхъ или противостояніяхъ.

знаменателенъ, во всякомъ случаѣ, тотъ фактъ, что при разсмотрѣніи затменій, для которыхъ величина кажущагося діаметра солнца и луны имѣетъ большое значеніе, онъ совершенно отбрасываетъ оцѣнки, полученныя изъ его теоріи, и обращается къ прямому наблюденію (см. также § 51, примѣчаніе).

49. Пятая книга *Альмагеста* содержитъ въ себѣ описаніе устройства и употребленія главнаго птоломеева инструмента, комбинаціи раздѣленныхъ круговъ, извѣстной подъ названіемъ **астролябіи** [1]).

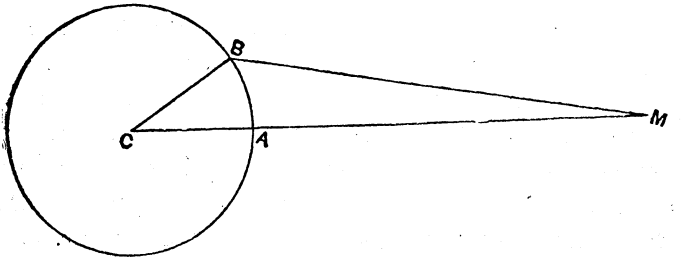
Дальше слѣдуетъ подробное разсужденіе о лунномъ параллаксѣ (§ 43) и о разстояніяхъ солнца и луны. Птоломей опредѣлилъ разстояніе луны помощью параллактическаго метода, существенно сходнаго съ тѣмъ, какимъ пользуются еще и понынѣ. Если мы знаемъ направленіе линіи CM (фиг. 33), соединяющей центры земли и луны, или направленіе, въ какомъ видитъ луну наблюдатель, помѣщенный въ A, и, кромѣ того, направленіе линіи BM, въ какомъ видитъ луну наблюдатель въ B, то легко опредѣлить углы треугольника CBM и отношеніе сторонъ CB, CM. Птоломей получилъ требуемыя направленія изъ наблюденій луны и нашелъ, что CM въ 59 разъ больше CB, т.-е., что разстояніе луны равно 59 земнымъ радіусамъ. Затѣмъ, онъ пользуется гиппарховыхъ методомъ затменій для опредѣленія разстоянія солнца изъ опредѣленнаго вышеописаннымъ образомъ разстоянія луны, и

---

[1]) Здѣсь, какъ и въ другихъ мѣстахъ, я не даю подробнаго описанія астрономическихъ инструментовъ; мнѣ думается, что такія описанія вообще не могутъ быть ни интересны, ни понятны тѣмъ, у кого нѣтъ самихъ инструментовъ, а тѣмъ, у кого они есть, принесутъ мало пользы.

находитъ, что оно равно 1210 земнымъ радіусамъ. Число это, весьма близкое къ результату, полученному Гиппархомъ (§ 41), составляетъ, однако, $^1/_{20}$ истиннаго разстоянія, найденнаго въ современную эпоху (гл. XIII, § 284).

Шестая книга посвящена затменіямъ и содержитъ въ себѣ существенныя дополненія къ работамъ Гиппарха.



Фиг. 33. Параллаксъ.

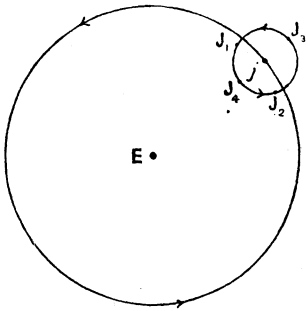
50. Въ седьмой и восьмой книгѣ содержится звѣздный каталогъ и описаніе прецессіи (§ 42). Каталогъ, заключающій въ себѣ 1028 звѣздъ (изъ нихъ три двойныхъ), повидимому, почти тождественъ съ гиппарховымъ. Въ немъ нѣтъ ни одной такой звѣзды, которую могъ бы видѣть Птоломей въ Александріи, и не могъ бы видѣть Гиппархъ въ Родосѣ. Сверхъ того, Птоломей претендуетъ на опредѣленіе, путемъ сравненія своихъ наблюденій съ наблюденіями Гиппарха и другихъ, величины прецессіи въ 36″ (ошибочной), которую Гиппархъ разсматриваетъ, какъ наименьшій возможный результатъ, а Птоломей считаетъ своей конечной оцѣнкой. Положенія звѣздъ птоломеева каталога ближе согласуются съ ихъ истинными положе-

ніями во времена Гиппарха, *при поправкѣ на предполагаемую годичную прецессію въ 36″*, чѣмъ съ ихъ дѣйствительными положеніями въ эпоху Птоломея. Весьма вѣроятно, поэтому, что каталогъ и вообще не является плодомъ оригинальныхъ наблюденій Птоломея, но въ сущности есть тотъ же каталогъ Гиппарха, поправленный на прецессію и лишь немного видоизмѣненный новыми наблюденіями Птоломея или другихъ астрономовъ.

51. Послѣднія пять книгъ трактуютъ о теоріи планетъ, наиболѣе важномъ изъ оригинальныхъ вкладовъ Птоломея въ астрономическую науку. Проблема удовлетворительнаго объясненія планетныхъ движеній, по причинѣ ихъ громадной неправильности, представляла несравненно больше затрудненій, чѣмъ соотвѣтствующая проблема касательно солнца или луны. Движеніе этой послѣдней настолько приближается къ равномѣрному, что неправильности его могутъ быть отнесены къ категоріи мелкихъ поправокъ, а во многихъ случаяхъ ими и совсѣмъ можно пренебречь. Планеты же, какъ мы видѣли (гл. I, § 14), не всегда даже движутся отъ запада къ востоку, но иногда останавливаются, нѣкоторое время идутъ попятнымъ движеніемъ, снова останавливаются и, наконецъ, движутся въ первоначальномъ направленіи. Вѣроятно, уже въ древнія времена, по крайней мѣрѣ, со временъ Эвдокса (§ 26), извѣстно было, что движенія каждой изъ трехъ планетъ — Марса, Юпитера и Сатурна — можно грубо изобразить какъ бы качаніемъ около воображаемой или фиктивной планеты, равномѣрно движущейся по небесной сферѣ вдоль эклиптики или вблизи нея, и что Меркурія и Венеру равнымъ

образомъ можно предположить качающимися около солнца (въ обѣ стороны отъ него). Эти приближенныя движенія можно легко объяснить помощью обращающихся сферъ или эпицикловъ, что уже было сдѣлано Эвдоксомъ, и съ большей, надо думать, точностью Аполлоніемъ. Юпитера, напримѣръ, можно считать обращающимся по эпициклу (фиг. 34), центръ котораго, *j*, описываетъ равномѣрнымъ движеніемъ деферентъ, въ центрѣ коего находится земля. Съ земли планета будетъ казаться попеременно то на востокѣ (какъ въ J_1), то на западѣ (въ J_2) отъ фиктивной планеты *j*; величину размаха въ каждую сторону и промежутокъ между появленіями планеты въ крайнихъ положеніяхъ съ той и другой стороны (J_1, J_2) можно легко представить, подобравъ соотвѣтственнымъ образомъ размѣры эпицикла и быстроту его движенія. Очевидно, кромѣ того, что при такомъ построеніи кажущееся движеніе Юпитера должно подвергаться значительнымъ перемѣнамъ, такъ какъ движенія планеты по эпициклу и центра эпицикла по деференту иногда имѣютъ одно направленіе и складываются, иногда же направлены въ противоположныя стороны. Такъ, когда Юпитеръ находится въ наибольшемъ удаленіи отъ земли — положимъ въ J_3 — тогда онъ движется всего быстрѣе; въ J_1 и J_2 движеніе его представляется съ земли такимъ же, какъ и движеніе точки *j*; зато въ J_4 движенія эпицикла и планеты направлены въ противоположныя стороны, и если мы подберемъ величину эпицикла и скорость его центра вышеуказаннымъ образомъ, то найдемъ, что въ этотъ періодъ движеніе планеты быстрѣе движенія эпицикла, и потому она въ этомъ положеніи бу-

детъ казаться движущейся съ востока на западъ (на рисункѣ слѣва направо), что наблюдается и въ дѣйствительности. Далѣе, такъ какъ въ J_1 и J_2 кажущееся движеніе планеты совершается отъ запада къ востоку, а въ J_4 — въ обратномъ направленіи и, кромѣ того, внезапныя перемѣны движенія не имѣютъ мѣста въ астрономіи, то между J_1 и J_4, съ одной стороны, и J_4 и J_2 съ другой, находятся точки, въ которыхъ планета мѣняетъ направленіе своего движенія и потому кажется остановившейся на нѣкоторое время. Здѣсь мы подходимъ къ объясненію стаціонарныхъ точекъ, или точекъ стоянія (гл. I, § 14). Точно такая же схема даетъ грубое объясненіе движеніямъ Меркурія и Венеры, съ той только разницей, что центръ эпицикла всегда лежитъ по направленію къ солнцу.

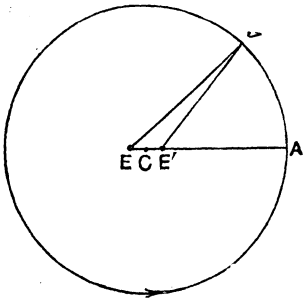


Фиг. 34. Эпициклъ и деферентъ Юпитера.

Гиппархъ, какъ мы видѣли, нашелъ ходячее объясненіе планетныхъ движеній неточнымъ (§ 41) и собралъ множество новыхъ наблюденій. Присоединивши къ нимъ собственныя, Птоломей воспользовался ими для построенія улучшенной планетной системы.

Какъ и въ случаѣ луны, онъ для деферента взялъ (фиг. 35) эксцентрическій кругъ (центръ C), но вмѣсто того, чтобы заставить центръ (j) эпицикла двигаться равномѣрно по деференту, онъ ввелъ новую точку, называемую **эквантомъ** (E′), расположенную

на такомъ же разстояніи отъ центра деферента, какъ и земля, но только съ противоположной стороны, урегулировалъ движеніе точки j условіемъ, что оно равномѣрно, если смотрѣть на него изъ экванта; другими словами — углу $AE'j$ дано было равномѣрное приращеніе. Въ случаѣ Меркурія (движенія котораго смущали астрономовъ во всѣ времена) отношеніе экванта къ центру эпицикла оказалось нѣсколько инымъ, и его заставили обращаться по небольшому кругу. Уклоненія планетъ отъ эклиптики (гл. I, §§ 13, 14) объяснялись небольшимъ наклономъ плоскостей деферентовъ и эпицикловъ.



Фиг. 35. Эквантъ.

При помощи такого рода системы, разработанной съ громаднымъ тщаніемъ и, очевидно, не безъ колоссальныхъ усилій, Птоломей получилъ возможность съ большою точностью представить движенія планетъ, какъ они даны были въ наблюденіяхъ, которыми онъ располагалъ.

Современные изслѣдователи, равно какъ и нѣкоторые средневѣковые писатели, указываютъ на то, что употребленіе экванта (игравшаго небольшую роль и въ лунной теоріи Птоломея) вызвано было желаніемъ во что бы то ни стало объяснить всѣ явленія изъ принципа равномѣрныхъ круговыхъ движеній, на которомъ, какъ полагаютъ, построены системы Гиппарха и Птоломея, и что лично этотъ послѣдній, видимо, не сознавалъ его несостоятель-

ности. Мы можемъ, однако, съ полнымъ правомъ сомнѣваться, дѣйствительно ли Гиппархъ, или Птоломей питали безусловную увѣренность въ преимущества такого движенія, и не разсматривали ли они его просто, какъ легкій и удобопонятный способъ объясненія нѣкоторыхъ болѣе сложныхъ движеній; трудно, кромѣ того, допустить, чтобы Гиппархъ, пользуясь эквантомъ для объясненія неправильнаго движенія, стѣснялся въ выборѣ средствъ больше своего великаго послѣдователя, если бы упомянутый принципъ дѣйствительно въ точности объяснялъ всѣ движенія. Несомнѣнно, тутъ анахронизмъ. Древніе греки, астрономія которыхъ носила скорѣе умозрительный, чѣмъ научный характеръ, а затѣмъ многіе астрономы среднихъ вѣковъ чувствовали, что «совершенство» небесныхъ движеній, совершающихся по самымъ «совершеннымъ» или правильнымъ геометрическимъ схемамъ, необходимо должно покоиться на апріорныхъ основаніяхъ; весьма вѣроятно поэтому, что Пиѳагоръ, или Платонъ, или даже Аристотель воспротивились бы, а астрономы XIV и XV вѣковъ такъ ужъ навѣрное отвергли бы (относительно нѣкоторыхъ намъ это достовѣрно извѣстно) вышесказанное нововведеніе Птоломея. Но нѣтъ никакого основанія приписывать это апріорное положеніе греческимъ астрономамъ позднѣйшей научной эпохи [1]).

---

[1]) Преимущества пользованія эквантомъ легко уяснить себѣ путемъ математическаго сравненія съ эллиптическимъ движеніемъ, которое было введено Кеплеромъ. Въ эллиптическомъ движеніи угловое перемѣщеніе и разстояніе приблизительно выражаются формулами: $nt+2e\ Sin\ nt$, $a\ (1-e\ cos\ nt)$; соотвѣтствующія формулы при пользованіи простымъ эксцентрикомъ суть $nt+e'\ Sin\ nt$, $a\ (1-e'\ cos\ nt)$. Если мы желаемъ согласовать угло-

Нужно замѣтить, что вопросъ объ истинныхъ разстояніяхъ планетъ и не затрогивался, и въ самомъ дѣлѣ, кажущіяся движенія совершенно не зависятъ отъ размѣровъ эпицикла и деферента, лишь бы они измѣнялись пропорціонально. Птоломей ясно указываетъ, что у него нѣтъ данныхъ для опредѣленія числовой величины планетныхъ разстояній или даже порядка разстояній различныхъ планетъ. Онъ по традиціи принялъ гадательный критерій относительной близости планетъ — скорость ихъ движенія — и помѣщалъ Марса, Юпитера и Сатурна (совершающихъ свой оборотъ на небесной сферѣ соотвѣтственно въ 2, 12 и 29 лѣтъ) за солнцемъ, въ порядкѣ, только-что указанномъ. Такъ какъ Венера и Меркурій сопровождаютъ солнце и потому ихъ періодъ обращенія въ общемъ равняется году, то къ нимъ вышеупомянутый критерій оказывается неприложимымъ, но Птоломей въ данномъ случаѣ опирается на мнѣніе «древнихъ математиковъ» (вѣроятно, халдеевъ), по которому Меркурій и Венера лежатъ между луной и солнцемъ, причемъ Меркурій ближе къ намъ (гл. I, § 15).

52. Относительно заслугъ Птоломея въ мнѣніяхъ астрономовъ замѣчается большое разногласіе. Въ

выя перемѣщенія, то должны приравнивать $e'=2e$; но для того, чтобы согласовать разстоянія, намъ придется допустить $e'=e$; оба условія несовмѣстимы. Но какъ только мы введемъ эквантъ, то получимъ формулы: $nt+2e' \sin nt$, $a(1-e' \cos nt)$; обѣ онѣ совпадутъ съ эллиптическими при условіи $e'=e$. Птоломей могъ бы освободить свою лунную теорію отъ указаннаго нами (§ 48) серьезнаго недостатка если бы онъ воспользовался эквантомъ для объясненія главнаго неравенства луны; а свою планетную теорію онъ могъ бы развить съ точностью до первой степени малыхъ величинъ, догадайся онъ ввести эквантъ какъ для деферента, такъ и для эпицикла.

средніе вѣка авторитетъ его по вопросамъ астрономіи считался рѣшающимъ, если только его не перевѣшивалъ еще большій авторитетъ Аристотеля. Современная критика выяснила фактъ, котораго, впрочемъ, онъ и самъ никогда не скрывалъ, именно, что труды его въ значительной мѣрѣ основаны на трудахъ Гиппарха и что его личныя наблюденія, если и не подложны, то, во всякомъ случаѣ, по большей части плохи. Съ другой стороны, въ трудахъ его мы видимъ ясное свидѣтельство того, что онъ былъ образованнымъ и оригинальнымъ математикомъ [1]). Главнѣйшими изъ его положительныхъ заслугъ передъ астрономіей является открытіе эвекціи и планетная теорія, но какъ онѣ ни важны, мы должны, вѣроятно, поставить выше ихъ тѣ услуги, которыя онъ оказалъ наукѣ сохраненіемъ и развитіемъ великихъ идей Гиппарха — идей, которыя другіе астрономы того времени врядъ ли были способны оцѣнить и которыя могли бы легко затеряться, если бы не были увѣковѣчены въ *Альмагестѣ*.

53. Исторія греческой астрономіи собственно кончается Птоломеемъ. Искусство наблюденія упало до такой степени, что за восемь съ половиной вѣковъ, отдѣляющихъ Птоломея отъ Альбатенія, сдѣлано было только восемь наблюденій (гл. III, § 59). Если и были греческіе писатели послѣ Птоломея, то развѣ лишь компиляторы и комментаторы, вродѣ *Теона* (365 г. по Р. Х.); никому изъ нихъ нельзя приписать сколько-нибудь оригинальной или

[1]) Де-Морганъ ставитъ его на одну доску съ тремя величайшими геометрами древности — Архимедомъ, Эвклидомъ и Аполлоніемъ.

цѣнной мысли. Убійство дочери Теона, Гипатіи (415 г. по Р. Х.), тоже писавшей объ астрономіи, отмѣчаетъ эпоху упадка Александрійской школы; конецъ этой школѣ насталъ въ 640 г. по Р. Х., когда Александрія была завоевана арабами [1]).

54. Попытаемся въ краткихъ словахъ оцѣнить заслуги грековъ передъ астрономической наукой и ихъ методъ изслѣдованія. Разумѣется, ожидать краткой формулы, могущей характеризовать научное положеніе цѣлаго ряда астрономовъ, охватившихъ своею жизнью періодъ въ восемь столѣтій, было бы неразумно; доказывать слабость греческой астрономіи сравнительно съ нашей и упрекать грековъ въ томъ, что они не открыли метода индукціи, упрекать ихъ въ пренебреженіи фактами или даже въ неясности идей — трудъ безплодный и безполезный. Въ области привычекъ мышленія и научныхъ стремленій различіе между Пиѳагоромъ и Гиппархомъ, быть можетъ, больше разницы между Гиппархомъ, съ одной стороны, и Коперникомъ или даже Ньютономъ—съ другой, и мы не безъ основанія можемъ сказать, что фантастическія идеи, изобилующія въ трудѣ даже такого ума, какъ Кеплеръ (гл. VII, §§ 144, 151), ставятъ его научный методъ въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ ниже метода его великаго греческаго предшественника.

---

[1]) Легенда, что книгами Александрійской библіотеки въ теченіе шести мѣсяцевъ отапливались общественныя бани, отвергается Гиббономъ и другими писателями. Однимъ изъ аргументовъ въ пользу этого является соображеніе, что къ тому времени осталось, по всей вѣроятности, слишкомъ мало книгъ для того, чтобы ими можно было топить печи.

Греки унаслѣдовали отъ своихъ предшественниковъ массу наблюденій, порой довольно точныхъ, почти вполнѣ удовлетворявшихъ требованіямъ практической жизни, но въ смыслѣ астрономическихъ теорій и умозрѣній, которыми ихъ лучшіе мыслители интересовались гораздо больше, нежели фактическими подробностями, они получили въ сущности бѣлый листъ, на которомъ имъ приходилось начертывать (вначалѣ съ посредственнымъ успѣхомъ) свои спекулятивныя идеи. Такія даты, какъ халдейскія наблюденія затменій и Пиѳагоровы идеи о гармоническихъ сферахъ, по необходимости раздѣляются громаднымъ промежуткомъ времени; а необходимыя теоретическія построенія не могутъ быть воздвигнуты безъ помощи математическихъ методовъ, изобрѣтавшихся постепенно. Правда, греки мало интересовались наблюденіями, особенно въ древнѣйшую эпоху, но можно все-таки сомнѣваться, на много ли подвинулась бы впередъ астрономія грековъ сравнительно съ халдейской, если бы даже они и располагали свѣжимъ запасомъ наблюденій. Но какъ только умозрительныя идеи, обоснованныя съ помощью математики, получили достаточное развитіе для того, чтобы ихъ можно было провѣрить наблюденіями, астрономіи былъ обезпеченъ быстрый успѣхъ. Греческіе астрономы научнаго періода — Аристархъ, Эратосѳенъ, а въ особенности Гиппархъ — въ своихъ изысканіяхъ слѣдовали, кромѣ того, методу, всегда плодотворному для физическихъ наукъ, именно, они изобрѣтали временныя гипотезы, выводили ихъ математическія слѣдствія и затѣмъ сравнивали ихъ съ результатами наблюденія. Быть можетъ, лучшей иллюстраціей истинно-

научной осмотрительности послужитъ намъ примѣръ Гиппарха, который, испытавши представившіяся ему планетныя теоріи и признавъ ихъ несостоятельность, благоразумно воздержался отъ построенія новой теоріи на завѣдомо недостаточныхъ данныхъ и терпѣливо занялся накопленіемъ свѣжаго матеріала, которымъ онъ самъ никогда не пользовался, а предоставилъ его будущимъ астрономамъ, дабы они могли построить при помощи его болѣе совершенную теорію.

Изъ положительныхъ вкладовъ, сдѣланныхъ греками въ сокровищницу нашихъ астрономическихъ знаній, наиболѣе поразительнымъ въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ является открытіе приблизительной шарообразности земли,—результатъ, лишь слегка видоизмѣненный позднѣйшими открытіями. Но объясненіе, данное ими главнѣйшимъ движеніямъ солнечной системы, и объединеніе ихъ въ сравнительно небольшомъ количествѣ простѣйшихъ движеній слѣдуетъ считать болѣе цѣннымъ завоеваніемъ, хотя греческая система эпицикловъ подверглась такимъ передѣлкамъ, что съ перваго взгляда трудно признать связь между нею и нашими современными воззрѣніями. Дальнѣйшій историческій обзоръ покажетъ намъ, однако, въ какой тѣсной зависимости находится каждая стадія прогресса астрономической науки отъ предшествующей.

Когда мы изучаемъ напряженный конфликтъ, происшедшій во времена Коперника между древними и современными идеями, то симпатіи наши естественно склоняются на сторону защитниковъ этихъ послѣднихъ, болѣе правильныхъ, какъ намъ теперь извѣстно; мы при этомъ склонны забывать, что тѣ,

которые ратовали за древнюю астрономію и цитировали Птоломея, искренно вѣрили въ доктрины, унаслѣдованныя отъ грековъ, но что ихъ методъ мышленія, манера отворачиваться отъ фактовъ и слѣпое поклоненіе авторитету были совершенно чужды духу великихъ мужей, учениками которыхъ они себя считали.

ГЛАВА III.

Средніе вѣка.

«Лампада догораетъ, и сквозь оконный переплетъ
Ужъ брезжитъ слабый лучъ туманнаго разсвѣта».

Браунингъ, *Парацельсъ*.

55. Около четырнадцати вѣковъ протекло со времени обнародованія *Альмагеста* до смерти Коперника (1543),—событія, въ астрономіи играющаго роль вѣхи или межевого столба на границѣ среднихъ вѣковъ и новаго міра. Въ этотъ періодъ, своею продолжительностью почти вдвое превосходящій промежутокъ, отдѣляющій Ѳалеса отъ Птоломея, и почти вчетверо эпоху, истекшую со дня смерти Коперника до нашего времени, не было сдѣлано ни одного астрономическаго открытія первостепенной важности. Можно, правда, отмѣтить нѣсколько крупныхъ успѣховъ въ области математики и усовершенствованія въ искусствѣ наблюденія; но теоретическая астрономія едва ли сдѣлала какіе-нибудь успѣхи, а въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ даже пошла назадъ, такъ какъ ходячія доктрины, въ нѣкоторыхъ пунктахъ болѣе правильныя, нежели птоломеевскія, исповѣдывались въ эту эпоху съ гораздо меньшимъ разумѣніемъ и сознательностью, чѣмъ это было въ древности.

На западѣ, какъ мы уже видѣли, не произошло инчего замѣчательнаго въ теченіе первыхъ пяти

вѣковъ послѣ Птоломея. Затѣмъ наступаетъ почти сплошной пробѣлъ, и до болѣе или менѣе замѣтнаго пробужденія прежняго интереса къ астрономіи прошло еще немало столѣтій.

56. Тѣмъ временемъ на востокѣ, въ VII вѣкѣ, замѣчается удивительный подъемъ научнаго духа. Потомки дикихъ арабовъ, развернувшіе знамя Магомета на громадномъ пространствѣ Римской имперіи и въ странахъ, лежащихъ далеко къ востоку, быстро почувствовали на себѣ неотразимое вліяніе цивилизаціи покоренныхъ народовъ, и Багдадъ, съ XVIII вѣка ставшій столицей калифовъ, очень скоро преобразился въ центръ литературной и научной дѣятельности. Альманзоръ, царствовавшій съ 754 по 775, слылъ покровителемъ науки и собиралъ вокругъ себя ученыхъ какъ изъ Индіи, такъ и съ запада. Въ особенности упоминаютъ о прибытіи къ его двору въ 772 году ученаго мужа изъ Индіи, привезшаго съ собой индійскій трактатъ по астрономіи [1]), переведенный на арабскій языкъ по приказанію калифа и въ теченіе почти полувѣка служившій образцомъ этого рода сочиненій. Со времени Альманзора цѣлая группа ученыхъ, первоначально, главнымъ образомъ, изъ сирійскихъ христіанъ, занималась при дворѣ калифовъ переводомъ греческихъ сочиненій, нерѣдко при посредствѣ сирійскаго языка, на арабскій. Прежде всего, переведены были медицинскіе трактаты Гиппократа и

[1]) Данныя относительно индійской астрономіи такъ ненадежны, а свидѣтельства о самостоятельныхъ успѣхахъ ея такъ слабы, что мы считаемъ излишнимъ входить въ подробное разсмотрѣніе ея. Главнѣйшіе индійскіе трактаты, включая и тотъ, на который мы ссылаемся въ текстѣ, носятъ явные слѣды вліянія греческихъ сочиненій.

Галена; аристотелевскія идеи, заключающіяся въ этихъ послѣднихъ, повидимому, возбудили интересъ къ сочиненіямъ самого Аристотеля и расширили, такимъ образомъ, рамки предметовъ, достойныхъ изученія. За медициной вскорѣ послѣдовала астрономія, сдѣлавшаяся любимой наукой арабовъ, отчасти несомнѣнно изъ чисто-научнаго интереса, но еще вѣроятнѣе ради практическихъ приложеній ея. Нѣкоторые магометанскіе обряды требуютъ знанія направленія Мекки, и хотя масса правовѣрныхъ, жившихъ гдѣ-нибудь между Индомъ и Гибралтарскимъ проливомъ, должна была довольствоваться приблизительнымъ рѣшеніемъ этой задачи, тѣмъ не менѣе астрономія, способствовавшая опредѣленію истиннаго направленія, встрѣтила благосклонный пріемъ въ большихъ населенныхъ центрахъ. Лунный календарь магометанъ, отъ котораго зависѣло правильное чередованіе постовъ и праздниковъ, въ свою очередь требовалъ нѣкотораго вниманія. Кромѣ того, вѣра въ возможность предугадыванія будущаго по звѣздамъ, процвѣтавшая у халдеевъ (гл. I, § 18), но въ значительной степени ослабѣвшая у грековъ, быстро возродилась на родственной почвѣ востока, и калифы, по всей вѣроятности, столько же заинтересованы были въ томъ, чтобы ихъ придворные ученые были искусны въ астрологіи, сколько и въ занятіяхъ чистой астрономіей.

Первый переводъ *Альмагеста* сдѣланъ былъ по приказанію преемника Альманзора, Гаруна аль-Рашида (765 или 766—809 по Р. Х.), героя сказокъ *Тысячи и одной ночи*. Повидимому, это оказалось не легкимъ дѣломъ; новая попытка перевести со-

чиненіе Птоломея была сдѣлана *Гонейномъ бенъ-Ишакомъ* (? — 873) и сыномъ его *Ишакомъ бенъ-Гонейномъ* (? — 910 или 911), а окончательная версія, установленная *Табитомъ бенъ-Корра* (836—901) появилась къ концу IX столѣтія. Ишакъ (или Исакъ) бенъ-Гонейнъ перевелъ, кромѣ того, немало другихъ астрономическихъ и математическихъ книгъ, такъ что къ концу IX вѣка, когда переводческая дѣятельность почти прекратилась, большинство важнѣйшихъ греческихъ сочиненій по вышеозначеннымъ предметамъ, равно какъ и множество мелкихъ трактатовъ, имѣлось уже въ переводахъ. Этой дѣятельности арабовъ мы обязаны сохраненіемъ многихъ греческихъ сочиненій, оригиналы которыхъ погибли.

57. Въ періодъ пребыванія калифовъ въ Дамаскѣ тамъ была построена обсерваторія; другая великолѣпная обсерваторія сооружена была въ Багдадѣ въ 829 году калифомъ Аль-Мамуномъ. Инструменты, существенныя части которыхъ были построены по типу греческихъ, превосходили ихъ, однако, размѣрами и отдѣлкой. Кромѣ того, арабскіе астрономы завели прекрасный обычай дѣлать правильныя и насколько возможно непрерывныя наблюденія главнѣйшихъ небесныхъ тѣлъ и отмѣчать положенія знакомыхъ звѣздъ въ началѣ и концѣ затменія, съ цѣлью опредѣлить впослѣдствіи точный моментъ его наступленія. На точность наблюденій обращалось такъ много вниманія, что, по нѣкоторымъ извѣстіямъ, особенно интересныя изъ нихъ заносились въ формальные документы, скрѣпленные соединенной присягой нѣсколькихъ астрономовъ и юристовъ.

Аль-Мамунъ поручилъ своимъ астрономамъ провѣрить птоломееву оцѣнку величины земного шара. Было сдѣлано два самостоятельныхъ измѣренія части меридіана, которыя, однако, такъ близко согласуются одно съ другимъ и съ ошибочнымъ результатомъ Птоломея, что врядъ ли ихъ можно считать вполнѣ независимыми и тщательными измѣреніями; скорѣе всего, въ нихъ нужно видѣть грубую повѣрку вычисленій Птоломея.

58. Тщательныя наблюденія арабовъ скоро обнаружили недостатки греческихъ астрономическихъ таблицъ; время отъ времени выходили новыя таблицы, построенныя въ общемъ на тѣхъ же принципахъ, что и *Альмагестъ*, но видоизмѣненныя новыми числовыми данными относительно размѣровъ различныхъ круговъ, положенія апогеевъ, наклоненій орбитъ и т. д.

Табиту бенъ-Корра, о которомъ мы упоминали, какъ о переводчикѣ *Альмагеста*, принадлежитъ сомнительная честь открытія предполагаемой варіаціи прецессіи (гл. II, §§ 42, 50). Желая объяснить ее, онъ изобрѣлъ сложный механизмъ, производившій нѣкоторыя перемѣны въ положеніи эклиптики, и ввелъ, такимъ образомъ, совершенно произвольное усложненіе, извѣстное подъ названіемъ **трепидаціи**, путавшее и затемнявшее большинство астрономическихъ таблицъ, выходившихъ въ теченіе послѣдующихъ пяти или шести вѣковъ.

59. Несравненно выше перечисленныхъ нами астрономовъ стоитъ арабскій князь, при рожденіи названный Аль-Баттани, но больше извѣстный подъ латинизированнымъ именемъ *Альбатенія*, производившій наблюденія съ 878 по 918 и скончавшійся

въ 929 году. Онъ провѣрилъ многіе изъ птоломеевыхъ результатовъ новыми наблюденіями и получилъ болѣе точныя цифры для наклоненія эклиптики (гл. I, § 11) и прецессіи. Онъ вдобавокъ написалъ трактатъ по астрономіи, содержавшій въ себѣ улучшенныя таблицы солнца и луны, и самое замѣчательное изъ его открытій, именно, что направленіе солнечнаго апогея, или, другими словами, направленіе центра эксцентрика, изображающаго движеніе солнца (гл. II, § 39), не согласуется съ указаннымъ въ *Альмагестѣ*; изъ этой перемѣны, слишкомъ большой для того, чтобы ее можно было отнести на счетъ ошибокъ наблюденія или вычисленія, можно съ полнымъ правомъ заключить, что апогей обладаетъ медленнымъ движеніемъ,—результатъ, о которомъ онъ ясно не высказывается. Наконецъ, Альбатеній былъ хорошимъ математикомъ и ввелъ нѣкоторыя замѣчательныя улучшенія въ методѣ вычисленія [1]).

60. Послѣднимъ багдадскимъ астрономомъ былъ *Абулъ-Вэфа* (939 или 940—998), авторъ объемистаго трактата по астрономіи, пользовавшагося такою же извѣстностью, какъ и *Альмагестъ*; онъ блещетъ новыми идеями и написанъ по плану, отличному отъ птоломеевой книги, за переводъ которой его нерѣдко принимали. Изучая теорію луны, Абулъ-Вэфа нашелъ, что, за вычетомъ уравненія центра и эвекціи, остается еще неравенство луннаго движенія, неощутимое въ эпохи соединенія, противосто-

---

[1]) Онъ ввелъ въ тригонометрію синусы, а отчасти пользовался и тангенсами, не сознавая, повидимому, ихъ значенія; онъ пользовался, кромѣ того, нѣкоторыми новыми формулами для рѣшенія сферическихъ треугольниковъ.

янія и квадратуръ, но весьма замѣтное въ промежуточныя эпохи. Возможно, что Абулъ-Вэфа нашелъ, такимъ образомъ, неравенство, вновь открытое Тихо-Браге (гл. V, § 111) и извѣстное подъ названіемъ **варіаціи**, но не менѣе вѣроятно и то, что онъ просто возстановилъ птоломеевъ просневзисъ (гл. II, § 48)[1]). Во всякомъ случаѣ открытіе Абулъ-Вэфы было, повидимому, въ совершенномъ пренебреженіи у его послѣдователей и не принесло плодовъ. Онъ, кромѣ того, далъ болѣе полное развитіе математическимъ усовершенствованіямъ своихъ предшественниковъ.

Почти современникомъ ему является *Ибнъ-Юнисъ* (?—1008), трудившійся въ Каирѣ подъ покровительствомъ магометанскихъ правителей Египта. Онъ обнародовалъ цѣлый рядъ астрономическихъ и математическихъ таблицъ, такъ-называемыхъ *Гакемитскихъ таблицъ*, служившихъ образцомъ въ теченіе двухъ вѣковъ, и включилъ въ свою книгу массу собственныхъ наблюденій на ряду съ обширной серіей наблюденій древнѣйшихъ арабскихъ астрономовъ.

61. Около этого времени астрономія на ряду съ другими отраслями знанія сдѣлала нѣкоторые успѣхи въ магометанскихъ областяхъ Испаніи и сосѣдняго съ нею берега Африки. Въ Кордовѣ около 970 года основана была громадная академія съ книгохранилищемъ, вслѣдъ за чѣмъ быстро по-

---

[1]) Между учеными, главнымъ образомъ французскими, шелъ долгій споръ касательно взаимнаго отношенія Птоломея, Абулъ-Вэфы и Тихо въ упомянутомъ вопросѣ,—споръ, оставшійся не рѣшеннымъ.

слѣдовало открытіе учебно-образовательныхъ центровъ въ Кордовѣ, Толедо, Севильѣ и Марокко.

Наиболѣе цѣннымъ плодомъ усилій мавританскихъ астрономовъ является томъ астрономическихъ таблицъ, опубликованныхъ подъ руководствомъ *Арзахеля* въ 1080 году и извѣстныхъ подъ названіемъ *Толедскихъ таблицъ*, такъ какъ онѣ вычислены для Толедо, гдѣ, по всей вѣроятности, жилъ Арзахель. Этой школѣ мы обязаны нѣкоторыми усовершенствованіями въ инструментахъ и методахъ наблюденія; ею было издано нѣсколько сочиненій, посвященныхъ критикѣ Птоломея, но не внесшихъ, однако, никакихъ поправокъ въ его идеи.

Между тѣмъ, испанцы-христіане стали мало-помалу вытѣснять своихъ сосѣдей магометанъ. Кордова была взята въ 1236 г., Севилья въ 1248 г., а съ ихъ паденіемъ арабская астрономія погибла для исторіи.

62. Прежде чѣмъ перейти къ разсмотрѣнію успѣховъ астрономіи въ Европѣ, мы должны упомянуть еще о двухъ астрономическихъ школахъ востока, въ равной мѣрѣ характеризующихъ необычайно быстрый ростъ научныхъ интересовъ среди варварскихъ народовъ. Гулагу-Ханъ, внукъ монгольскаго завоевателя Чингисъ-Хана, завоевалъ Багдадъ въ 1258 году и положилъ конецъ владычеству калифовъ. За нѣсколько лѣтъ передъ тѣмъ онъ приблизилъ къ себѣ, отчасти какъ совѣтника по дѣламъ политики, астронома *Нассиръ-Эддина* (родившагося въ 1201 г., въ Тусѣ, въ Хорассанѣ), а впослѣдствіи отпустилъ ему громадную сумму на учрежденіе великолѣпной обсерваторіи въ Мерагѣ, около сѣверо-западной границы современной Персіи.

Здѣсь трудилась масса астрономовъ подъ общимъ надзоромъ Нассиръ-Эддина. Инструменты, которыми они пользовались, отличались своей величиной и солидностью конструкціи, и были, по всей вѣроятности, лучше тѣхъ, какіе употреблялись въ Европѣ во времена Коперника; впервые ихъ превзошли только инструменты Тихо Браге (гл. V).

Нассиръ-Эддинъ со своими помощниками перевелъ или прокомментировалъ почти всѣ важнѣйшія и мало-мальски цѣнныя сочиненія грековъ по астрономіи и родственнымъ наукамъ, включая эвклидовы *Начала*, нѣкоторыя книги Архимеда и *Альмагестъ*. Нассиръ-Эддинъ написалъ еще сокращенное руководство по астрономіи, не лишенное нѣкоторой оригинальности, и трактатъ по геометріи. Повидимому, онъ не слѣпо подчинялся авторитету Птоломея, и въ частности отвергалъ пользу экванта (гл. II, § 51), который онъ замѣнилъ новой комбинаціей сферъ. Многіе изъ этихъ трактатовъ долгое время пользовались на востокѣ хорошей репутаціей и въ свою очередь становились предметомъ комментаріевъ.

Плодомъ двѣнадцатилѣтнихъ трудовъ астрономовъ, работавшихъ въ Мерагѣ, былъ рядъ исправленныхъ астрономическихъ таблицъ, основанныхъ на Гакемитскихъ таблицахъ Ибнъ-Юниса (§ 60) и названныхъ въ честь покровителя астрономіи *Ильханскими таблицами*. Онѣ содержали въ себѣ не только обыкновенныя таблицы для вычисленія положеній планетъ, но и звѣздный каталогъ, до нѣкоторой степени составленный по новымъ наблюденіямъ.

Важнымъ результатомъ наблюденій надъ неподвижными звѣздами, производившихся въ Мерагѣ,

было установленіе прецессіи (гл. II, § 42) въ 51″, съ точностью до 1″. Нассиръ-Эддинъ занимался также вопросомъ о предполагаемой трепидаціи (§ 58), но, повидимому, нѣсколько сомнѣвался въ ея существованіи. Онъ умеръ вскорѣ послѣ своего покровителя, въ 1273 году, и со смертью его Мерагская школа пришла въ упадокъ съ такой же быстротой, съ какой возникла.

63. Около двухъ столѣтій спустя *Улугъ-Бегъ* (родился въ 1394 г.), внукъ дикаго татарскаго завоевателя Тамерлана, сильно заинтересовавшись астрономіей, соорудилъ въ 1420 году обсерваторію въ Самаркандѣ (въ нынѣшнемъ русскомъ Туркестанѣ), гдѣ и трудился со своими помощниками. Онъ обнародовалъ новыя планетныя таблицы и т. д., но главнымъ трудомъ его является звѣздный каталогъ, обнимающій почти тѣ же звѣзды, что и птоломеевскій, но только по новымъ наблюденіямъ. Это былъ, по всей вѣроятности, первый вполнѣ самостоятельный каталогъ со времени Гиппарха. Положенія звѣздъ даны съ необычайной точностью, не только въ градусахъ, но и въ минутахъ небесной долготы и широты; и хотя по сравненіи съ современными наблюденіями оказались обычныя ошибки въ нѣсколько минутъ, но инструменты, которыми онъ пользовался, надо думать, были очень хороши. Улугъ-Бегъ былъ убитъ своимъ сыномъ въ 1449 г., и съ нимъ вмѣстѣ угасла и татарская астрономія.

64. Ни одному изъ арабскихъ и другихъ астрономовъ, перечисленныхъ нами, мы не обязаны какой-нибудь крупной оригинальной идеей. Всѣ они зато обладали замѣчательной способностью усвоивать чужія мысли и давать имъ, хотя и небольшое,

дальнѣйшее развитіе. Всѣ они были терпѣливыми и аккуратными наблюдателями и искусными вычислителями. Мы имъ обязаны длиннымъ рядомъ наблюденій и изобрѣтеній, либо важными усовершенствованіями математическихъ методовъ [1]). Одна изъ наиболѣе цѣнныхъ услугъ, оказанныхъ ими математикѣ, а, слѣдовательно, и астрономіи, заключается въ томъ, что они принесли къ намъ изъ Индіи современную цифровую систему, въ которой значеніе цифры зависитъ отъ занимаемаго ею мѣста, благодаря чему устраняется надобность въ изобрѣтаніи особыхъ символовъ для большихъ чиселъ, какъ это было въ неуклюжихъ греческой и римской системахъ. Они ввели, такимъ образомъ, громадное упрощеніе въ ариѳметическіе процессы [2]). Но, помимо этихъ положительныхъ и самостоятельныхъ вкладовъ въ астрономическую науку, арабы имѣютъ еще очень важную заслугу въ томъ отношеніи, что оживили интересъ къ наукѣ и сохранили открытія своихъ греческихъ предшественниковъ.

Въ астрономической номенклатурѣ остались любопытные слѣды того времени, когда арабы стояли во главѣ астрономіи. Такъ, напримѣръ, мы получили отъ нихъ, хотя и въ очень испорченномъ видѣ, общеупотребительныя названія многихъ звѣздъ — Альдебаранъ, Альтаиръ, Бетельгезъ, Ригель, Вега (созвѣздія мы знаемъ по латинскимъ

---

[1]) Напримѣръ, обычай трактовать тригонометрическія функціи, какъ алгебраическія величины, которыми можно оперировать помощью формулъ, а не только, какъ геометрическія линіи.

[2]) Кто не представляетъ себѣ этого, тому мы предлагаемъ помножить само на себя такое число, какъ MDCCCXCVIII.

передѣлкамъ греческихъ названій) и нѣкоторые общеупотребительные астрономическіе термины, какъ зенитъ и **надиръ** (невидимая точка на небесной сферѣ, противоположная зениту), и, наконецъ, одно такое слово—«альманахъ»,—перешло и въ обыденную рѣчь.

65. Что касается Европы, то смутный періодъ, послѣдовавшій за паденіемъ Римской имперіи и предшествовавшій окончательному сформированію феодальнаго строя, представляется пробѣломъ въ исторіи астрономіи, какъ и всякой другой естественной науки. Лучшіе умы погружались въ занятія теологіей, если не увлекались практической дѣятельностью. Немногіе люди, какъ Бэда Достопочтенный (672 — 735), жившіе большей частью въ закрытыхъ монастыряхъ, отличались своей ученостью, заключавшейся, главнымъ образомъ, въ отрывочныхъ свѣдѣніяхъ изъ математики и астрономіи; но они ничего не внесли въ сокровищницу науки. Нѣкоторые успѣхи сдѣланы были Карломъ Великимъ (742—814), который не только создалъ нѣчто вродѣ порядка въ своихъ обширныхъ владѣніяхъ, но и энергично пытался расширить народное образованіе и науку. Въ 782 году онъ призвалъ къ своему двору ученаго англичанина *Алкуина* (735 — 804) для преподаванія астрономіи, ариѳметики, риторики и другихъ предметовъ; въ помощники ему онъ пригласилъ другихъ ученыхъ, основавъ, такимъ образомъ, своеобразную академію, главой которой былъ Алкуинъ.

Карлъ Великій не только основалъ высшую школу при своемъ дворѣ, но и дѣятельно побуждалъ духовныя власти своего государства слѣдо-

вать его примѣру. Въ этихъ школахъ преподавались семь свободныхъ искусствъ, дѣлившихся на такъ-называемый тривіумъ (грамматика, риторика и діалектика) и квадривіумъ, разумѣвшій астрономію съ ариѳметикой, геометрію и музыку.

66. Въ X вѣкѣ слава арабской науки понемногу распространилась чрезъ Испанію въ другія части Европы, и колоссальную ученость *Герберта*, славнѣйшаго мужа эпохи, подъ именемъ Сильвестра II занимавшаго папскій престолъ съ 999 по 1003, объясняли, главнымъ образомъ, тѣмъ обстоятельствомъ, что онъ нѣкоторое время жилъ въ Испаніи, въ мавританскихъ владѣніяхъ или по сосѣдству съ ними. Онъ усердно занимался науками, неутомимо разыскивалъ и проглатывалъ книги и особенно интересовался математикой и астрономіей. Его искусство въ изготовленіи астролябій (гл. II, § 49) и другихъ инструментовъ было такъ велико, что въ народѣ шла молва, будто онъ получилъ его въ обмѣнъ на душу, проданную нечистому. Немало и другихъ ученыхъ обнаруживало такой же интересъ къ арабской наукѣ, но только спустя столѣтіе вліяніе магометанъ стало замѣтнымъ.

Въ началѣ XII вѣка появляется цѣлый рядъ переводовъ съ арабскаго языка на латинскій научныхъ и философскихъ трактатовъ, частью оригинальныхъ произведеній арабовъ, частью арабскихъ переводовъ греческихъ книгъ. Однимъ изъ самыхъ дѣятельныхъ переводчиковъ былъ *Платонъ Тиволійскій*, изучившій арабскій языкъ въ Испаніи около 1116 года и переведшій *Астрономію* Альбатенія (§ 59) на ряду съ другими астрономическими сочиненіями. Около того же времени *Ателяромъ изъ*

Бата переведены были, между прочимъ, эвклидовы *Начала*. Еще бо̀льшимъ трудолюбіемъ отличался *Герардо изъ Кремоны* (1114 — 1187), переведшій, говорятъ, около 70 научныхъ трактатовъ, между прочимъ, *Альмагестъ* и *Толедскія таблицы* Арзахеля (§ 61). Начало XIII вѣка отмѣчено основаніемъ нѣсколькихъ университетовъ, а при Неапольскомъ (основанъ въ 1224) императоръ Фридрихъ II, познакомившійся съ магометанской наукой въ Сициліи, собралъ толпу ученыхъ, которымъ поручилъ сдѣлать рядъ новыхъ переводовъ съ арабскаго.

Сочиненія Аристотеля по логикѣ сохранились въ латинскихъ переводахъ классической эпохи и весьма цѣнились уже учеными XI и XII вѣковъ. Другія его сочиненія встрѣчаются впервые въ арабскихъ версіяхъ и переведены на латинскій языкъ въ концѣ XII и въ продолженіе XIII вѣковъ; въ одномъ или двухъ случаяхъ они были переведены прямо съ греческаго. Вліяніе Аристотеля на средневѣковую мысль, уже и тогда значительное, вскорѣ стало почти подавляющимъ, и многіе схоластики питали къ его сочиненіямъ такое же, если не большее, благоговѣніе, какъ и къ твореніямъ святыхъ отцовъ.

Знакомство Западной Европы съ арабской астрономіей особенно усилилось, благодаря дѣятельности *Альфонса X*, короля Леона и Кастиліи (1223 — 1284), собравшаго въ Толедо, незадолго предъ этимъ отнятомъ у арабовъ, группу ученыхъ, евреевъ и христіанъ, которые вычисляли подъ его общимъ руководствомъ рядъ новыхъ астрономическихъ таблицъ, замѣнившихъ *Толедскія таблицы*. Эти *Альфонсинскія таблицы* были обнародованы въ 1252 году, въ день восшествія Альфонса на престолъ, и быстро разошлись

по Европѣ. Онѣ не заключали въ себѣ какихъ-нибудь новыхъ мыслей, но многія числовыя данныя, особенно длина года, опредѣлены были съ большей точностью, чѣмъ прежде. Альфонсу же наука обязана изданіемъ *Libros del Saber*, объемистой энциклопедіи астрономическихъ знаній того времени, которая хотя и была почерпнута въ значительной мѣрѣ изъ арабскихъ источниковъ, отнюдь не является, какъ нѣкоторые думали, простымъ собраніемъ переводовъ. Любопытна въ этой книгѣ діаграмма, представляющая орбиту Меркурія въ видѣ эллипса, съ землей въ центрѣ (гл. VII, § 140); это былъ, вѣроятно, первый проблескъ идеи изображенія небесныхъ движеній кривыми иного порядка, чѣмъ кругъ.

67. Въ XIII вѣкѣ жили еще нѣсколько великихъ ученыхъ, какъ *Альбертъ Великій*, *Роджеръ Бэконъ* и *Чекко д'Асколи* (у котораго учился Данте), владѣвшіе всѣми отраслями знанія. Роджеръ Бэконъ, родившійся около 1214 г. въ Сомерсетшайрѣ и умершій около 1294 г., написалъ три крупныхъ книги, *Opus Majus*, *Opus Minus* и *Opus Tertium*, заключавшихъ въ себѣ не только трактаты по многимъ отраслямъ знанія, но и въ высокой степени интересныя разсужденія объ относительной важности ихъ и объ истинномъ методѣ преуспѣянія наукъ. Онъ горячо возстаетъ противъ излишняго поклоненія авторитету, особенно аристотелевскому, книги котораго онъ охотно бы сжегъ, и энергично указываетъ на важность опыта и математическаго трактованія научныхъ вопросовъ. Онъ, повидимому, обладалъ хорошимъ знаніемъ оптики, и, какъ полагаютъ, былъ знакомъ съ устройствомъ

телескопа, — предположеніе, которое едва ли подтверждается его разсказомъ о томъ, что телескопъ былъ извѣстенъ Юлію Цезарю, который-де до набѣга на Британію обозрѣвалъ новыя земли съ противоположнаго берега Галліи при помощи телескопа!

Другая цѣнная книга этого періода была написана іоркшайрцемъ, Джономъ Галифаксомъ изъ Голивуда, больше извѣстнымъ подъ латинизированнымъ именемъ *Сакробоско*, который нѣкоторое время славился въ качествѣ учителя математики въ Парижѣ, гдѣ онъ умеръ около 1256 года. Его *Sphaera Mundi* — элементарный трактатъ о болѣе легкихъ частяхъ ходячей астрономіи, разсматривающій, главнымъ образомъ, очевидныя слѣдствія суточнаго движенія небесной сферы. Онъ пользовался громадной популярностью въ теченіе трехъ-четырехъ столѣтій; его часто переиздавали, переводили и комментировали; это была одна изъ первыхъ астрономическихъ книгъ, когда-либо напечатанныхъ; 25 изданій ея появилось между 1472 годомъ и концомъ XV вѣка, а еще 40 около середины XVII вѣка.

68. Писатели средневѣковой Европы, о которыхъ мы теперь упоминали, за исключеніемъ Альфонса и его помощниковъ, довольствовались собираніемъ и приведеніемъ въ порядокъ тѣхъ частей астрономической науки грековъ и арабовъ, которыя имъ удалось преодолѣть; здѣсь мы не видимъ ни серьезныхъ попытокъ внести прогрессъ, ни мало-мальски важныхъ наблюденій. Въ XV вѣкѣ, однако, появилась въ Германіи новая школа, внесшая въ науку свои добавленія, хотя и не первостепенной важности, но отличавшаяся большей независимостью и

положившая начало новому научному изслѣдованію. *Георгъ Пурбахъ*, родившійся въ 1423 году, получилъ въ 1450 году каѳедру математики и астрономіи въ Вѣнскомъ университетѣ, вскорѣ послѣ своего основанія (1365) ставшемъ центромъ преподаванія этихъ наукъ. Здѣсь онъ началъ свое *Сокращенное изложеніе астрономіи*, основанное на *Альмагестѣ*, и переводъ на латинскій языкъ птоломеевой планетной теоріи, вначалѣ предназначенной служить отчасти приложеніемъ къ руководству Сакробоско (въ которомъ эта часть предмета опущена), отчасти же – трактатомъ высшаго порядка; но и въ томъ, и въ другомъ начинаніи ему послужило препятствіемъ крайне плохое качество единственно пригодныхъ версій Альмагеста — латинскихъ переводовъ, сдѣланныхъ не прямо съ греческаго, но при посредствѣ во всякомъ случаѣ арабскаго, а, можетъ быть, и сирійскаго языка (§ 56) и, слѣдовательно, переполненныхъ ошибками. Въ работѣ ему помогалъ еще болѣе прославившійся ученикъ его Іоганнъ Мюллеръ изъ Кенигсберга (во Франконіи), названный, поэтому, *Регіомонтаномъ*, привлеченный въ Вѣну на шестнадцатомъ году (1452) славой Пурбаха. Оба эти астронома производили нѣкоторыя наблюденія; ихъ убѣжденіе въ необходимости астрономическихъ реформъ усилилось послѣ того, какъ открылись серьезныя неточности въ *Альфонсинскихъ таблицахъ*, къ тому времени достигшихъ двухсотлѣтней давности; одно лунное затменіе запоздало, напримѣръ, на цѣлый часъ, а Марсъ оказался въ 2° отъ вычисленнаго положенія. Одинъ изъ кардиналовъ пригласилъ Пурбаха и Регіомонтана въ Римъ, главнымъ образомъ, для изученія съ ихъ помощью копіи *Альмаге-*

ста, найденной въ греческихъ рукописяхъ, въ огромномъ количествѣ вывезенныхъ въ Италію послѣ паденія Константинополя (1453); они уже готовились къ отъѣзду, какъ вдругъ старшій изъ нихъ внезапно скончался (1461).

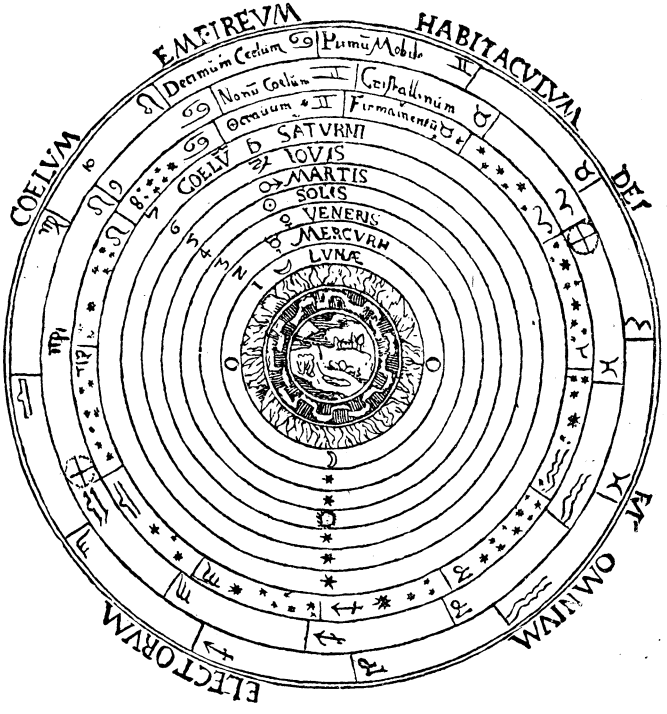
Несмотря на смерть Пурбаха, Регіомонтанъ все-таки отправился въ путь и провелъ въ Италіи семь лѣтъ; здѣсь онъ хорошо ознакомился съ греческимъ языкомъ, которымъ началъ заниматься еще въ Вѣнѣ, и получилъ, такимъ образомъ, возможность прочесть *Альмагестъ* и другіе трактаты въ оригиналѣ; онъ дополнилъ пурбахово *Сокращенное изложеніе астрономіи*, сдѣлалъ нѣсколько наблюденій, читалъ лекціи, написалъ довольно цѣнный математическій трактатъ [1]) и, наконецъ, вернулся въ Вѣну въ 1468 году съ оригиналами, либо копіями многихъ важныхъ греческихъ рукописей. Здѣсь онъ нѣкоторое время состоялъ профессоромъ, но затѣмъ получилъ отъ венгерскаго короля приглашеніе составить цѣнную коллекцію греческихъ рукописей. Король, однако, вскорѣ перенесъ свое вниманіе съ грековъ на войны, и Регіомонтанъ снова двинулся съ мѣста, на этотъ разъ утвердившись въ Нюрнбергѣ, одномъ изъ самыхъ цвѣтущихъ городовъ Германіи того времени; спеціальная приманка его заключалась въ томъ, что здѣсь была основана одна изъ первыхъ типографій. Жители Нюрнберга приняли Регіомонтана съ большимъ почетомъ, и, въ частности, одинъ богачъ,

---

[1]) По тригонометріи. Онъ снова ввелъ въ употребленіе забытые уже синусы; въ нѣкоторой степени онъ пользовался и тангенсами, но, подобно Альбатенію (§ 59), не сознавалъ ихъ важности и, такимъ образомъ, отсталъ отъ Ибнъ-Юниса и Абулъ-Вэфы. Цѣннымъ вкладомъ въ математику оказалась его таблица синусовъ, вычисленная для каждой минуты отъ 0° до 90°.

Бернардъ Вальтеръ (1430—1504), не только снабдилъ его большими средствами, но даже, значительно превосходя его лѣтами, сталъ его ученикомъ и сотрудникомъ. Искуснѣйшіе мастера Нюрнберга занимались сооруженіемъ астрономическихъ инструментовъ съ точностью, до того незнакомой Европѣ, хотя они были, по всей вѣроятности, хуже инструментовъ Нассиръ-Эддина и Улугъ-Бега (§§ 62, 63). Была произведена масса наблюденій, между которыми особенно интересны наблюденія кометы 1472 года, первой, кажется, кометы, которая въ большей мѣрѣ была объектомъ научнаго изслѣдованія, чѣмъ источникомъ суевѣрнаго ужаса. Регіомонтанъ сразу оцѣнилъ значеніе для своей науки новоизобрѣтеннаго книгопечатанія и, найдя, вѣроятно, что существовавшіе печатные станки не отвѣчаютъ спеціальнымъ требованіямъ астрономіи, онъ изготовилъ свой собственный станокъ. Здѣсь онъ выпустилъ въ 1472 или въ 1473 году изданіе книги Пурбаха о планетной теоріи, вскорѣ пріобрѣтшей популярность и вновь перепечатанной. Въ этой книгѣ ясно указывается на давно уже замѣченное разногласіе между взглядами Аристотеля и Птоломея. По воззрѣніямъ Аристотеля солнце, луна, пять планетъ и неподвижныя звѣзды прикрѣплены къ восьми сферамъ, лежащимъ одна внутри другой; самая крайняя — сфера неподвижныхъ звѣздъ, благодаря своему обращенію, является первичной причиной суточнаго движенія всѣхъ небесныхъ тѣлъ. Открытіе прецессіи потребовало со стороны послѣдователей Аристотеля допущенія новой сферы. По этой схемѣ, которой мы, вѣроятно, обязаны нѣкоторымъ багдадскимъ переводчикамъ или комментаторамъ (§ 56),

неподвижныя звѣзды помѣщались на сферѣ, часто называемой **твердью**, за которой лежала девятая сфера, такъ-называемый **первый двигатель**, приводившій въ движенія всѣ остальныя; для объясненія



Фиг. 36. Небесныя сферы. Изъ *Космографіи* Апіана.

трепидаціи (§ 58) Табитъ бенъ-Корра ввелъ еще одну сферу, принятую Альфонсомъ и его школой; одиннадцатая сфера добавлена была въ концѣ среднихъ вѣковъ для объясненія предполагаемыхъ измѣненій въ наклоненіи эклиптики. Нѣкоторые писатели предлагали еще большее число ихъ. За всѣми

этими сферами средневѣковые мыслители обыкновенно помѣщали эмпирей или небо. Прилагаемая діаграмма (фиг. 36) иллюстрируетъ всю систему.

Эти сферы, почти всецѣло бывшія плодомъ фантазіи и даже серьезно не претендовавшія на объясненіе деталей планетныхъ движеній, разумѣется, вполнѣ отличны отъ круговъ, извѣстныхъ подъ названіемъ эпицикловъ и деферентовъ, которыми пользовались Гиппархъ и Птоломей. Это были просто геометрическія абстракціи, позволявшія изображать съ нѣкоторой точностью планетныя движенія. Каждая планета свободно двигалась въ пространствѣ, причемъ ея движеніе изображалось или описывалось (но не управлялось) особенной геометрической комбинаціей круговъ. Пурбахъ, въ видѣ компромисса, предложилъ выдолбить хрустальныя сферы Аристотеля, такъ, чтобы внутри ихъ очистилось мѣсто для эпицикловъ Птоломея.

Изъ-подъ новаго нюрнбергскаго печатнаго станка вышелъ также цѣлый рядъ календарей, въ которыхъ, какъ и въ нынѣшнихъ, помѣщались свѣдѣнія относительно подвижныхъ праздниковъ, фазъ луны, затменій и т. п.; и въ добавленіе къ нимъ томъ менѣе популярныхъ *Эфемеридъ* съ болѣе полными и точными астрономическими свѣдѣніями лѣтъ на 30 впередъ. Въ нихъ содержались, между прочимъ, астрономическія данныя для нахожденія долготы и широты на морѣ, для чего Регіомонтанъ изобрѣлъ новый методъ [1]).

Превосходство этихъ таблицъ надъ другими было такъ велико, что ими пользовались во время нѣ-

---

[1]) Методъ «лунныхъ разстояній».

сколькихъ крупныхъ путешествій, сопровождавшихся открытіями, и, вѣроятно, ими пользовался даже самъ Колумбъ во время первой поѣздки въ Америку.

Въ 1475 году Регіомонтанъ приглашенъ былъ папой въ Римъ для содѣйствія реформѣ календаря, но безвременно скончался здѣсь въ слѣдующемъ году, сорока лѣтъ отроду.

Вальтеръ продолжалъ труды своего друга и произвелъ рядъ хорошихъ наблюденій; онъ первый удачно пытался вводить поправки на атмосферную рефракцію, о которой Птоломей, вѣроятно, имѣлъ слабое представленіе (гл. II, § 46); ему принадлежитъ методъ нахожденія положенія солнца черезъ сравненіе съ Венерой, вмѣсто луны, такъ какъ болѣе медленное движеніе планеты даетъ возможность достигнуть большей точности.

Послѣ смерти Вальтера менѣе даровитые наблюдатели продолжали его труды, и своего рода астрономическая школа существовала въ Нюрнбергѣ до XVII вѣка.

69. Къ этому же или немного позднѣйшему періоду относятся мелкія астрономическія открытія, которыя мы сейчасъ перечислимъ.

Леонардо да Винчи (1452 — 1519), бывшій не только великимъ живописцемъ и скульпторомъ, но и анатомомъ, инженеромъ, механикомъ, физикомъ и математикомъ, первый далъ правильное объясненіе тусклому сіянію, наблюдаемому на темной части лунной поверхности, когда освѣщенная часть ея находится въ фазѣ серпа. Онъ показалъ, что когда луна близка къ новолунію, то освѣщенная солнцемъ половина земного шара направлена почти

прямо къ лунѣ, благодаря чему луна освѣщается **пепельнымъ свѣтомъ** или **земнымъ сіяніемъ**, подобно тому какъ земля освѣщается луннымъ. Объясненіе это интересно само по себѣ, и представляло еще нѣкоторую цѣнность, какъ аналогія между землей и луной, способствовавшая уничтоженію предполагаемыхъ преградъ между небесными и земными тѣлами (гл. VI, § 119).

Джеромъ Фракасторъ (1483—1543) и *Петръ Апіанъ* (1495—1552), два плодовитыхъ писателя по астрономіи, производили не лишенныя интереса наблюденія надъ кометами; оба они замѣтили, что хвостъ кометы при движеніи ея всегда направленъ въ сторону, противоположную солнцу, — фактъ, въ наше время пролившій нѣкоторый свѣтъ на структуру кометъ (гл. XIII, § 304).

Петръ Ноніусъ (1492—1577) заслуживаетъ упоминанія, какъ отличный знатокъ сумерекъ; онъ правильно рѣшилъ нѣкоторыя задачи относительно продолжительности сумерекъ, измѣненій ея въ зависимости отъ широты и т. д.; но въ другихъ отношеніяхъ его многочисленныя книги не представляютъ большого интереса [1]).

Новое измѣреніе величины земли, первое со времени калифа Аль-Мамуна (§ 57), сдѣлано было около 1528 года французскимъ докторомъ, *Жаномъ Фернелемъ* (1497—1558), получившимъ результатъ, погрѣшность котораго (менѣе 1%) оказалась гораздо меньше, чѣмъ можно было ожидать при грубыхъ методахъ, которыми онъ пользовался.

---

[1]) Онъ не изобрѣлъ измѣрительнаго инструмента, верніера, какъ это ему часто приписывали, но нѣчто совсѣмъ другое и гораздо менѣе цѣнное.

Жизнь Регіомонтана покрываетъ первые три года жизни Коперника; четыре послѣднихъ писателя, поименованныхъ нами, были почти его современниками; мы можемъ, поэтому, сказать, что подошли къ концу періода сравнительнаго застоя, описаннаго въ этой главѣ.

ГЛАВА IV.

Коперникъ.

«Въ нашъ вѣкъ рѣдкій умъ (видя, что съ теченіемъ времени постоянно обнаруживается все больше и больше ошибокъ, помимо безконечныхъ нелѣпостей самой теоріи, которую должны были принять всѣ, не желавшіе признавать движенія земного шара) путемъ долгаго изученія, упорнаго труда и рѣдкой изобрѣтательности создалъ новую теорію или модель вселенной, показавъ, что земля не покоится въ центрѣ всего міра или шарообразнаго вмѣстилища элементовъ, окружающаго и заключающаго въ себѣ лунную орбиту, но вмѣстѣ со всѣмъ человѣческимъ родомъ увлекается годичнымъ движеніемъ вокругъ солнца, которое, подобно монарху, царитъ посреди всего и управляетъ прочими движеніями, распространяя сферически, во всѣ стороны, лучи славы и свѣта по священному храму небесъ».

Томасъ Диггсъ, 1590.

70. Возрастающій интересъ къ астрономіи, который подтверждается трудами такихъ людей, какъ Регіомонтанъ, является однимъ изъ ближайшихъ въ области науки результатовъ того крупнаго движенія мысли, различнымъ проявленіямъ котораго даются наименованія Возрожденія Наукъ, Ренессанса и Реформаціи. Движеніе это вначалѣ можно характеризовать, какъ всеобщее увеличеніе пониманія и интереса къ объектамъ мысли и знанія. Изобрѣтеніе книгопечатанія на порогѣ XV вѣка, стремленіе къ изученію греческихъ авторовъ, отчасти принесенное схоластиками, устремившимися на западъ послѣ завоеванія турками Константинополя

(1453), и открытіе Америки Колумбомъ въ 1492 году, способствовали развитію движенія, начало котораго слѣдуетъ искать въ гораздо болѣе раннюю эпоху.

Всякій подъемъ духа естественно влечетъ за собою стремленіе къ изслѣдованію мнѣній, полученныхъ путемъ преданія и основанныхъ на какомъ-нибудь крупномъ авторитетѣ. Дѣятельное разыскиваніе и изученіе греческихъ философовъ, помимо Аристотеля, разумѣется, сильно пошатнуло верховный авторитетъ этого великаго философа точно такъ же, какъ и сторонники реформаціи пошатнули авторитетъ церкви, показавши несогласіе ея доктринъ съ библейскими. Вначалѣ, однако, это была еще не война съ принципомъ, по которому истину легче найти у авторитета, чѣмъ путемъ самостоятельныхъ исканій при свѣтѣ разума; новые схоластики замѣнили авторитетъ Аристотеля авторитетомъ Платона или греческой и римской древности вообще, а религіозные реформаторы на мѣсто церковнаго авторитета поставили библію. Вполнѣ естественно, что конфликтъ авторитетовъ въ нѣкоторыхъ умахъ вызывалъ сомнѣнія въ истинности авторитета вообще; а когда необходимость выбора между авторитетами повлекла за собою свободу сужденія, то отсюда остался уже одинъ шагъ до принятія собственнаго разума за основу рѣшенія спорныхъ вопросовъ.

Въ астрономіи борьба авторитетовъ началась еще раньше, частью по поводу нѣкоторыхъ разногласій между Птоломеемъ и Аристотелемъ, частью по поводу различныхъ астрономическихъ таблицъ, хотя и построенныхъ существенно по одному принципу, но различавшихся въ частностяхъ. Теперь назрѣвало время для фундаментальной критики традиціонной

астрономіи и для перестройки ея на новыхъ основаніяхъ.

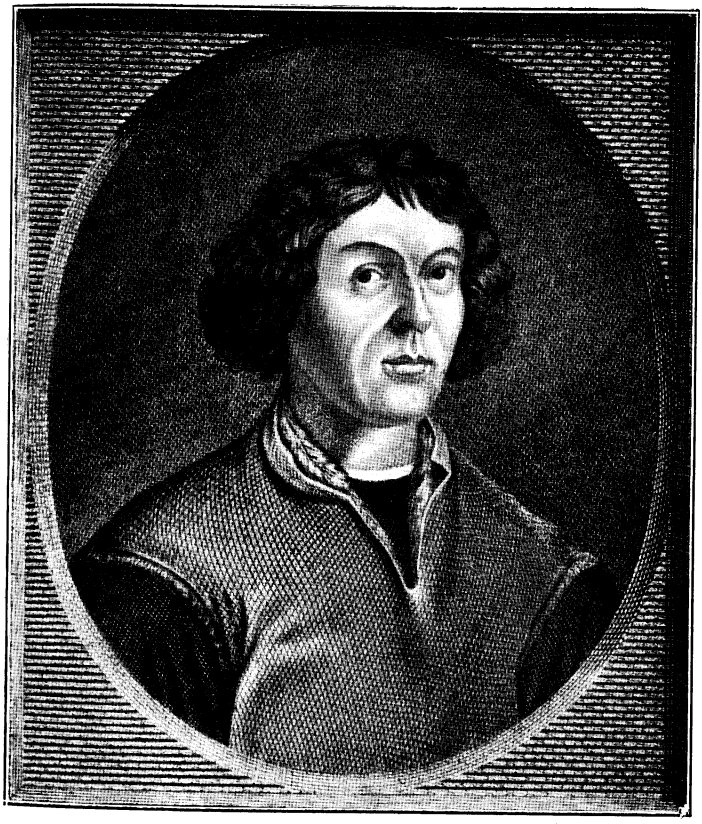
Такая фундаментальная реформа была задумана и выполнена великимъ астрономомъ, трудами котораго мы теперь займемся.

71. *Николай Коперникъ* или *Coppernicus* [1]) родился 19 февраля 1473 года въ домѣ, который еще и донынѣ показываютъ въ маленькомъ торговомъ городкѣ Торнѣ на Вислѣ. Теперь Торнъ лежитъ какъ разъ у восточной границы нынѣшней Пруссіи; во времена Коперника онъ лежалъ въ области, надъ которой польскій король имѣлъ нѣчто вродѣ сюзеренитета; объемъ и предѣлы этого владычества составляли предметъ вѣчныхъ ссоръ между королемъ, горожанами и орденомъ тевтонскихъ рыцарей, объявившихъ притязанія на изрядную долю сосѣднихъ земель. Отецъ астронома (имя котораго чаще всего писалось Koppernigk) былъ купецъ, пріѣхавшій въ Торнъ изъ Кракова, тогдашней столицы Польши, въ 1462 году. Считать ли Коперника полякомъ, или нѣмцемъ — вопросъ трудный, изъ-за котораго его біографы долго и ожесточенно препирались, но для насъ не представляющій интереса.

Послѣ смерти отца, послѣдовавшей въ 1483 году, Николай былъ взятъ на воспитаніе своимъ дядей Лукой Ватцельроде, впослѣдствіи епископомъ сосѣдней Эрмландской епархіи, который еще смолоду предназначилъ его къ духовной дѣятельности. Онъ

---

[1]) Это имя писалось на самые различные лады какъ самимъ Коперникомъ, такъ и его современниками. Самъ онъ подписывался *Coppernic*, а въ ученыхъ произведеніяхъ латинской формой *Coppernicus*. Иногда, но гораздо рѣже, онъ подписывался *Copernicus*.



Коперникъ.

(Къ стр. 132).

посѣщалъ школу въ Торнѣ, а на 17 году поступилъ въ Краковскій университетъ. Здѣсь онъ, повидимому, впервые пріобрѣлъ (или обнаружилъ) рѣшительный интересъ къ астрономіи и математикѣ— предметамъ, пройденнымъ, вѣроятно, съ помощью Альберта Брудзевскаго, слывшаго ученымъ и умѣлымъ наставникомъ; изъ расписанія лекцій Краковскаго университета видно, что главными руководствами служили современные для того времени трактаты Пурбаха и Регіомонтана (гл. III, § 68). Коперникъ не намѣренъ былъ добиваться ученой степени въ Краковскомъ университетѣ и, по всей вѣроятности, оставилъ его черезъ три года (1494). Слѣдующій годъ или два онъ жилъ частью дома, частью во дворцѣ своего дяди въ Гейльсбергѣ, причемъ потратилъ нѣкоторое время на неудачную кандидатуру на мѣсто каноника во Фрауенбургѣ, соборномъ городѣ епархіи его дяди.

Слѣдующія девять-десять лѣтъ онъ посвятилъ научнымъ занятіямъ въ Италіи (отъ 1496 до 1505 или 1506 г.), откуда онъ отлучался во Фрауенбургъ на короткое время только одинъ разъ, въ 1501 году. Работалъ онъ преимущественно въ Болоньѣ и въ Падуѣ, но ученую степень получилъ въ Феррарѣ и нѣкоторое время прожилъ въ Римѣ, гдѣ его астрономическія познанія, очевидно, произвели благопріятное впечатлѣніе. Хотя въ Италію онъ отправился съ первоначальной цѣлью изучать право и медицину, но ясно, что бо̀льшая часть его усилій направлена была на математику и астрономію; немало вниманія онъ удѣлилъ и греческому языку.

Во время своего отсутствія онъ былъ назначенъ (около 1497) каноникомъ во Фрауенбургъ и, кромѣ

того, получилъ (когда именно, неизвѣстно) церковную синекуру въ Бреславлѣ.

72. Вернувшись изъ Италіи во Фрауенбургъ, Коперникъ почти немедленно получилъ новый отпускъ и присоединился въ Гейльсбергѣ къ своему дядѣ оффиціально въ качествѣ домашняго врача, но въ сущности—на правахъ товарища.

По всей вѣроятности, въ эти спокойные годы, проведенные въ Гейльсбергѣ, у него впервые сформировались новыя астрономическія идеи, и онъ составилъ первый набросокъ своей книги. Онъ хранилъ втайнѣ свою рукопись, время отъ времени просматривая и переписывая ее, отчасти изъ желанія довести свой трудъ до возможной степени совершенства, отчасти вслѣдствіе полнаго равнодушія къ славѣ, смѣшаннаго съ отвращеніемъ къ спорамъ, которые почти неизбѣжно могло бы вызвать появленіе его книги. Въ 1509 году онъ издалъ въ Краковѣ свою первую книгу, латинскій переводъ собранія греческихъ писемъ Ѳеофилакта, интересную въ томъ смыслѣ, что это былъ, кажется, первый переводъ съ греческаго, когда-либо изданный въ Польшѣ или сосѣднихъ областяхъ. Въ 1512 году, по смерти своего дяди, онъ окончательно поселился во Фрауенбургѣ, въ нѣсколькихъ комнатахъ, которыя занималъ, съ небольшими промежутками, въ теченіе почти 31 года. Прочно основавшись, онъ началъ принимать дѣятельное участіе въ дѣлахъ капитула; напримѣръ, онъ неоднократно выступалъ представителемъ его интересовъ въ тяжбахъ съ королемъ польскимъ и тевтонскими рыцарями; въ 1523 г. онъ исполнялъ обязанности главнаго начальника епархіи въ теченіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ, по

слѣдовавшихъ за смертью епископа; лѣтъ шесть, съ перерывомъ (1516—1519 и 1520—1521), онъ жилъ въ Алленштейнскомъ замкѣ, управляя отдаленными имѣніями капитула. Въ 1521 ему поручили составить жалобу на тевтонскихъ рыцарей, для представленія прусскому правительству, а въ слѣдующемъ году онъ написалъ докладъ о безпорядочномъ и запущенномъ состояніи областного монетнаго двора,— докладъ, также представленный правительству и впослѣдствіи переписанный на латинскомъ языкѣ по особому требованію епископа. Кромѣ того, онъ нерѣдко помогалъ врачебными совѣтами своимъ друзьямъ и бѣднякамъ города Фрауенбурга, хотя никогда не занимался правильной медицинской практикой; но, несмотря на такую многосторонность занятій, большую часть своего времени въ теченіе послѣднихъ 30 лѣтъ жизни онъ посвятилъ, какъ кажется, астрономіи.

73. Мы до того привыкли ассоціировать возрожденіе астрономіи, или другой отрасли естествознанія, съ возрастающей тщательностью собиранія наблюдаемыхъ фактовъ, и считать Коперника главнымъ дѣятелемъ возрожденія, что здѣсь вполнѣ умѣстно будетъ подчеркнуть обстоятельства, что онъ вовсе не былъ великимъ наблюдателемъ. Его инструменты, большей частью сооруженные имъ самимъ, были гораздо хуже инструментовъ Нассиръ-Эддина и Улугъ-Бега (гл. III, §§ 62, 63), и даже не равнялись по качеству тѣмъ, какіе онъ могъ бы выписать, если бы пожелалъ, отъ нюрнбергскихъ мастеровъ; наблюденія его были совсѣмъ не многочисленны (въ его книгѣ упоминается 27, а о дюжинѣ-двухъ мы знаемъ еще изъ другихъ источ-

никовъ), и онъ, кажется, вовсе не стремился къ достиженію особенной точности. Опредѣленныя имъ положенія звѣздъ, служившія ему главной основой для справокъ и потому представлявшія особенную важность, допускали ошибку до 40′ (больше кажущагося діаметра солнца или луны), — ошибку, которую Гиппархъ призналъ бы весьма серьезной. Ученикъ его Ретикусъ (§ 74) передаетъ интересную бесѣду между нимъ и его учителемъ, въ которой ученикъ настаивалъ на возможно большей точности наблюденій; Коперникъ отвѣтилъ, что скрупулезная точность пока ему не нужна, и что съ него достаточно будетъ на первое время приблизительнаго совпаденія теоріи съ наблюденіемъ. Въ нѣсколькихъ мѣстахъ Коперникъ, кромѣ того, указываетъ, что высокая (географическая) широта и густота атмосферы Фрауенбурга настолько препятствуютъ хорошимъ наблюденіямъ, что онъ, напримѣръ, хотя и видѣлъ временами планету Меркурія, ни разу, однако, не имѣлъ возможности сдѣлать надъ нею сносное наблюденіе.

Хотя онъ не издалъ ничего важнаго до конца своей жизни, тѣмъ не менѣе репутація его, какъ астронома и математика, среди знающихъ лицъ установилась, повидимому, со времени отъѣзда его изъ Италіи, а дальше непрерывно усиливалась.

Въ 1515 году комиссія, назначенная Латеранскимъ Совѣтомъ, пригласила его къ участію въ реформѣ календаря, къ тому времени обнаружившаго недостатки (гл. II, § 22), но онъ отказался высказаться по этому вопросу, сославшись на то, что движенія луны и солнца были еще слишкомъ мало изучены для того, чтобы можно было произвести

удовлетворительную реформу. Спустя нѣсколько лѣтъ (1524), онъ написалъ открытое письмо, предназначенное для обнародованія, одному изъ своихъ краковскихъ друзей, въ отвѣтъ на трактатъ о прецессіи; въ этомъ письмѣ, по обычаю того времени, онъ въ сильныхъ выраженіяхъ критиковалъ ошибки своего противника [1]).

Между тѣмъ мало-по-малу распространялись слухи о томъ, что онъ придерживается новой доктрины, по которой земля движется, а солнце и звѣзды пребываютъ въ покоѣ,—доктрины, достаточно опасной для того, чтобы обратить на себя вниманіе и внѣ астрономическихъ круговъ. Около 1531 года онъ имѣлъ удовольствіе быть публично осмѣяннымъ на подмосткахъ во время представленія популярной пьесы, разыгранной въ сосѣдствѣ его мѣстообитанія; любопытно отмѣтить (особенно въ связи съ знаменитымъ осужденіемъ Галилея въ Римѣ, случившимся столѣтіемъ позже), что Лютеръ въ своей *Застольной бесѣдѣ*, не стѣсняясь, изображаетъ Коперника глупцомъ за то, что онъ придерживается мнѣній, явно противорѣчащихъ библіи, и что Меланхтонъ, едва ли не образованнѣйшій изъ реформаторовъ, къ аналогичному въ общихъ чертахъ отзыву присовокупилъ прозрачный намекъ на то, что подобныя мнѣнія не должны быть терпимы. Коперникъ, кажется, не обращалъ вниманія на такіе нападки и попрежнему ничего не печаталъ. Въ книгѣ его, къ этому времени почти совершенно законченной, не упоминается ни объ одномъ наблюденіи позже

---

[1]) *Nullo demum loco ineptior est quam . . . . ubi nimis puerili-ter hallucinatur:* Нигдѣ онъ не кажется глупѣе, чѣмъ . . . . гдѣ онъ страдаетъ отъ заблужденій черезчуръ ребяческихъ.

1529 года; къ той же эпохѣ относится чрезвычайно интересная записка подъ заглавіемъ *Commentariolus*, содержащая въ себѣ краткій очеркъ его системы міра, съ нѣкоторыми доказательствами въ пользу ея, но безъ вычисленій. Она написана была, очевидно, для друзей и не была напечатана; рукопись затерялась послѣ смерти автора и снова была найдена лишь въ 1878 году. *Commentariolus* послужилъ, вѣроятно, основаніемъ для лекціи объ идеяхъ Коперника, прочитанной однимъ изъ римскихъ астрономовъ по просьбѣ папы Климента VII. Три года спустя, кардиналъ Шомбергъ въ письмѣ просилъ у Коперника дальнѣйшихъ разъясненій относительно его воззрѣній, изъ чего видно, что главныя черты его ученія были уже отлично знакомы кардиналу.

74. Такія просьбы, надо думать, онъ получалъ и отъ другихъ лицъ, но окончательное рѣшеніе обнародовать свои взгляды созрѣло въ немъ, по всей вѣроятности, по прибытіи во Фрауенбургъ въ 1539 году пылкаго молодого астронома, извѣстнаго подъ именемъ *Ретикуса* [1]). Родившись въ 1514 году, онъ изучалъ астрономію у Шонера въ Нюрнбергѣ, и назначенъ былъ въ 1536 году на одну изъ каѳедръ математики, учрежденныхъ стараніями Меланхтона въ Виттенбергѣ, въ то время главномъ университетскомъ центрѣ протестантовъ.

Узнавъ, вѣроятно, черезъ *Commentariolus*, о Коперникѣ и его доктринахъ, онъ такъ заинтересовался ими, что рѣшилъ навѣстить великаго астронома во Фрауенбургѣ. Коперникъ принялъ его необычайно

---

[1]) Настоящее его имя было Георгъ Іоахимъ, а прозвище свое онъ самъ образовалъ отъ латинскаго названія области, въ которой онъ родился (Ретія, Rhaetia).

привѣтливо, и визитъ, первоначально разсчитанный на нѣсколько дней или недѣль, затянулся на два года. Ретикусъ принялся за изученіе рукописи Коперника, и черезъ нѣсколько недѣль послѣ своего прибытія написалъ весьма интересный и цѣнный очеркъ ея содержанія, названный Первымъ Разсказомъ (*Prima Narratio*), въ формѣ открытаго письма къ своему старому наставнику Шонеру, — письма, напечатаннаго слѣдующей весной и открывшаго легкій доступъ къ новому ученію [1]).

Возвращаясь въ Виттенбергъ, въ концѣ 1541 года, Ретикусъ увезъ съ собой копію чисто-математическаго отдѣла великой книги и напечаталъ ее въ качествѣ руководства (по тригонометріи); вѣроятно, уже было рѣшено, чтобы онъ наблюдалъ за печатаніемъ всей книги. Коперникъ, будучи уже немолодымъ, и, естественно, чувствовавшій приближеніе смерти, отослалъ рукопись своему другу Гизе, епископу Кульмскому, въ полное его распоряженіе. Гизе сейчасъ же отправилъ ее къ Ретикусу, который сдѣлалъ распоряженія для напечатанія ея въ Нюрнбергѣ. Къ сожалѣнію, Ретикусъ не могъ самъ наблюдать за печатаніемъ и поручилъ дѣло Озіандеру, лютеранскому проповѣднику, интересовавшемуся астрономіей. Этотъ послѣдній, повидимому, весьма тревожился мыслью о смятеніи, которое могло быть вызвано еретическими идеями Коперника, и добавилъ отъ себя предисловіе, подъ каковымъ, однако,

---

[1]) *Commentariolus* и *Prima Narratio* дали бы многимъ читателямъ лучшее представленіе о томъ, что сдѣлалъ Коперникъ, чѣмъ его большая книга, въ которой лишь съ нѣкоторымъ трудомъ можно отдѣлить руководящія мысли отъ массы вычисленій, на нихъ основанныхъ.

счелъ излишнимъ подписаться, и въ которомъ хвалилъ книгу на вульгарный ладъ и оговаривался (совершенно противъ желанія автора), что принципы, положенные въ основу, суть только абстрактныя гипотезы, придуманныя для удобствъ вычисленія; онъ же далъ книгѣ ея названіе *De Revolutionibus Orbium Celestium* (Объ обращеніи небесныхъ сферъ), причемъ послѣднія два слова являются, по всей вѣроятности, продуктомъ его собственной изобрѣтательности. Печатаніе было окончено зимой 1542—1543 года, и авторъ получилъ экземпляръ своей книги въ день смерти (24 мая 1543 года), когда его память и умственныя силы уже угасли.

75. Центральная идея, связанная съ именемъ Коперника, благодаря которой *De Revolutionibus* является одной изъ важнѣйшихъ книгъ въ астрономической литературѣ, съ которой рядомъ можно поставить развѣ лишь *Альмагестъ* и ньютоновы *Principia* (гл. IX,§§ 177 и слѣд.), заключается въ томъ, что, по мнѣнію Коперника, видимыя движенія небесныхъ тѣлъ въ громадной степени суть не истинныя движенія, но отраженныя движенія наблюдателя, уносимаго землей. Коперникъ сообщаетъ, что его давно поражала неудовлетворительность ходячихъ объясненій астрономическихъ движеній и что, отыскивая въ философскихъ сочиненіяхъ лучшаго объясненія, онъ наткнулся на сообщеніе Цицерона о мнѣніи Гицетаса, по которому земля вращается суточнымъ движеніемъ на своей оси. Подобные же взгляды онъ нашелъ и у другихъ пиѳагорейцевъ, а Филолай и Аристархъ Самосскій утверждали, что земля не только вращается, но и обращается вокругъ солнца или другого центра (гл. II, § 24). Мнѣніе, что земля не

единственный центръ движенія, но что Венера и Меркурій обращаются вокругъ солнца, оказалось древнимъ египетскимъ вѣрованіемъ, котораго придерживался и *Марціанъ Капелла*, написавшій компендіумъ науки и философіи въ V или VI в. по Р. Х. Болѣе современный авторитетъ, *Николай Кузанскій* (1401—1464), мистическій писатель, склонявшійся къ мысли о движеніи земли, былъ Коперникомъ не замѣченъ или оставленъ безъ вниманія. Ни одинъ изъ названныхъ писателей, за исключеніемъ, можетъ быть, Аристарха Самосскаго, которому Коперникъ, повидимому, удѣлилъ мало вниманія, не высказалъ упомянутыхъ мнѣній въ формѣ, которая своей опредѣленностью возвышалась бы надъ смутнымъ умозрѣніемъ; ни одинъ изъ нихъ не привелъ существенныхъ соображеній, а тѣмъ паче доказательствъ, въ защиту своихъ взглядовъ; и хотя Коперникъ, сообразно съ обычаями того времени, могъ только радоваться поддержкѣ со стороны признанныхъ авторитетовъ, однако, на дѣлѣ ему пришлось заново обработать доводы въ пользу своего мнѣнія.

Нѣкоторые утверждали, что Коперникъ доказалъ то, что предшествующіе писатели угадывали и предполагали; вѣрнѣе будетъ сказать, что онъ подхватилъ на лету нѣкоторыя идеи, крайне неясныя и никогда не подвергавшіяся научной переработкѣ, утвердилъ на нихъ нѣкоторые опредѣленные основные принципы, изъ этихъ принциповъ развилъ математическую и астрономическую систему и показалъ, что ею можно по меньшей мѣрѣ съ такимъ же успѣхомъ объяснить наблюдаемыя небесныя движенія, какъ и любой разновидностью традиціонной

птоломеевой системы. Коперникова система, въ томъ видѣ, въ какомъ она вышла изъ рукъ своего творца, рѣшительно превосходила своихъ соперницъ въ объясненіи обыденныхъ наблюденій, каковымъ преимуществомъ она обязана столько же математическому искусству, съ которымъ она была развита, сколько и своимъ основнымъ принципамъ; во многихъ отношеніяхъ она была гораздо проще; ей удалось избѣжать нѣкоторыхъ фундаментальныхъ трудностей старой системы. Ей, однако, можно было противопоставить нѣсколько серьезныхъ возраженій, устраненныхъ только новыми доказательствами, лишь впослѣдствіи выплывшими на свѣтъ Божій. Для предшественниковъ Коперника существовала, за малыми варіаціями незначительной важности, лишь одна научная система, пытавшаяся серьезно объяснить извѣстные факты; но его ближайшимъ преемникамъ пришлось имѣть дѣло съ двумя, изъ коихъ новѣйшая могла казаться безпристрастному уму въ общемъ болѣе удовлетворительною, чѣмъ другая, и дальнѣйшее изученіе обѣихъ системъ, въ видахъ открытія новыхъ аргументовъ, либо наблюденій въ защиту той или иной изъ нихъ, представлялось дѣломъ первостепенной и неотложной необходимости.

76. Планъ *De Revolutionibus* въ общихъ чертахъ сходенъ съ планомъ *Альмагеста*. По формѣ книга вовсе не заключаетъ въ себѣ доказательства движенія земли, и можно прочесть значительную часть ея, не замѣтивъ присутствія новой доктрины.

Коперникъ, подобно Птоломею, начинаетъ съ нѣкоторыхъ первоначальныхъ принциповъ или посту-

латовъ, но, по причинѣ ихъ новизны, прилагаетъ больше стараній, нежели его предшественникъ (гл. II, § 47), къ тому, чтобы придать имъ необходимую степень вѣроятности. Утвердившись на этихъ постулатахъ, какъ на основаніи, онъ начинаетъ развивать путемъ тщательно разработанныхъ и весьма утомительныхъ математическихъ разсужденій, мѣстами подкрѣпленныхъ ссылками на наблюденія, подробныя схемы многоразличныхъ небесныхъ движеній; различные постулаты въ дѣйствительности больше подтверждаются согласіемъ этихъ вычисленій съ наблюденіями, чѣмъ разсужденіями общаго характера, приведенными вначалѣ.

Первый его постулатъ, о шарообразности вселенной, подкрѣпляется неясными и нерѣшительными доводами, подобными доказательствамъ Птоломея и другихъ; для доказательства шарообразности земли онъ пользуется обычными убѣдительными аргументами; между прочимъ, кривизну ея по направленію отъ востока къ западу онъ доказываетъ тѣмъ обстоятельствомъ, что затменія, наблюдаемыя въ одномъ мѣстѣ, невидимы въ другомъ. Третій постулатъ, о томъ, что движенія небесныхъ тѣлъ равномѣрны и кругообразны или составляются изъ такихъ движеній, доказывается, какъ можно ожидать, аргументами крайне неудовлетворительнаго свойства. Онъ доказываетъ, напримѣръ, что необходимость равномѣрнаго движенія

«должна возникать или отъ неправильностей движущей силы, заключается ли она внутри тѣла, или внѣ его, или отъ какого-нибудь неравенства обращающагося тѣла . . . . Отъ обоихъ предположеній умъ отвращается съ ужасомъ, считая недостойнымъ придерживаться подобнаго взгляда относительно тѣлъ, устроенныхъ самымъ совершеннымъ образомъ».

77. Дальше слѣдуетъ обсужденіе возможности движенія со стороны земли, и даже не одного, а нѣсколькихъ; доказательства здѣсь болѣе удовлетворительныя, хотя и ничего не рѣшающія. Коперникъ твердо держится принципа, провозглашеннаго и Аристотелемъ, именно принципа относительнаго движенія, который онъ формулируетъ слѣдующимъ образомъ:

«ибо всякая видимая перемѣна положенія происходитъ или отъ перемѣщенія наблюдателя, или отъ перемѣщенія наблюдаемаго предмета, или отъ перемѣщенія обоихъ, лишь бы они отличались одно отъ другого; ибо когда предметы перемѣщаются одинаково относительно однѣхъ и тѣхъ же вещей, то движенія не замѣчается между наблюдаемымъ предметомъ и наблюдателемъ» [1]).

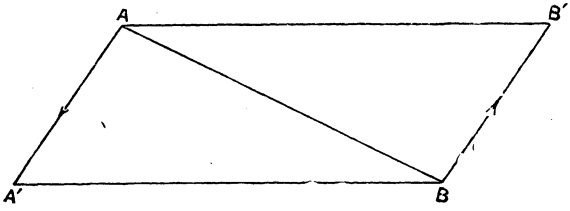
Коперникъ не доказываетъ этого принципа, считая его, надо думать, слишкомъ очевиднымъ для математиковъ и астрономовъ, для которыхъ предназначалась книга. Онъ, однако, настолько важенъ, что мы считаемъ умѣстнымъ познакомиться съ нимъ нѣсколько подробнѣе.

Пусть, напримѣръ, наблюдатель находится въ A (фиг. 37), а предметъ въ B, тогда, будетъ ли предметъ двигаться изъ B въ B′ при полномъ покоѣ наблюдателя, или наблюдатель пройдетъ *равное* разстояніе въ *противоположномъ* направленіи, изъ A въ A′, при условіи неподвижности предмета,—результатъ для глаза будетъ одинаковый, такъ какъ въ обоихъ случаяхъ разстояніе между наблюдателемъ и пред-

---

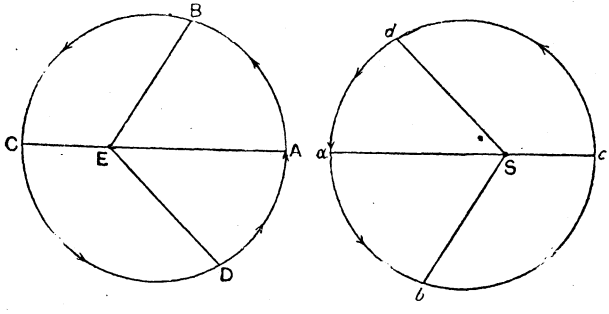
[1]) *Omnis enim quae videtur secundum locum mutatio, aut est propter locum mutatio, aut est propter spectatae rei motum, aut videntis, aut certe disparem utriusque mutationem. Nam inter mota aequaliter ad eadem non percipitur motus, inter rem visam dico, et videntem* (*De Rev.*, *I*, *Y*).

метомъ, и направленіе, въ которомъ онъ видитъ предметъ (въ первомъ случаѣ AB′, во второмъ A′B), остается неизмѣннымъ.



Фиг. 37. Относительное движеніе.

Такимъ образомъ, *солнце ли* въ теченіе года постепенно занимаетъ положенія A, B, C, D (фиг. 38), причемъ земля покоится неподвижно въ E, *или* солнце остается неподвижнымъ въ точкѣ S, а земля послѣдовательно занимаетъ положеніе *a*, *b*, *c*, *d* въ соотвѣтствующія времена, — эффектъ для глаза получается одинъ и тотъ же, лишь бы прямыя *a*S, *b*S, *c*S, *d*S были, какъ на рисункѣ, равны и параллельны



Фиг. 38. Относительныя движенія солнца и земли.

EA, EB, EC, ED. Такъ какъ это справедливо и для промежуточныхъ точекъ, то все равно, будетъ ли солнце описывать кругъ ABCD, или же земля рав-

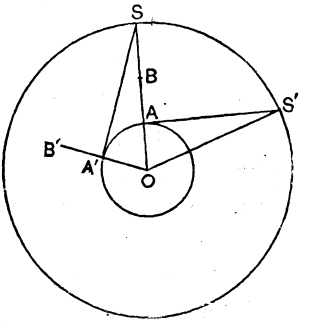
ный кругъ *abcd*, съ такой же скоростью. Далѣе, хотя соотвѣтствующія движенія въ обоихъ случаяхъ начинаются въ противоположныхъ мѣстахъ (въ A и *a*), однако, каждый кругъ, въ концѣ-концовъ, описывается, какъ показываютъ стрѣлки, въ одномъ и томъ же направленіи (на рисункѣ оно противоположно движенію часовыхъ стрѣлокъ). Изъ этого легко заключить, что видимое движеніе (напримѣръ, планеты) можно объяснить отчасти движеніемъ объекта, отчасти движеніемъ наблюдателя.

Коперникъ приводитъ популярный примѣръ пассажира на лодкѣ, отъ котораго кажущимся образомъ уходятъ берега, цитируя и объясняя стихъ изъ Виргилія:

«Provehimur portu, terraeque urbesque recedunt».

78. Труднѣе приложить эти принципы къ кажущемуся вращенію около наблюдателя, какъ, напримѣръ, видимое суточное движеніе небесной сферы. Мы должны помнить, что глазъ не имѣетъ возможности судить о направленіи предмета, который имъ воспринимается; онъ въ состояніи только замѣчать разницу между направленіемъ объекта и какимъ-нибудь другимъ направленіемъ, будетъ ли то направленіе другого объекта, или то, въ которомъ укрѣплено тѣло наблюдателя. Такъ, если мы, взглянувъ на звѣзду въ два момента, раздѣленные нѣкоторымъ промежуткомъ времени, рѣшаемъ, что она передвинулась, то это значитъ, что измѣнилось ея направленіе относительно, скажемъ, дерева или дома, въ направленіи которыхъ мы ее видѣли первоначально, или относительно направленія нашихъ глазъ или тѣла. Очевидно, такую перемѣну можно

объяснить перемѣной направленія или звѣзды, или линіи, соединяющей нашъ глазъ съ деревомъ, нашей, такъ сказать, повѣрочной линіи. Приложивъ это разсужденіе къ небесной сферѣ, предположимъ, что S (фиг. 39) обозначаетъ звѣзду на ней, находящуюся (ради простоты) надъ головой наблюдателя, помѣщеннаго на землѣ въ точкѣ A, что опредѣляется сравненіемъ съ перпендикуляромъ AB, возставленнымъ къ горизонту. Положимъ, далѣе, что центры земли и небесной сферы совпадаютъ и пусть сперва небесная сфера вращается (въ направленіи часовой стрѣлки) до тѣхъ поръ, пока S не придетъ въ S_1, такъ, чтобы наблюдатель увидѣлъ звѣзду на своемъ горизонтѣ, или подъ прямымъ угломъ къ первоначальному направленію AB, для чего небесная сфера должна повернуться на уголъ SOS′; пусть затѣмъ небесная сфера останется въ покоѣ, а земля вращается въ противоположномъ направленіи, пока AB не займетъ положенія A′B′, и наблюдатель снова увидитъ звѣзду на своемъ горизонтѣ. Какое бы изъ этихъ двухъ движеній ни происходило на самомъ дѣлѣ, наблюдатель созерцаетъ одно и то же движеніе на небесномъ сводѣ. Изъ рисунка можно сразу убѣдиться въ томъ, что уголъ SOS′, на который вначалѣ повернулась, согласно нашему допущенію, небесная сфера, равенъ углу AOA′, на который во второмъ случаѣ повернулась земля, но



Фиг. 39. Суточное вращеніе земли.

что эти два вращенія совершились въ противоположномъ направленіи. Такое же объясненіе, очевидно, приложимо и къ болѣе сложнымъ случаямъ.

Изъ всего этого слѣдуетъ, что суточное вращеніе небесной сферы на оси, проходящей черезъ полюсы, можно объяснить или дѣйствительнымъ ея вращеніемъ такого рода, или вращеніемъ земли на оси (проходящей черезъ тѣ же полюсы) съ такой же скоростью, но въ противоположномъ направленіи, т.-е. отъ запада къ востоку. Это — первое изъ движеній, приписываемыхъ Коперникомъ землѣ.

79. Кажущееся годичное движеніе солнца, обращающагося около земли по орбитѣ, близкой къ кругу, можно прекрасно объяснить предположеніемъ, что солнце находится въ покоѣ, а земля описываетъ вокругъ него точно такую же орбиту, причемъ направленіе движенія остается прежнимъ. Это — второе движеніе, приписываемое Коперникомъ землѣ, хотя, по особенностямъ своего геометрическаго метода, онъ разрѣшаетъ его въ два движенія, съ однимъ изъ коихъ комбинируетъ новое небольшое движеніе, объясняющее прецессію [1]).

80. Итакъ, по концепціи Коперника, земля обращается вокругъ солнца въ плоскости эклиптики,

---

[1]) Коперникуи многимъ его современникамъ, такъ же, какъ и грекамъ, простѣйшей формой обращенія одного тѣла вокругъ другого представлялось такое движеніе, въ которомъ обращающееся тѣло перемѣщалось бы такъ, какъ если бы оно было прикрѣплено къ центральному тѣлу. Такъ, во второмъ движеніи ось земли предполагалась постоянно наклоненной къ линіи, соединяющей землю съ солнцемъ, и потому мѣняла свое направленіе въ пространствѣ. Дабы удержать ее приблизительно въ одномъ направленіи, оказалось необходимымъ прибавить третье движеніе.

поворачиваясь разъ въ сутки на оси, которая постоянно указываетъ на полюсы небесной сферы и потому сохраняетъ (если не считать прецессіи) опредѣленное положеніе въ пространствѣ.

Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что эти два движенія, приписываемыя землѣ, по своему характеру совершенно самостоятельны; каждое требуетъ особыхъ доказательствъ и объясняетъ особый рядъ явленій. Было вполнѣ возможно, съ одинаковымъ правомъ, вѣрить въ одно движеніе, не признавая другого, какъ и дѣлали нѣкоторые изъ астрономовъ XVI вѣка (гл. V, § 105).

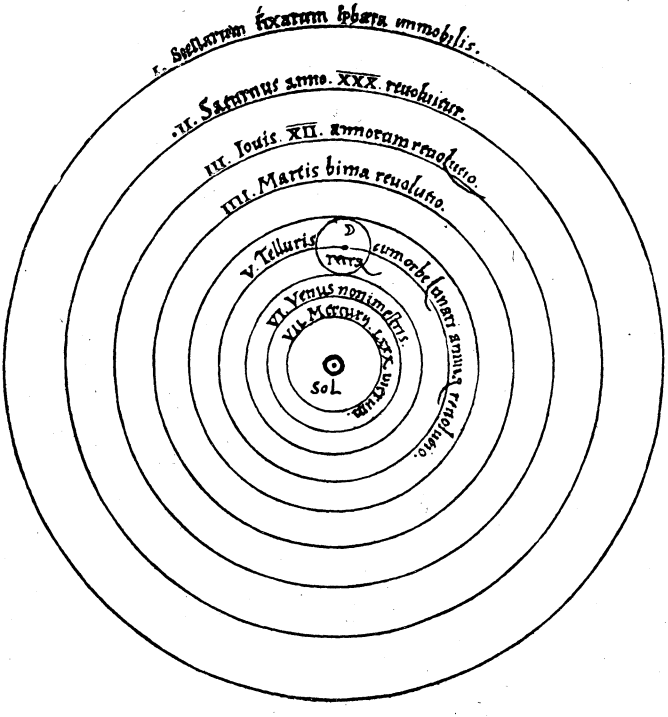
Приводя доводы въ пользу движенія земли, Коперникъ разбираетъ нѣкоторыя возраженія, выставленныя Птоломеемъ. На возраженіе, что если бы земля обладала быстрымъ движеніемъ, то она подвергалась бы риску разлетѣться въ куски, и воздухъ, какъ и всѣ свободные предметы на поверхности, оставался бы позади, онъ отвѣчаетъ, что если бы такое движеніе и представляло опасность твердой землѣ, то оно было бы еще опаснѣе для небесной сферы, которая, по причинѣ неизмѣримо-громадныхъ размѣровъ, должна двигаться несравненно быстрѣе земли при суточномъ обращеніи; онъ пускается также въ довольно темныя разсужденія насчетъ различія между «естественнымъ» и «искусственнымъ» движеніемъ, изъ коихъ первому приписывается способность не нарушать ничего, находящагося на землѣ.

Коперникъ показываетъ, что земля крайне мала по сравненію со сферой неподвижныхъ звѣздъ, такъ какъ гдѣ бы наблюдатель ни находился, горизонтъ повсюду видимымъ образомъ раздѣляетъ

небесную сферу на двѣ равныя части, и ему кажется, что онъ помѣщается въ центрѣ сферы, такъ что всѣ разстоянія, отмѣряемыя на земномъ шарѣ, ничтожны въ сравненіи съ разстояніемъ звѣздъ.

81. Далѣе онъ доказываетъ, что главная неправильность въ движеніи планетъ, благодаря которой онѣ движутся, понятно черезъ опредѣленные промежутки (гл. I, § 14, и гл. II, § 51), легко объясняется вообще движеніемъ земли и каждой планеты вокругъ солнца въ опредѣленный періодъ и на опредѣленномъ разстояніи. Изъ того, что Меркурій и Венера никогда не удаляются отъ солнца на большое разстояніе, можно заключить, что орбиты ихъ ближе къ солнцу, нежели земная, причемъ Меркурій находится въ наименьшемъ отъ солнца разстояніи, такъ какъ никогда не удаляется отъ него на разстояніе Венеры. Остальныя три планеты, иногда наблюдаемыя даже въ противостояніи съ солнцемъ, необходимо должны обращаться вокругъ него по орбитамъ, превосходящимъ размѣрами земную орбиту, что доказывается наибольшей яркостью ихъ во время противостояній (когда онѣ ближе всего къ землѣ). Порядокъ ихъ относительныхъ разстояній отъ солнца легко опредѣлить на основаніи неправильностей, производимыхъ въ ихъ кажущемся движеніи движеніемъ земли: Сатурнъ меньше всего страдаетъ отъ нихъ и потому онъ дальше всѣхъ отъ земли, за нимъ слѣдуетъ Юпитеръ, а затѣмъ Марсъ. Такимъ образомъ, земля стала одной изъ шести планетъ, обращающихся вокругъ солнца въ такомъ порядкѣ: Меркурій, Венера, Земля, Марсъ, Юпитеръ, Сатурнъ,— въ порядкѣ, согласующемся и со скоростями ихъ

движенія вокругъ солнца. Меркурій совершаетъ свое обращеніе быстрѣе всѣхъ (около 88 дней[1]), а Сатурнъ — медленнѣе всего (около 30 лѣтъ). По коперниковой системѣ только одна луна обращается



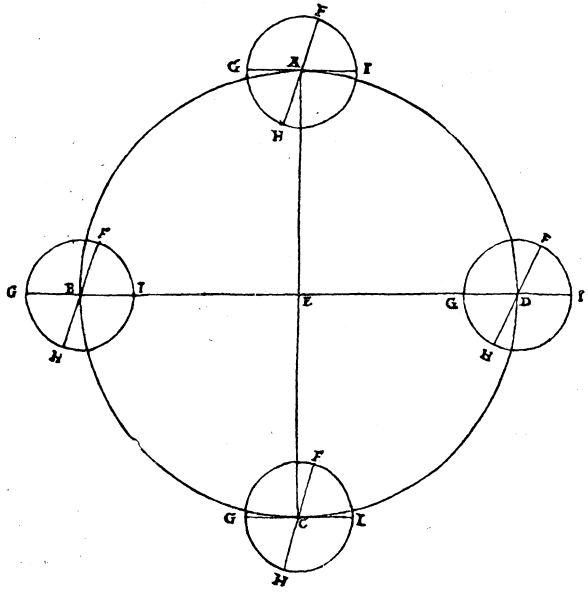
Фиг. 40. Солнечная система по Копернику.
Изъ *De Revolutionibus*.

вокругъ земли — единственное небесное тѣло, положеніе котораго не было измѣнено (Коперникомъ) существеннымъ образомъ. Итакъ, Коперникъ полу-

[1]) Въ этомъ предварительномъ разсужденіи, какъ на фиг. 40, Коперникъ даетъ 80 дней; но въ болѣе подробномъ изложеніи въ кн. V, онъ исправляетъ это число на 88 дней.

чилъ возможность составить діаграмму солнечной системы (фиг. 40), изображающую общій видъ построенія (хотя и не въ надлежащихъ пропорціяхъ частей) и различныхъ движеній.

82. Далѣе онъ подробно разсматриваетъ вліяніе годичнаго перемѣщенія земли на долготу дня и на



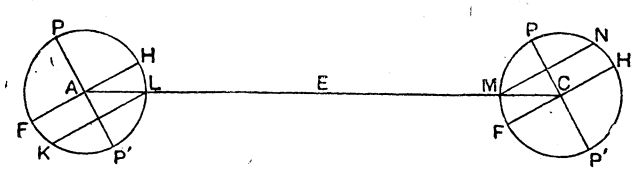
Фиг. 41. Коперниково объясненіе временъ года.
Изъ *De Revolutionibus*.

времена года, иллюстрируя свои разсужденія діаграммами, изъ коихъ нѣкоторыя мы здѣсь воспроизводимъ [1]).

На фиг. 41 A, B, C, D отмѣчаютъ центры земли въ четырехъ различныхъ положеніяхъ, занимаемыхъ

[1]) Фиг. 42 мы слегка видоизмѣнили, желая привести ее въ согласіе съ фиг. 41.

ею около 23 декабря, 21 марта, 22 іюня и 22 сентября по новому стилю (т.-е. въ началѣ четырехъ временъ года по астрономическому счисленію), кругъ FGHI въ каждомъ ея положеніи обозначаетъ земной экваторъ, т.-е. большой кругъ земного шара, плоскость котораго перпендикулярна къ земной оси и потому всегда параллельна небесному экватору. Кругъ этотъ не совпадаетъ съ плоскостью эклиптики, но наклоненъ къ ней подъ угломъ въ $23\frac{1}{2}^0$, такъ что F всегда нужно представлять себѣ подъ, а H надъ плоскостью бумаги (изображающей плоскость эклиптики); экваторъ пересѣкаетъ эклиптику



Фиг. 42. Коперниково объясненіе временъ года.
Изъ *De Revolutionibus.*

по GI. По примѣру всѣхъ астрономическихъ діаграммъ, данная діаграмма изображаетъ различные круги такъ, какъ мы видѣли бы ихъ съ сѣверной стороны экватора и эклиптики. Когда земля находится въ A, то сѣверный полюсъ (это яснѣе изображено на фиг. 42, гдѣ P_1P' обозначаютъ сѣверный и южный полюсы) отклоненъ отъ солнца E, находящагося внизу или къ югу отъ плоскости экватора, и потому обитатели сѣвернаго полушарія созерцаютъ его менѣе полусутокъ, тогда какъ жители южнаго полушарія наслаждаются солнечнымъ свѣтомъ болѣе половины сутокъ, а вблизи полюса P′ солнце стоитъ надъ горизонтомъ по цѣ-

лымъ суткамъ. Три мѣсяца спустя, когда центръ земли находится въ B (фиг. 41), солнце лежитъ въ плоскости экватора, земные полюсы не наклонены ни къ солнцу, ни отъ него, но направлены въ сторону, и по всей землѣ день и ночь одинаково длятся по 12 часовъ. Еще черезъ три мѣсяца, когда центръ земли находится въ C, солнце лежитъ выше плоскости экватора, и жители сѣвернаго полушарія видятъ солнце надъ своимъ горизонтомъ болѣе полусутокъ, въ южномъ — менѣе полусутокъ, а вблизи сѣвернаго полюса солнце наблюдается всѣ 24 часа подъ рядъ. Наконецъ, когда во время осенняго равноденствія земля достигаетъ точки D (фиг. 41), солнце снова находится въ плоскости экватора, и повсюду день равенъ ночи.

83. Первыя одиннадцать главъ первой книги Коперникъ посвящаетъ предварительному наброску своей системы; остальная часть этой книги заключаетъ въ себѣ нѣкоторыя математическія предложенія и таблицы, напечатанныя, какъ уже было упомянуто (§ 74), Ретикусомъ въ видѣ отдѣльнаго изданія. Во второй книгѣ излагаются, главнымъ образомъ, нѣкоторыя обычныя слѣдствія, относящіяся къ небесной сферѣ и ея кажущемуся суточному движенію; трактуются они такъ же, какъ и у прежнихъ писателей, но съ бо̀льшимъ математическимъ искусствомъ. Между прочимъ, Коперникъ приводитъ свое измѣреніе наклоненія эклиптики, и изъ сравненія съ древними наблюденіями заключаетъ, что наклоненіе ея уменьшилось, какъ оно и было на самомъ дѣлѣ, хотя и въ гораздо меньшей степени, чѣмъ показывали его несовершенныя наблюденія. Книга заканчивается звѣзднымъ катало-

гомъ; это, въ сущности, каталогъ Птоломея, мѣстами исправленный по новымъ наблюденіямъ и освобожденный отъ вліянія прецессіи[1]). Когда въ греческихъ и латинскихъ версіяхъ *Альмагеста* встрѣчались, по невѣжеству переписчиковъ или наборщиковъ, различныя данныя, то Коперникъ принималъ то одну, то другую версію, не пытаясь провѣрить на новыхъ наблюденіяхъ, которая изъ нихъ правильнѣе.

84. Третья книга начинается тщательнымъ разсмотрѣніемъ вопроса о предвареніи равноденствій (гл. II, § 42). Изъ сравненія результатовъ, полученныхъ Тимохарисомъ, позднѣйшими греческими астрономами и Альбатеніемъ, Коперникъ заключаетъ, что величина прецессіи измѣнчива, но что въ среднемъ она равна 50″,2 въ годъ (почти совсѣмъ точная величина), и принимаетъ неудачную выдумку Табита бенъ-Корры — трепидацію (гл. III, § 58). Изслѣдованіе данныхъ, употребленныхъ Коперникомъ, показываетъ, что виной этой повторной ошибки слѣдуетъ считать ошибочныя или подложныя наблюденія Птоломея (гл. II, § 50).

Гораздо больше интереса, нежели подробное разсмотрѣніе трепидаціи и геометрическихъ схемъ, изображающихъ ее, представляетъ для насъ объясненіе прецессіи, какъ результата движенія земной оси. Гиппархъ считалъ прецессію слѣдствіемъ перемѣщенія небеснаго экватора, причемъ наклоненіе

---

[1]) Вмѣсто того, чтобы отсчитывать долготы отъ первой точки Овна (или весенней равноденственной точки, гл. I, §§ 11, 13), перемѣщающейся благодаря прецессіи, онъ отсчитывалъ ихъ отъ неподвижной звѣзды (*α Arietis*), находящейся поблизости этой точки.

его къ эклиптикѣ чувствительно не измѣняется. По мысли Коперника, небесный экваторъ поставленъ былъ въ зависимость отъ земного экватора, а слѣдовательно, и отъ земной оси; дѣйствительно, экваторъ есть большой кругъ небесной сферы, всегда перпендикулярный къ оси, на которой вращается земля. Слѣдовательно, прецессія, по теоріи Коперника, возникаетъ отъ медленнаго движенія земной оси, наклоненной къ плоскости эклиптики подъ однимъ и тѣмъ же угломъ и возвращающейся въ первоначальное свое положеніе черезъ періодъ, около 26.000 лѣтъ (такъ какъ годичное перемѣщеніе на 50″2 равносильно перемѣщенію на 360°, или полную окружность за 26.000 лѣтъ); другими словами—земная ось обладаетъ медленнымъ коническимъ движеніемъ, причемъ центральная линія (или ось) конуса составляетъ прямой уголъ съ плоскостью эклиптики.

85. Разсмотрѣвши прецессію, Коперникъ посвящаетъ остальную часть третьей книги подробному разсмотрѣнію кажущагося годичнаго движенія солнца вокругъ земли, соотвѣтствующаго истинному годичному движенію земли вокругъ солнца. Геометрическая теорія *Альмагеста* могла быть немедленно приложена къ новой системѣ, и Коперникъ, подобно Птоломею, пользуется эксцентрикомъ. Онъ производитъ всѣ вычисленія заново, получаетъ новую и болѣе точную величину эксцентрицитета (около $\frac{1}{31}$, вмѣсто $\frac{1}{24}$), опредѣляетъ положеніе апогея и перигея (гл. II, § 39) или, скорѣе, равнозначущаго **афелія** и **перигелія** (т.-е. тѣхъ точекъ земной орбиты, въ которыхъ она бываетъ дальше и ближе всего къ солнцу), и, такимъ образомъ, подтверждаетъ открытое

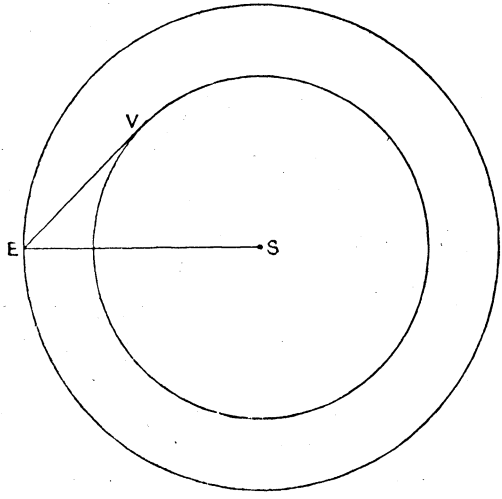
Альбатеніемъ (гл. II, § 59) перемѣщеніе линіи апсидъ. Далѣе онъ съ нѣкоторой подробностью разрабатываетъ теорію движенія земли и даетъ таблицы, по которымъ можно легко опредѣлить видимое положеніе солнца для любого даннаго момента.

Въ четвертой книгѣ трактуется теорія луны. Какъ мы уже замѣтили, луна была единственнымъ небеснымъ тѣломъ, положеніе котораго во вселенной Коперникъ не нарушилъ существеннымъ образомъ; на этомъ основаніи можно было бы ожидать, что традиціонная теорія ея потребовала лишь незначительныхъ измѣненій. Въ дѣйствительности, однако, едва ли есть другая область, въ которой Коперникъ больше старался бы уменьшить разногласія между теоріей и наблюденіями. Онъ отвергъ птоломеевъ эквантъ (гл. II, § 51) частью потому, что онъ производитъ неправильныя движенія, «неподобающія» небеснымъ тѣламъ, частью изъ болѣе существенныхъ соображеній, на которыя мы уже указывали (гл. II, § 48); по теоріи Птоломея, луна оказывалась въ нѣкоторые періоды вдвое бо̀льшихъ размѣровъ, чѣмъ въ другіе. При помощи эпицикловъ Копернику удалось объяснить главныя неправильности луннаго движенія, включая эвекцію, но безъ птоломеевскаго просневзиса (гл. II, § 48), или неравенства Адулъ-Вэфы (гл. III, § 60); между прочимъ, онъ установилъ измѣненія въ разстояніи луны, а слѣдовательно, и въ ея видимыхъ размѣрахъ, немногимъ превосходящія истину; при тѣхъ грубыхъ методахъ, какими онъ располагалъ, разница неощутима [1]).

[1]) По теоріи Коперника, діаметръ луны въ максимумѣ превосходитъ на $\frac{1}{8}$ среднюю свою величину; современныя наблюденія

86. Послѣднія двѣ книги (V и VI) цѣликомъ трактуютъ о движеніи планетъ.

Для Меркурія и Венеры птоломеево объясненіе можно безъ особаго труда приспособить къ идеямъ Коперника. Мы уже видѣли (гл. II, § 51), что если пренебречь мелкими неправильностями, то движеніе каждой изъ этихъ планетъ можно изобра-



Фиг. 43. Орбиты Венеры и земли.

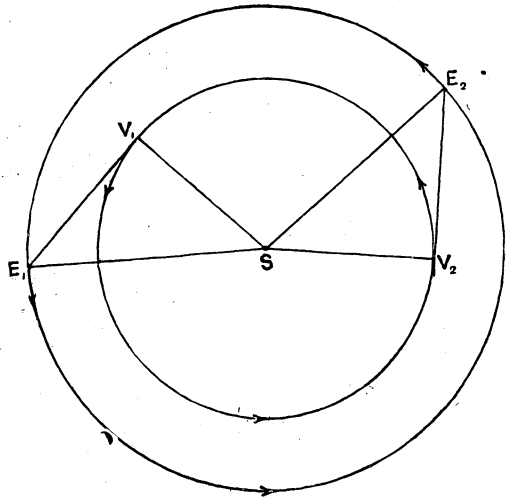
зить помощью эпицикла, движущагося по деференту, причемъ центръ эпицикла всегда лежитъ въ направленіи солнца, а отношеніе размѣровъ эпицикла къ деференту есть величина вполнѣ опредѣленная, между тѣмъ какъ дѣйствительные размѣры ихъ совершенно произвольны. Птоломей

даютъ $\frac{1}{13}$. Другими словами—діаметръ луны въ максимумѣ превышаетъ минимумъ, по Копернику, на 8′, по современнымъ же наблюденіямъ на—5′.

вообще предпочиталъ помѣщать эпициклы обѣихъ планетъ между землей и солнцемъ. Допустивши мысль о солнцѣ, какъ о центрѣ движенія, было вполнѣ естественно упростить систему и помѣстить центръ эпицикла не въ направленіи солнца, но въ самое солнце. Въ самомъ дѣлѣ, если бы данная планета обращалась вокругъ солнца и съ надлежащей скоростью, то видимые результаты получились бы точно такіе же, какъ и при птоломеевыхъ эпициклѣ и деферентѣ, такъ какъ орбита планеты вокругъ солнца заступила бы мѣсто эпицикла, а кажущаяся орбита солнца вокругъ земли (или орбита земли вокругъ солнца) замѣнила бы деферентъ.

Въ вопросѣ о времени обращенія планетъ нужно различать, какъ и для луны (гл. II, § 40), синодическій и сидерическій періоды обращенія. Венера, напримѣръ, наблюдается въ качествѣ вечерней звѣзды въ наибольшемъ угловомъ разстояніи отъ солнца (какъ въ V на фиг. 43), черезъ промежутки, приблизительно равные 584 днямъ. Значитъ, это — время, въ теченіе котораго Венера возвращается въ первоначальное положеніе относительно солнца, если наблюдать съ земли, или относительно земли, если смотрѣть съ солнца; этотъ промежутокъ называется **синодическимъ періодомъ**. Но такъ какъ за это время линія ES перемѣнила свое направленіе, то Венера не занимаетъ прежняго положенія относительно звѣздъ, будемъ ли мы наблюдать съ солнца, или съ земли — безразлично. Если Венера и земля находятся первоначально (фиг. 44) въ V′, E′, то спустя 584 дня (около года и семи мѣсяцевъ) земля совершитъ болѣе полутора обращеній вокругъ солнца и будетъ

находиться въ E_2; Венера, снова находясь въ наибольшемъ угловомъ разстояніи отъ солнца, займетъ положеніе V_2, но, очевидно, будетъ наблюдаема совершенно въ другой части неба и не совершитъ точнаго оборота вокругъ солнца. Необходимо знать, сколько времени требуется линіи SV_1 на возвращеніе къ первоначальному положенію, т. е. въ теченіе какого времени Венера возвращается въ первона-



Фиг. 44. Синодическій и сидерическій періоды Венеры.

чальное положеніе относительно звѣздъ, если смотрѣть съ солнца; этотъ промежутокъ времени извѣстенъ подъ названіемъ **сидерическаго періода.** Очевидно, его легко вычислить изъ имѣющихся данныхъ помощью простого тройного правила. Такъ какъ Венера въ 584 дня опередила землю на цѣлый оборотъ или прошла столько, сколько земля проходитъ въ 584+365, или въ 949 дней (ради простоты, здѣсь опущены дробныя части дня), то, зна-

читъ, Венера проходитъ въ $584 \times \frac{365}{949}$ дня столько же, сколько земля проходитъ въ 365 дней; другими словами—Венера совершаетъ свое обращеніе въ $584 \times \frac{365}{949}$ или 225 дней[1]). Таковъ сидерическій періодъ Венеры. Коперникъ пользовался этимъ методомъ нѣсколько иначе: онъ счелъ болѣе удобнымъ взять большой періодъ, благодаря чему уменьшились бы погрѣшности, проистекающія отъ мелкихъ неправильностей; онъ взялъ два наблюденія надъ Венерой, раздѣленныя значительнымъ промежуткомъ времени, приблизительно въ одинаковыхъ положеніяхъ относительно какъ звѣздъ, такъ и солнца; промежутокъ этотъ содержалъ почти круглое число какъ сидерическихъ, такъ и синодическихъ періодовъ. Раздѣливъ наблюденный промежутокъ времени на число сидерическихъ оборотовъ (число которыхъ, какъ выраженное круглой цифрой, легко было опредѣлить), онъ получилъ величину сидерическаго періода. Аналогичная процедура показала, что синодическій періодъ Меркурія равенъ 116 суткамъ, а сидерическій—88 суткамъ.

Величину орбитъ Венеры и Меркурія сравнительно съ земной можно было легко опредѣлить изъ наблюденій положенія каждой планеты въ моментъ наибольшаго удаленія ея отъ солнца. Венера, напримѣръ, въ моментъ наибольшаго удаленія сво-

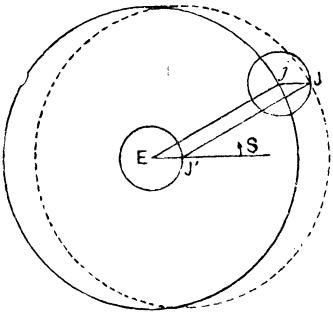
[1]) Здѣсь само собой напрашивается такое соотношеніе: если радіусъ-векторъ Венеры за періодъ въ 584 дня въ угловомъ перемѣщеніи подвинулся настолько же, насколько радіусъ-векторъ земли подвинулся за 949 дней, то, значитъ, и время полнаго оборота Венеры вокругъ солнца во столько разъ меньше 584, во сколько разъ время полнаго оборота земли (365 дней) меньше 949. Откуда время обращенія Венеры равно $\frac{584 \times 365}{949} = 225$.

Прим. переводч.

его отъ солнца находится въ точкѣ V_1 (фиг. 44), такъ что V_1E_1 касается круга, по которому движется Венера, а уголъ E_1V_1S (въ силу извѣстнаго свойства круга) равенъ прямому. Такъ какъ уголъ SE_1V_1 опредѣляется изъ наблюденія, то намъ извѣстна форма треугольника SE_1V_1, откуда легко вычислить отношеніе его сторонъ. Такимъ путемъ Коперникъ нашелъ, что среднее разстояніе Венеры отъ солнца равно 72, а Меркурія 36, если принять разстояніе земли за 100; современныя наблюденія даютъ цифры 72·3 и 38·7.

87. Что касается верхнихъ планетъ—Марса, Юпитера и Сатурна, то ихъ уже труднѣе предположить обращающимися около солнца, такъ какъ въ данномъ случаѣ центръ эпицикла не всегда лежитъ въ направленіи солнца, но можетъ находиться въ любомъ мѣстѣ эклиптики. Въ движеніи верхнихъ планетъ есть, однако, одна особенность, сразу наводящая на мысль объ обращеніи ихъ вокругъ солнца; должно быть, Птоломей ее проглядѣлъ или не придалъ ей большого значенія. Возможно, что это была одна изъ путеводныхъ нитей, приведшихъ Коперника къ его системѣ. Особенность эта заключается въ томъ, что (фиг. 45) радіусъ эпицикла планеты, jJ, всегда параллеленъ линіи ES, соединяющей землю и солнце, вслѣдствіе чего онъ совершаетъ полный оборотъ въ теченіе года. Эта связь между движеніемъ планеты и солнца не получала никакого объясненія въ теоріи Птоломея. Если мы проведемъ EJ′ параллельно jJ и отложимъ часть, равную ей по длинѣ, то легко убѣдимся, что J′J равно и параллельно Ej, и что въ силу этого J описываетъ вокругъ J′ такой же точно кругъ, какъ

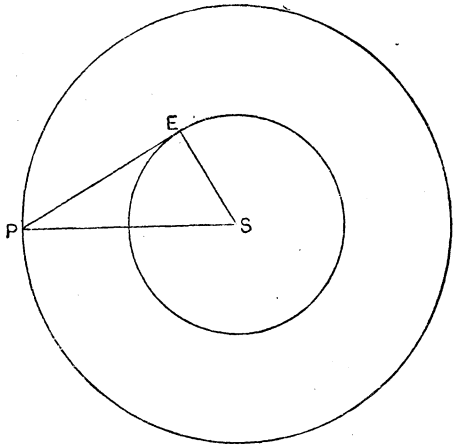
и j вокругъ E. Значитъ, движеніе планеты можно съ такимъ же успѣхомъ объяснить движеніемъ ея по эпициклу (отмѣченному на рисункѣ большимъ пунктирнымъ кругомъ), центръ котораго J′, а радіусъ J′J, тогда какъ центръ эпицикла, постоянно лежащій въ направленіи солнца, описываетъ деферентъ (изображенный небольшимъ кружкомъ около E), въ центрѣ котораго находится земля. Благодаря такому методу объясненія, движеніе верхней планеты ничѣмъ не отличается отъ движенія нижней планеты, кромѣ того, развѣ, что въ данномъ случаѣ эпициклъ больше деферента; разсужденіе, аналогичное предыдущему, показываетъ, что движеніе это можно объяснить еще проще, предположивъ солнце находящимся въ центрѣ эпицикла. Такимъ образомъ, можно, не измѣняя положенія планеты на небѣ, замѣнить птоломеевъ эпициклъ и деферентъ круговымъ движеніемъ планеты вокругъ солнца, въ то время, какъ оно движется вокругъ земли или, еще проще, земля движется вокругъ солнца.



Фиг. 45. Эпициклъ Юпитера.

Синодическій періодъ верхней планеты лучше всего опредѣляется изъ наблюденій планеты въ моменты противостояній, когда долгота ея и солнца отличаются на 180° (или на два прямыхъ угла, гл. II, § 43). Сидерическій періодъ можно тогда опредѣлить приблизительно такимъ же путемъ, какъ

и для нижней планеты, съ той лишь разницей, что верхняя планета движется медленнѣе земли, и потому теряетъ полный оборотъ въ каждый синодическій періодъ; или же сидерическій періодъ можно опредѣлить по предыдущему изъ наблюденія противостояній, случающихся въ одной и той же части неба [1]). Коперникъ получилъ такимъ путемъ



Фиг. 46. Относительные размѣры орбитъ земли и верхней планеты.

довольно точныя данныя для синодическаго и сидерическаго періодовъ, именно: 780 (синод.) и 687 (сидер.) дней для Марса, 399 дней и около 12 лѣтъ для Юпитера, 378 дней и 30 лѣтъ для Сатурна (фиг. 40).

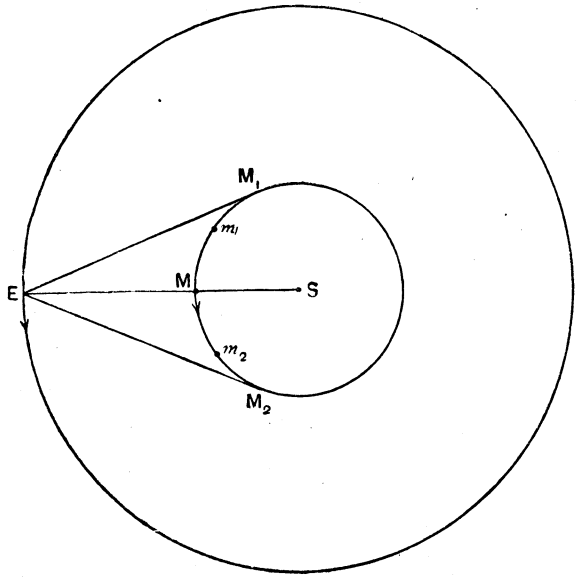
---

[1]) Если P выражаетъ синодическій періодъ планеты (въ годахъ), а S — сидерическій, то мы имѣемъ $\frac{1}{P} + 1 = \frac{1}{S}$ для нижней планеты и $1 - \frac{1}{P} = \frac{1}{S}$ для верхней.

Вычислить разстояніе отъ солнца для верхней планеты — вещь гораздо болѣе сложная, чѣмъ вычисленіе его для Меркурія и Венеры. Если пренебречь деталями, то процедура, помощью которой Коперникъ опредѣлялъ его, сводится къ слѣдующему: онъ вычислялъ положеніе планеты, какъ если бы наблюдалъ ее съ солнца, и затѣмъ замѣчалъ моментъ, когда это положеніе сильнѣе всего разнится съ положеніемъ, наблюдаемымъ съ земли, другими словами — когда земля и солнце сильнѣе всего разнятся въ положеніяхъ, если наблюдать ихъ съ планеты. Это яснѣе всего видно, когда (фиг. 46) линія, соединяющая планету съ землей (PE), касается круга, описываемаго землей, такъ что уголъ SPE въ этомъ случаѣ достигаетъ предѣльной своей величины. Уголъ PES равенъ прямому, а уголъ SPE выражаетъ разницу между наблюдаемымъ положеніемъ планеты и вычисленнымъ направленіемъ ея съ солнца; зная эти два угла, мы знаемъ и форму треугольника SPE, а, слѣдовательно, и отношеніе его сторонъ. Такимъ путемъ Коперникъ нашелъ, что среднія разстоянія Марса, Юпитера и Сатурна отъ солнца равны приблизительно $1\frac{1}{2}$, 5 и 9 разстояніямъ земли; современныя измѣренія даютъ такія цифры: 1,5; 5,2; 9,5.

88. Идеи Коперника значительно упростили объясненіе точекъ стоянія планетъ (гл. I, § 14). Возьмемъ какую-нибудь планету, напримѣръ, Меркурій (фиг. 47); когда онъ находится между землей и солнцемъ, какъ въ M (или какъ въ положеніи сент. 5 на фиг. 7), то и земля, и Меркурій движутся въ одномъ направленіи, но сравненіе величины орбитъ Меркурія и земли и періодовъ полнаго обращенія

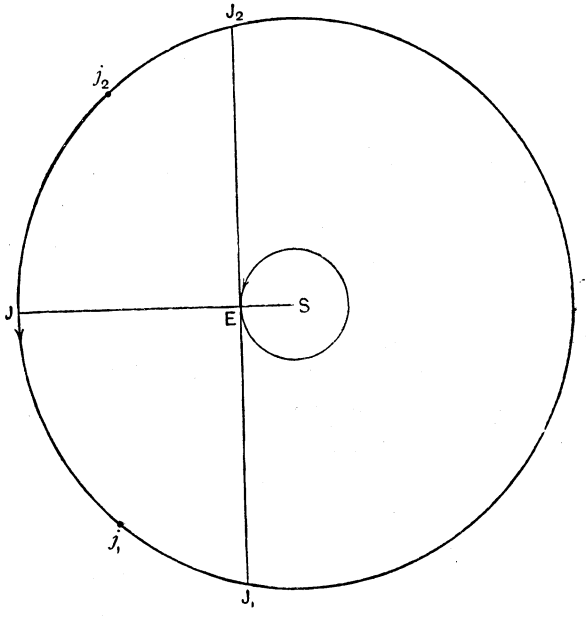
показываетъ, что Меркурій движется быстрѣе земли. Слѣдовательно, наблюдателю, помѣщенному въ E, Меркурій покажется движущимся слѣва направо (на рисункѣ) или съ востока на западъ; но такъ какъ это направленіе, противоположное обычному движенію планетъ, то Меркурій кажется отступаю-



Фиг. 47. Стаціонарныя точки Меркурія.

щимъ назадъ. Съ другой стороны, когда Меркурій наблюдается въ наибольшемъ удаленіи отъ солнца, въ M_1 и M_2, то движеніе его направлено прямо къ землѣ или отъ земли, и потому неощутимо; но земля движется вправо отъ наблюдателя, и потому Меркурій кажется перемѣщающимся влѣво, или съ запада на востокъ. Значитъ, между M_1 и M движеніе его стало изъ прямого попятнымъ; а поэтому

въ нѣкоторой промежуточной точкѣ, скажемъ m_1 (около 23 авг. на фиг. 7), Меркурій кажется остановившимся на непродолжительное время; то же случается съ нимъ и вторично въ нѣкоторой точкѣ m_2, между M и M_2 (около 13 сент. на фиг. 7).



Фиг. 48. Стаціонарныя точки Юпитера.

Для верхней планеты, напримѣръ, Юпитера, аргументація остается почти та же самая. Въ противостояніи J (26 марта на фиг. 6) Юпитеръ движется медленнѣе земли, и въ одномъ съ нею направленіи такъ что кажется движущимся съ земли (изъ E фиг. 48) слѣва направо, или съ востока на западъ т.-е. попятнымъ движеніемъ. Но когда Юпитеръ занимаетъ одно изъ положеній J_1 или J (въ кото-

рыхъ земля представляется наблюдателю съ Юпитера въ наибольшемъ удаленіи отъ солнца), движеніе земли направлено прямо къ Юпитеру или отъ него и потому не оказываетъ вліянія на кажущееся движеніе Юпитера (такъ какъ всякое перемѣщеніе по линіи зрѣнія не измѣняетъ положенія объекта на небесной сферѣ); но самъ Юпитеръ перемѣщается влѣво и потому кажется движущимся справа налѣво, или отъ запада къ востоку. Какъ и въ предыдущемъ случаѣ, мы найдемъ между J_1 и J, и J и J_2 точки j_1 и j_2 (янв. 24 и мая 27 на фиг. 6), въ которыхъ Юпитеръ кажется нѣкоторое время стоящимъ на мѣстѣ.

Въ изложеніи Коперника объясненіе стаціонарныхъ точекъ гораздо пространнѣе, разработаннѣе и болѣе научно, чѣмъ въ нашемъ краткомъ очеркѣ; онъ не только показываетъ, что стаціонарныя точки должны существовать, но и указываетъ, какъ вычислить ихъ истинныя положенія.

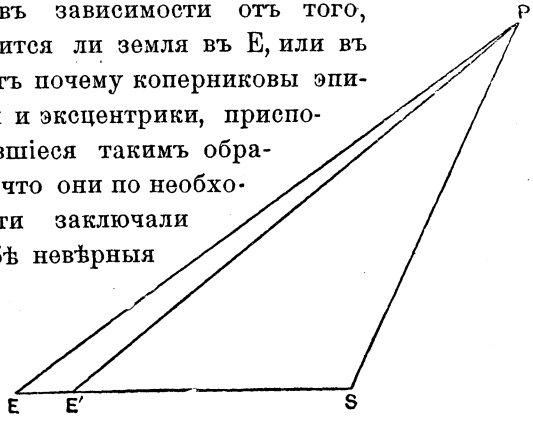
89. До сихъ поръ мы рисовали планетную теорію лишь грубыми штрихами, желая оттѣнить существенныя различія между коперниковымъ и птоломеевымъ объясненіями ихъ движеній, и совершенно не касались ни мелкихъ неправильностей, для объясненія которыхъ Птоломей изобрѣлъ свою систему эквантовъ, эксцентриковъ и т. д., ни движенія по широтѣ, т.-е. приближенія или удаленія отъ эклиптики. Какъ мы уже упоминали, Коперникъ отвергъ эквантъ, производившій неправильность, «недостойную» небесныхъ тѣлъ, и построилъ для каждой планеты весьма сложную систему эпицикловъ. Для объясненія движенія по широтѣ, разсматриваемаго въ книгѣ IV, онъ предположилъ, что

орбита каждой планеты наклонена къ эклиптикѣ подъ незначительнымъ угломъ, различнымъ для каждой планеты, но для полнаго согласованія своей теоріи съ наблюденіемъ счелъ необходимымъ ввести совершенно произвольное усложненіе — въ видѣ правильнаго возрастанія и уменьшенія наклоненія планетныхъ орбитъ къ эклиптикѣ.

Подробное разсмотрѣніе эпицикловъ, которыми онъ пользовался, не представляетъ для насъ большого интереса, но любопытно замѣтить, что для движеній луны, земли и пяти другихъ планетъ Копернику потребовалось 34 круга — четыре для луны, три для земли, семь для Меркурія (движенія котораго особенно неправильны) и по пяти для каждой изъ остальныхъ планетъ; число это гораздо меньше тѣхъ, какія встрѣчались во многихъ версіяхъ птоломеевой системы: Фракасторъ, напримѣръ (гл. III, § 69), писавшій въ 1538 году, признавалъ необходимымъ существованіе 79 сферъ, изъ коихъ шесть предназначалось для звѣздъ.

90. Планетная теорія Коперника по необходимости страдала однимъ изъ существенныхъ недостатковъ системы эпицикловъ. Въ самомъ дѣлѣ, всегда возможно подобрать такую систему эпицикловъ, чтобы или направленіе тѣла, или его разстояніе измѣнялись въ требуемой степени, но невозможно согласовать ихъ одновременно. При движеніи луны вокругъ земли или земли вокругъ солнца (случаи, въ которыхъ измѣнчивость разстоянія не сразу замѣтна) отъ эпицикловъ можно было бы ожидать удовлетворительныхъ результатовъ, — во всякомъ случаѣ, до тѣхъ поръ, пока методы наблюденій не улучшились бы настолько, что удалось бы съ нѣ-

которой точностью измѣрять кажущуюся величину солнца и луны и такимъ образомъ контролировать измѣненія разстояній. Но всякое измѣненіе въ разстояніи земли отъ солнца вліяетъ не только на разстояніе, но и на направленіе, въ которомъ мы видимъ планету; на фиг. 49, напримѣръ, когда планета находится въ P, а солнце—въ S, то кажущееся положеніе планеты съ земли будетъ различное, въ зависимости отъ того, находится ли земля въ E, или въ E′. Вотъ почему коперниковы эпициклы и эксцентрики, приспособлявшіеся такимъ образомъ, что они по необходимости заключали въ себѣ невѣрныя



Фиг. 49. Измѣненіе кажущагося положенія планеты въ зависимости отъ разстоянія земли отъ солнца.

данныя для разстоянія между солнцемъ и землей, дали начало соотвѣтствующимъ ошибкамъ въ наблюденныхъ положеніяхъ планетъ. Наблюденія Коперника врядъ ли были настолько обширны и точны, чтобы ясно обнаружить это разногласіе; но при послѣдующихъ наблюденіяхъ планетъ можно было уже рѣшать, какой схемой удобнѣе воспользоваться для объясненія планетныхъ движеній — эпициклической или какой-либо другой.

91. Заслуги Коперника такъ велики, а роль, сыгранная имъ въ низверженіи птоломеевой си-

стемы, такъ замѣтна, что мы иногда склонны забывать, что онъ былъ далекъ отъ непризнанія греческихъ эпицикловъ и эксцентриковъ, самъ пользовался этими геометрическими схемами и былъ даже болѣе правовѣрнымъ «эпициклистомъ», чѣмъ самъ Птоломей, такъ какъ отвергъ экванты этого послѣдняго[1]). Знаменитое мильтоново описаніе (*Потерянный Рай*, VIII, 82—5)

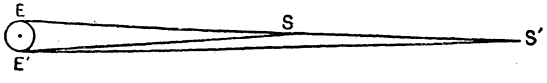
«Сфера,
Съ центральнымъ кругомъ и эксцентрикомъ,
Циклъ съ эпицикломъ, въ шарѣ шаръ»...

прилагается съ полнымъ правомъ какъ къ астрономіи Коперника, такъ и къ астрономіи его предшественниковъ; уничтоженіемъ же эпицикловъ и эксцентриковъ мы обязаны не Копернику, а Кеплеру (гл. VII), писавшему болѣе полвѣка спустя.

92. Одинъ пунктъ, имѣвшій важное значеніе въ послѣдующихъ событіяхъ, заслуживаетъ здѣсь особаго упоминанія. Основаніе коперниковой системы заключалось въ томъ, что движеніе земли, увлекающей съ собой наблюдателя, производитъ кажущееся движеніе остальныхъ тѣлъ. Такимъ образомъ, видимыя движенія солнца и планетъ оказались въ значительной степени результатомъ собственнаго движенія земли вокругъ солнца. Аналогичное разсужденіе должно, повидимому, привести насъ къ выводу, что и неподвижныя звѣзды обнаруживаютъ

[1]) Позднѣйшіе біографы указываютъ на зачеркнутое мѣсто въ рукописи *De Revolutionibus*, въ которомъ Коперникъ показываетъ, что изъ комбинаціи круговыхъ движеній можно получить эллипсъ. Это, однако, чисто-математическое предложеніе и не имѣетъ никакого отношенія къ движеніямъ планетъ вокругъ солнца. Его, во всякомъ случаѣ, нельзя считать предвосхищеніемъ идей Кеплера (гл. VII).

нѣчто вродѣ годичнаго движенія. Дѣйствительно, должно существовать перемѣщеніе кажущагося положенія звѣзды, благодаря движенію земли по орбитѣ,—перемѣщеніе, подобное тому, какое испытываетъ луна при перемѣнѣ мѣста наблюдателя на поверхности земли, и давно изучавшееся подъ названіемъ параллакса (гл. II, § 43). Такъ какъ такое перемѣщеніе никогда не наблюдалось, то Коперникъ устранялъ кажущееся противорѣчіе предположеніемъ, что оно незамѣтно по причинѣ чрезвычайно громаднаго разстоянія звѣздъ. Если, напримѣръ, земля переходитъ въ теченіе шести



Фиг. 50. Звѣздный параллаксъ.

мѣсяцевъ изъ E въ E′, то перемѣна въ положеніи звѣзды S′ выражается угломъ E′S′E, который меньше угла у болѣе близкой звѣзды S; предположивъ звѣзду S′ достаточно удаленной, мы можемъ получить для угла E′S′E какую угодно малую величину. Напримѣръ, если разстояніе звѣзды въ 300 разъ больше EE′, т.-е. въ 600 разъ превосходитъ разстояніе земли отъ солнца, то уголъ ES′E′ окажется меньше 12′—величина, для инструментовъ того времени едва ощутимая [1]). Но болѣе точныя наблюденія надъ неподвижными звѣздами могли пролить свѣтъ на этотъ вопросъ.

[1]) Нужно замѣтить, что дифференціальный методъ параллакса (гл. VI, § 129), помощью котораго могла бы быть замѣчена такая величина, какъ 12′, не примѣнялся благодаря убѣжденію, раздѣлявшемуся и Коперникомъ, что всѣ звѣзды находятся на одинаковомъ разстояніи отъ насъ.

ГЛАВА V.

Признаніе коперниковой теоріи и успѣхи наблюденія.

«Превратные умы, которымъ трудно плавать
По глади нашего обыденнаго моря;
И таковы, по моему сужденью,
Ученые, что думаютъ—какъ глупо!—
Что небо будто вовсе не вертится,
Не пляшутъ звѣзды вкругъ земного шара,
Но шаръ земной своей тяжелой массой
Вращается разъ въ сутки на оси».

Дю-Бартасъ.

93. Появленіе *De Revolutionibus* встрѣчено было, повидимому, съ гораздо большимъ спокойствіемъ, чѣмъ можно было ожидать, судя по зажигательному содержанію книги. Впрочемъ, книга была такъ написана, что ее могли понять лишь математики, обладавшіе значительными знаніями и проницательностью, а читать ее было очень трудно. Кромѣ того, предисловіе, добавленное Озіандеромъ, но обыкновенно приписываемое самому автору, въ значительной степени, надо думать, обезоружило враждебное настроеніе, порожденное предразсудками и обычаемъ; въ немъ основные принципы Коперника выдавались за геометрическія абстракціи, только удобныя для вычисленія небесныхъ движеній. Хотя, какъ мы видѣли (гл. IV, § 73), противорѣчіе между мнѣніями Коперника и традиціоннымъ толкованіемъ различныхъ библейскихъ

текстовъ было сразу замѣчено Лютеромъ, Меланхтономъ и другими, однако, ни папа, которому была посвящена книга, ни его ближайшіе преемники не возстали противъ нея.

О томъ, какъ ревностно защищалъ коперниковы взгляды Ретикусъ, мы уже говорили. Послѣ него единственнымъ виднымъ астрономомъ, сразу усвоившимъ новые взгляды, былъ его другъ и товарищъ *Эразмъ Рейнгольдъ* (родился въ Заальфельдѣ въ 1511 г.), занимавшій главную каѳедру математики и астрономіи въ Виттенбергѣ съ 1536 по 1553 г., и, такимъ образомъ, случилось, по любопытному стеченію обстоятельствъ, что доктрины, столь ревностно осужденныя двумя великими вождями протестантизма, провозглашены были преимущественно въ городѣ, считавшемся центромъ протестантской мысли.

94. Послѣ изданія *Narratio Prima* и Эфемеридъ, или календаря, основаннаго на принципахъ Коперника (1550), Ретикусъ занимался преимущественно вычисленіемъ обширнаго ряда математическихъ таблицъ, которыя успѣлъ окончить только передъ смертью, въ 1576 году.

Рейнгольдъ оказалъ астрономіи чрезвычайно важную услугу тѣмъ, что вычислилъ, на основаніи *De Revolutionibus,* таблицы движеній небесныхъ тѣлъ, которыя издалъ въ 1551 году на счетъ герцога Альберта Прусскаго, и назвалъ, поэтому, *Tabulae Prutenicae* или *Прусскими таблицами.* Рейнгольдъ провѣрилъ большую часть вычисленій Коперника, временами дѣлавшаго ариѳметическія ошибки; но главной цѣлью, которую онъ преслѣдовалъ при составленіи таблицъ, была детальная

разработка принциповъ *De Revolutionibus,* благодаря которой можно было бы во всякое время легко найти мѣста главнѣйшихъ небесныхъ тѣлъ. Авторъ объявляетъ, что помощью его таблицъ можно вычислить мѣста всѣхъ небесныхъ тѣлъ за 3000 лѣтъ назадъ и что вычисленныя положенія будутъ согласоваться со всѣми наблюденіями, производившимися въ теченіе этого періода. Дѣйствительно, таблицы эти въ общемъ оказались несравненно выше *Альфонсинскихъ* (гл. III, § 66), онѣ постепенно завоевывали себѣ все бо́льшую популярность и распространеніе, пока не были отодвинуты, спустя три четверти вѣка, на задній планъ *Рудольфинскими таблицами* Кеплера (гл. VII, § 148). Превосходство новыхъ прусскихъ таблицъ было лишь косвеннымъ образомъ связано съ различіемъ принциповъ, на которыхъ прежнія и новыя таблицы были построены, и, главнымъ образомъ, зависѣло отъ того обстоятельства, что Рейнгольдъ былъ гораздо болѣе искусный вычислитель, чѣмъ помощники Альфонса, и что Коперникъ, если и не превосходилъ Птоломея, какъ математикъ, то, во всякомъ случаѣ, имѣлъ въ своемъ распоряженіи лучшія математическія орудія. Тѣмъ не менѣе, таблицы въ значительной мѣрѣ способствовали постепенному признанію въ астрономическомъ мірѣ заслугъ коперниковой системы и, во всякомъ случаѣ, послужили основаніемъ для вычисленія положеній небесныхъ тѣлъ.

Къ несчастью, въ 1553 году Рейнгольда внезапно сразила чума, а съ нимъ вмѣстѣ исчезъ комментарій на *De Revolutionibus,* который онъ приготовилъ къ печати, но не успѣлъ издать.

95. Вскорѣ послѣ того мы замѣчаемъ первые слѣды проникновенія коперниковой системы въ Англію. Въ 1556 году *Джонъ Фильдъ* напечаталъ календарь на будущій годъ, составленный подъ явнымъ вліяніемъ Коперника и Рейнгольда, а одно мѣсто въ сочиненіи *Whetstone of Witte* (1557) *Роберта Рекорда* (1510—1558), перваго англійскаго писателя по алгебрѣ, показываетъ, что авторъ благосклонно относился къ доктринамъ Коперника, если только не вполнѣ вѣрилъ въ нихъ. Нѣсколько лѣтъ спустя *Томасъ Диггсъ* (?—1595), въ незначительномъ астрономическомъ трактатѣ, *Alae sive Scalae Mathematicae,* горячо расхваливаетъ Коперника и его идеи.

96. Послѣ смерти Рейнгольда, въ теченіе почти полстолѣтія не сдѣлано было ни одного мало-мальски крупнаго усилія въ защиту коперниковой теоріи. Несомнѣнно, что рейнгольдовы таблицы, хотя и медленно, но вѣрно дѣлали свое дѣло распространенія въ умахъ новыхъ идей, но для того, чтобы очевидность ихъ была доказана рѣшительнымъ и неотразимымъ образомъ, необходимо было расширить въ опредѣленной степени область положительнаго знанія.

Серьезныя механическія затрудненія въ признаніи за землей быстраго движенія, незамѣтнаго для ея обитателей, могли встрѣтиться только позднѣе, при извѣстномъ прогрессѣ механики, въ особенности при изученіи законовъ, по которымъ возникаетъ, поддерживается, измѣняется или уничтожается движеніе тѣлъ; а въ этомъ отношеніи не замѣчается значительнаго прогресса вплоть до Галилея, труды котораго приходятся, главнымъ образомъ, на первую четверть XVII вѣка (гл. VI, §§ 116, 130, 133).

Возраженіе, что звѣзды не обнаруживаютъ кажущагося годичнаго перемѣщенія, какое должно бы существовать, благодаря движенію земли (гл. IV, § 92), могло бы также получить объясненіе или усилиться въ зависимости отъ того, обнаружили бы усовершенствованные методы наблюденія такое перемѣщеніе, или нѣтъ.

Кромѣ того, *Прусскія таблицы,* хотя и болѣе точныя, нежели *Альфонсинскія,* врядъ ли могли претендовать на совершенную точность, и, разумѣется, на дѣлѣ не обладали ею. Коперникъ однажды говорилъ Ретикусу, что былъ бы весьма доволенъ, если бы ему удалось согласовать свою теорію съ наблюденіями въ предѣлахъ 10′; въ дѣйствительности же, время отъ времени, замѣчались гораздо болѣе серьезныя разногласія. Сравнительная малочисленность пригодныхъ наблюденій и крайняя неточность ихъ дѣлали чрезвычайно затруднительнымъ какъ нахожденіе удовлетворительныхъ числовыхъ данныхъ, необходимыхъ для детальной разработки теоріи, такъ и надлежащее подтвержденіе ея путемъ сравненія вычисленныхъ положеній небесныхъ тѣлъ съ наблюденными. Большинству астрономовъ ясно было, что одной изъ настоятельнѣйшихъ потребностей является организація наблюденій въ возможно болѣе широкихъ размѣрахъ и съ возможно большей точностью. Этой потребности отвѣтили двѣ школы наблюдательной астрономіи, весьма неравнаго достоинства, возникшія во второй половинѣ XVI вѣка и накопившія массу матеріаловъ въ наслѣдіе грядущимъ поколѣніямъ. Къ счастью, тотъ же періодъ былъ отмѣченъ быстрымъ прогрессомъ алгебры и родственныхъ отдѣ-

ловъ математики. Изъ трехъ великихъ изобрѣтеній, неимовѣрно облегчившихъ числовыя операціи, одно, такъ-называемая арабская нумерація (гл. III, § 64), было уже извѣстно въ это время, а два другихъ (десятичныя дроби и логариѳмы) были задуманы въ XVI вѣкѣ и находились въ дѣйствіи уже въ началѣ XVII вѣка.

97. Первый рядъ цѣнныхъ наблюденій послѣ смерти Регіомонтана и Вальтера (гл. III, § 68) предпринятъ былъ энергичнымъ ландграфомъ *Вильгельмомъ IV* Гессенъ-Кассельскимъ (1532—1592). Онъ еще въ дѣтствѣ отличался любовью къ наукамъ, а интересъ къ астрономіи получилъ, по разсказамъ, въ возрастѣ 20 лѣтъ при изученіи прекрасной Апіановой *Astronomicum Caesareum*, картонныя модели которой онъ приказалъ изготовить изъ металла. Онъ серьезно занялся наукой и въ 1561 году построилъ въ Касселѣ обсерваторію, замѣчательную тѣмъ, что на ней впервые сооружена была вращающаяся крыша—приспособленіе, встрѣчающееся почти на всѣхъ современныхъ обсерваторіяхъ. Въ теченіе шести послѣдующихъ лѣтъ онъ производилъ на ней обширныя наблюденія (преимущественно надъ неподвижными звѣздами). Затѣмъ смерть отца заставила его устремить большую часть своихъ силъ и вниманія на заботы государственнаго правленія, и астрономическое рвеніе его ослабѣло. Однако, спустя нѣсколько лѣтъ (1575), послѣ короткаго посѣщенія талантливаго и пылкаго молодого датскаго астронома Тихо Браге (§ 99), онъ возобновилъ свои занятія астрономіей, а вскорѣ послѣ того пріобрѣлъ въ помощники двухъ чрезвычайно искусныхъ наблюдателей, *Христіана Рот-*

мана (въ 1577) и *Іоста Бюрги* (въ 1579). Ротманъ, о жизни котораго мы знаемъ очень мало, былъ, повидимому, весьма знающій математикъ и астрономъ-теоретикъ; ему принадлежатъ нѣкоторыя улучшенія въ методахъ рѣшенія различныхъ астрономическихъ задачъ. Вначалѣ онъ былъ коперниканцемъ, но затѣмъ обнаружилъ большую самостоятельность, указавъ на ненужное усложненіе, внесенное Коперникомъ, разрѣшившимъ движеніе земли въ три движенія, въ то время какъ достаточно было двухъ (гл. IV, § 79). Его вѣра въ эту систему впослѣдствіи сильно пошатнулась, благодаря ошибкамъ, обнаруженнымъ при помощи наблюденія въ *Прусскихъ таблицахъ*. Бюрги (1552—1632) первоначально приглашенъ былъ ландграфомъ въ качествѣ часовщика, но очень скоро обратилъ свои замѣчательные механическіе таланты на астрономическія цѣли; повидимому, онъ обладалъ также недюжинными математическими способностями [1]).

98. Главной цѣлью трудовъ Кассельской обсерваторіи было составленіе звѣзднаго каталога. Положенія звѣздъ сравнивались съ положеніями солнца, Венеры или Юпитера, служившихъ соединительными звеньями, и затѣмъ выводили ихъ положенія относительно экватора и первой точки Овна (γ); при этомъ вносились поправки на атмосферное преломленіе свѣта и на солнечный параллаксъ, но наиболѣе замѣчательнымъ нововведеніемъ были часы, по которымъ отмѣчалось время наблюденія и измѣ-

---

[1]) Можно безъ колебаній признать, что онъ независимо отъ Нэпира изобрѣлъ логариѳмы, но, благодаря присущей ему нерѣшительности или нежеланію обнародовать свои открытія, это изобрѣтеніе умерло съ нимъ.

рялось движеніе небесной сферы. Постройка часовъ достаточной точности для требуемой цѣли удалась благодаря механическому генію Бюрги, и, въ частности, его открытію, что часы можно регулировать маятникомъ — открытіе, которое онъ, повидимому, не пытался обнародовать и которое, поэтому, пришлось самостоятельно заново открывать, прежде чѣмъ оно получило всеобщее признаніе [1]). Къ 1586 году зарегистрована была самымъ тщательнымъ образомъ 121 звѣзда, но болѣе полный каталогъ, въ который должно было войти свыше тысячи звѣздъ, такъ и не былъ оконченъ, благодаря неожиданному уходу Ротмана въ 1590 году [2]) и смерти ландграфа, послѣдовавшей двумя годами позже.

99. Однако, таланты *Тихо Браге,* работавшаго приблизительно въ ту же эпоху, въ скоромъ времени совершенно затмили труды Кассельской обсерваторіи. Онъ родился въ 1546 году въ Кнудструпѣ, въ датской провинціи Сканіи (теперь южная оконечность Швеціи), старшимъ сыномъ дворянина, впослѣдствіи назначеннаго губернаторомъ Гельсингборгъ-Кастля. Онъ былъ усыновленъ своимъ дядей и воспитывался въ его деревенскомъ помѣстьи. На тринадцатомъ году онъ уже поступилъ въ Копенгагенскій университетъ, гдѣ изучалъ реторику и философію, мечтая о политической карьерѣ. Въ 1560 году онъ чрезвычайно заинтересовался частнымъ солнечнымъ затменіемъ, и это обстоя-

---

[1]) Такое открытіе было въ самомъ дѣлѣ сдѣлано дважды, Галилеемъ (гл. VI, § 114) и Гюйгенсомъ (гл. VIII, § 157).

[2]) Онъ получилъ отпускъ, чтобы отдать визитъ Тихо Браге, но уже не вернулся больше въ Кассель. Умеръ онъ, вѣроятно, между 1599 и 1608 годами.

тельство, въ связи съ интересомъ къ астрологическому искусству составленія гороскоповъ, заставило его посвятить большую часть двухлѣтняго промежутка, который ему оставалось прожить въ Копенгагенѣ, математикѣ и астрономіи. Въ 1562 году онъ отправился въ Лейпцигскій университетъ, по обычаю того времени, въ сопровожденіи воспитателя, повидимому, настойчиво, но безуспѣшно пытавшагося обратить своего питомца къ изученію права. Тихо теперь уже трудно было оторвать отъ любимыхъ занятій, и онъ усердно занимался астрономіей. Въ 1563 году онъ произвелъ первое свое астрономическое наблюденіе—надъ тѣснымъ соединеніемъ Юпитера и Сатурна, въ предсказаніи котораго, какъ онъ замѣтилъ, *Альфонсинскія таблицы* (тл. III, § 66) ошиблись на цѣлый мѣсяцъ, а *Прусскія* (§ 94)—на нѣсколько дней. Въ Лейпцигѣ онъ купилъ нѣсколько грубыхъ инструментовъ и, пытаясь опредѣлить и внести поправки на погрѣшности своихъ инструментовъ, предвосхитилъ одно изъ величайшихъ своихъ усовершенствованій, впослѣдствіи разработанныхъ систематически.

Въ 1565 году Тихо вернулся въ Копенгагенъ, вѣроятно, по причинѣ войны со Швеціей, возгорѣвшейся въ это время, и оставался здѣсь около года, въ теченіе котораго потерялъ дядю. Въ 1566 году онъ снова отправился странствовать и посѣтилъ Виттенбергъ, Ростокъ, Базель, Ингольштадтъ, Аугсбургъ и другіе научные центры, познакомившись, благодаря этому, съ наиболѣе извѣстными астрономами Германіи. Въ Аугсбургѣ онъ познакомился съ братьями Гайнцель, богатыми гражданами, питавшими пристрастіе къ наукѣ; для

одного изъ нихъ онъ задумалъ и соорудилъ громадный **квадрантъ** (четверть круга), съ радіусомъ около 19 футовъ, край котораго раздѣленъ былъ на минуты. Здѣсь же онъ началъ постройку громаднаго небеснаго глобуса, діаметромъ въ пять футовъ, на которомъ впослѣдствіи отмѣчалъ положенія звѣздъ изъ наблюденій.

Въ 1570 году Тихо возвратился къ своему отцу въ Гельсингборгъ и вскорѣ послѣ смерти его (1571) отправился на долгое время къ дядѣ своему Стеену Билле, обладавшему научными склонностями. Въ этотъ періодъ онъ большую часть своего времени посвящалъ, кажется, химіи (или, скорѣе, алхиміи), и астрономическія занятія были на время позабыты.

100. Къ счастью, интересъ къ астрономіи снова пробудился въ немъ, благодаря неожиданному появленію яркой новой звѣзды въ созвѣздіи Кассіопеи, въ ноябрѣ 1572 года. Тихо произвелъ надъ нею рядъ чрезвычайно тщательныхъ наблюденій; онъ отмѣчалъ постепенныя измѣненія въ ея блескѣ съ перваго момента ея появленія, когда она по яркости соперничала съ Венерой, до конечнаго исчезновенія спустя шестнадцать мѣсяцевъ. Онъ нѣсколько разъ измѣрялъ угловое разстояніе ея отъ главныхъ звѣздъ Кассіопеи и пользовался разнообразными методами, желая удостовѣриться, не обладаетъ ли она ощутимымъ параллаксомъ (гл. II, §§ 43, 49). Параллакса ему не удалось открыть, изъ чего онъ заключилъ, что звѣзда отстоитъ во всякомъ случаѣ дальше луны; а такъ какъ она не принимала участія въ движеніяхъ планетъ, то онъ отнесъ ее къ области неподвижныхъ звѣздъ. Въ наше время такое заключеніе кажется самымъ обыденнымъ, но

въ тѣ дни большинство астрономовъ крѣпко держалось убѣжденія Аристотеля, что все небо вообще, а область неподвижныхъ звѣздъ въ особенности нетлѣнны и неизмѣняемы; новыя же звѣзды, какъ и кометы, почти всѣми относились къ верхнимъ слоямъ нашей атмосферы. Тихо написалъ о новой звѣздѣ докладъ, который, по настояніямъ друзей, напечаталъ (1573), присоединивъ къ нему нѣкоторыя части календаря, изготовлявшагося на этотъ годъ. Нежеланіе печататься въ значительной степени поддерживалось въ немъ убѣжденіемъ, что писаніе книгъ несовмѣстно съ достоинствомъ датскаго дворянина. Книга, о которой идетъ рѣчь *(De nova... Stella)*, выгодно отличается отъ массы другихъ писаній, вызванныхъ появленіемъ звѣзды, хотя изъ нея видно, что Тихо придерживался обычныхъ воззрѣній, будто кометы принадлежатъ атмосферѣ, а планеты увлекаются твердыми кристаллическими сферами,— мнѣнія, въ значительной степени подорванныя его послѣдующими трудами. Онъ отчасти касался астрологическаго значенія звѣзды и великихъ событій, предвѣщаемыхъ ею; его замѣчанія по этому поводу подверглись впослѣдствіи строгой критикѣ Кеплера, выразившагося такъ: «Если эта звѣзда и ничего не предсказала, то, по крайней мѣрѣ, она предсказала и сдѣлала великаго астронома».

Въ 1574 г. Тихо приглашенъ былъ въ Копенгагенскій университетъ — прочесть нѣсколько лекцій по астрономіи, изъ коихъ первая, трактовавшая, главнымъ образомъ, объ астрологіи, была напечатана въ 1610 году, послѣ его смерти. Когда курсъ былъ законченъ, онъ снова отправился странствовать

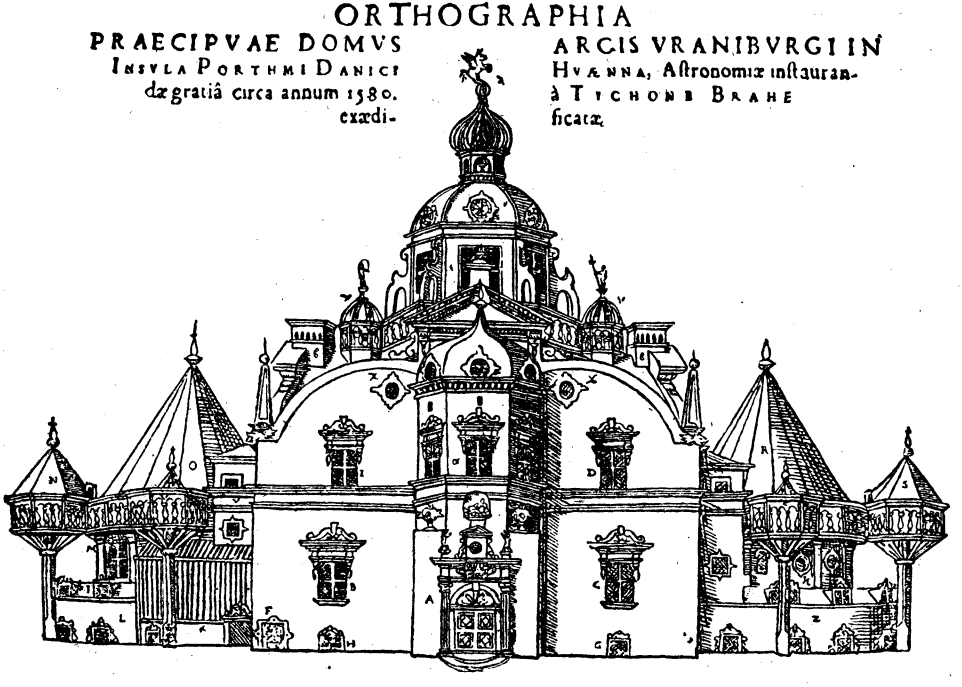
(1575). Послѣ краткаго посѣщенія Касселя, положившаго начало прочной дружбѣ съ ландграфомъ, онъ отправился во Франкфуртъ за покупкой книгъ, а оттуда въ Базель (гдѣ онъ серьезно думалъ основаться), далѣе обратно въ Аугсбургъ и Регенсбургъ, гдѣ пріобрѣлъ экземпляръ *Commentariolus* Коперника (гл. IV, § 73), и, наконецъ, вернулся домой черезъ Заальфельдъ и Виттенбергъ.

101. Слѣдующій годъ (1576) отмѣтилъ собой начало новой эпохи въ жизни Тихо. Король датскій, Фридрихъ II, усердный покровитель науки и литературы, назначилъ Тихо содержаніе, достаточное для производства астрономическихъ работъ въ самыхъ широкихъ размѣрахъ. Онъ отвелъ ему небольшой островокъ Гвэнъ въ Зундѣ (нынѣ принадлежащій Швеціи), обѣщалъ отпустить средства на постройку дома и обсерваторіи и добавилъ къ доходамъ отъ аренды острова ежегодный окладъ въ 1000 рублей. Тихо первый разъ посѣтилъ островъ въ маѣ, сейчасъ же принялся за постройку и къ концу года уже дѣлалъ правильныя наблюденія въ своемъ новомъ домѣ.

Постройки отличались какъ внѣшнимъ великолѣпіемъ, такъ и высокой научной полезностью. Тихо не забывалъ того, что онъ датскій дворянинъ, и строился такъ, какъ подобало его рангу [1]). Главное зданіе, названное Уранибургомъ (Небесный замокъ), лежало посреди громаднаго квадратнаго двора, разбитаго въ видѣ сада, углы котораго указывали на сѣверъ, востокъ, югъ и западъ, и заключало въ себѣ нѣсколько обсерваторій, библіотеку и лабора-

---

[1]) Онъ не забылъ даже соорудить одно изъ необходимѣйшихъ приспособленій средневѣковаго замка — тюрьму.



Фиг. 51. Уранибургъ. Изъ собранія писемъ, изданныхъ Тихо.

торію, не считая жилыхъ комнатъ. Впослѣдствіи, съ увеличеніемъ числа учениковъ и помощниковъ, стекавшихся къ нему, онъ соорудилъ (въ 1584 г.) второе зданіе, Стьернеборгъ (Звѣздный замокъ), замѣчательный своими подземными обсерваторіями. Получивъ возможность производить необходимыя работы въ собственномъ помѣщеніи, онъ завелъ мастерскія, въ которыхъ изготовлялись почти всѣ его инструменты, а впослѣдствіи онъ соорудилъ печатный станокъ и бумажную мельницу. Какъ въ Уранибургѣ, такъ и Стьернеборгѣ не только комнаты, но даже инструменты по мѣрѣ ихъ сооруженія старательно раскрашивались или вообще украшались какимъ-нибудь другимъ манеромъ.

102. Конечно, все это потребовало колоссальныхъ расходовъ, особенно если принять во вниманіе, что Тихо жилъ на широкую ногу и, по всей вѣроятности, мало заботился объ экономіи. Доходы его, получавшіеся изъ разныхъ источниковъ, подвержены были временнымъ колебаніямъ; впрочемъ, король не только назначилъ ему годовой окладъ, но и оказывалъ единовременныя пособія помѣстьями и деньгами. Между прочимъ, Тихо получилъ въ 1579 году одинъ изъ соборныхъ приходовъ въ Роскильдѣ, доходы съ котораго были секуляризованы послѣ реформаціи. На бѣду, большая часть его владѣній требовала извѣстныхъ обязательствъ по отношенію къ арендаторамъ, а такъ какъ онъ соединялъ въ себѣ раздражительность генія съ кичливостью средневѣковаго дворянина, то постоянныя ссоры были неизбѣжны. Вскорѣ по прибытіи его на островъ Гвэнъ арендаторы стали жаловаться, что онъ незаконно принуждаетъ ихъ работать на него; церковныя

обязанности, связанныя съ занятіемъ прихода, были имъ запущены, и онъ совершенно отказывался платить установленную пенсію вдовѣ своего предшественника. Затѣмъ вышли непріятности изъ-за маяка, содержаніе котораго лежало на обязанности одного изъ его помѣстій, но только на бумагѣ. Расположеніе короля къ Тихо лучше всего доказывается участіемъ, которое онъ принималъ въ улаженіи этихъ ссоръ, часто оканчивавшемся тѣмъ, что онъ уплачивалъ спорную сумму денегъ изъ своего кармана. Кромѣ того, Тихо крайне ревниво относился къ своей ученой репутаціи и неоднократно разражался грубой бранью по адресу какого-нибудь помощника или посѣтителя, котораго онъ обвинялъ въ присвоеніи его идей и обнародованіи ихъ подъ своимъ именемъ.

Помимо дрязгъ, значительную часть времени Тихо приходилось тратить на пріемъ многочисленныхъ посѣтителей, отовсюду привлекаемыхъ его славой; между ними попадались, кромѣ астрономовъ, высокопоставленныя лица, напримѣръ, нѣкоторыя особы датской королевской фамиліи и Яковъ VI Шотландскій (впослѣдствіи Яковъ I Англійскій).

Несмотря на всѣ эти препятствія, астрономическія работы успѣшно подвигались впередъ; за 21 годъ, проведенный Тихо на островѣ Гвэнѣ, онъ накопилъ при помощи учениковъ и ассистентовъ рядъ великолѣпныхъ наблюденій, своей точностью и обширностью превосходившихъ все, что было сдѣлано его предшественниками. Не мало вниманія онъ удѣлялъ алхиміи и отчасти — медицинѣ. Кажется, онъ находился подъ сильнымъ вліяніемъ идеи о единствѣ природы и постоянно искалъ ана-

логій или дѣйствительной связи между различными предметами, которые онъ изучалъ.

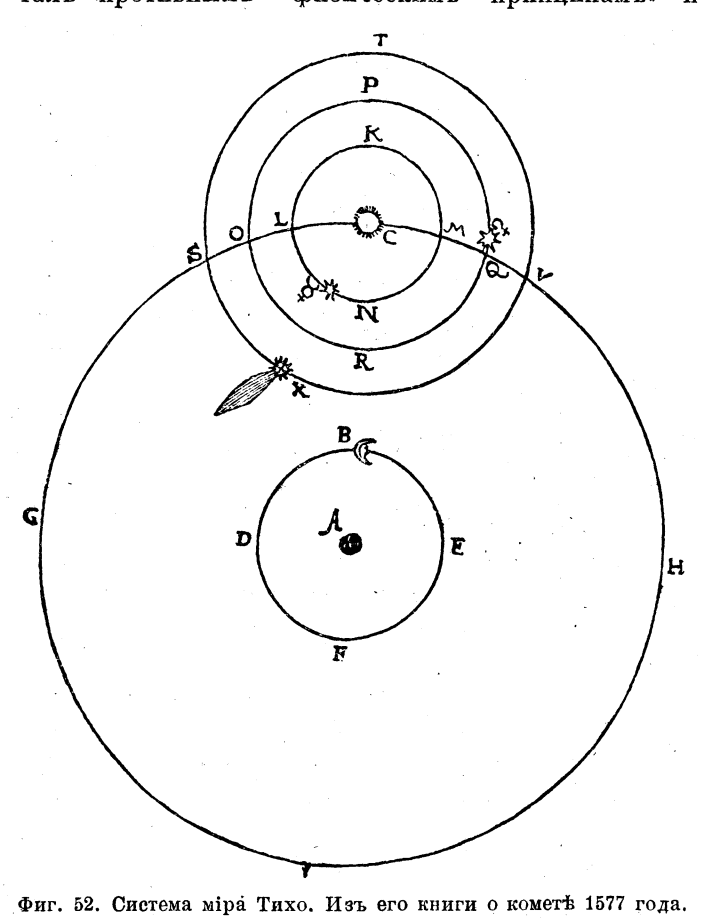
103. Въ 1577 году появилась блестящая комета, которую Тихо наблюдалъ съ обычнымъ тщаніемъ; и хотя онъ еще въ это время не располагалъ полнымъ комплектомъ инструментовъ, тѣмъ не менѣе наблюденія въ достаточной степени убѣдили его въ томъ, что комета, по крайней мѣрѣ, въ три раза дальше луны, и такимъ образомъ разрушили популярное представленіе, котораго онъ и самъ придерживался нѣсколькими годами раньше (§ 100), именно, что кометы—порожденіе нашей атмосферы. Наблюденія привели его къ выводу, что кометы обращаются вокругъ солнца на разстояніи, превосходящемъ разстояніе Венеры — выводъ, серьезно пошатнувшій общепринятое ученіе о твердыхъ хрустальныхъ сферахъ. Онъ имѣлъ случай наблюдать кометы 1580, 1582, 1585, 1590 и 1596 годовъ, а одинъ изъ его учениковъ производилъ наблюденія надъ кометой 1593 года. Изъ всѣхъ этихъ кометъ только комета 1577 года привлекла на себя особенное вниманіе публики, но точность наблюденій Тихо, естественно, возрастала лишь постепенно.

104. Цѣнные результаты, полученные изъ наблюденій надъ новой звѣздой 1572 года и кометами, внушили ему мысль о своевременности составленія полнаго трактата по астрономіи, который заключалъ бы въ себѣ эти и другія открытія. По первоначальному плану первые три тома должны были быть посвящены новой звѣздѣ, кометѣ 1577 года и послѣдующимъ кометамъ, главный же трактатъ долженъ былъ состоять изъ нѣсколькихъ томовъ, посвященныхъ изложенію теорій солнца, луны и

планетъ. Однако, только ничтожной части этого великолѣпнаго плана суждено было осуществиться. Первый томъ, озаглавленный *Astronomiae Instauratae Progymnasmata,* или *Введеніе въ Новую Астрономію,* былъ лишь начатъ въ 1588 году, и хотя большая часть его была отпечатана въ 1592 году, но онъ не былъ оконченъ при жизни Тихо и окончательно изданъ былъ Кеплеромъ въ 1602 году. Дѣйствительно, одинъ вопросъ неизбѣжно приводилъ къ другому, и Тихо самъ почувствовалъ невозможность удовлетворительнаго трактованія звѣзды 1572 года безъ разсмотрѣнія массы предварительныхъ вопросовъ—какъ, напримѣръ, положеніе неподвижныхъ звѣздъ, прецессія, годичное движеніе солнца, — вопросовъ, въ свою очередь требовавшихъ тщательнаго изслѣдованія. Второй томъ, трактующій о кометѣ 1577 года и озаглавленный *De Mundi aetherei recentioribus Phaenomenis Liber Secundus* (Вторая книга о недавнихъ явленіяхъ въ небесномъ мірѣ), оконченъ былъ гораздо раньше перваго; въ 1588 году списки его были разосланы друзьямъ и корреспондентамъ Тихо, хотя онъ былъ отпечатанъ и поступилъ въ продажу не ранѣе 1603 года. Третій томъ никогда не былъ написанъ, хотя матеріалъ для него и былъ отчасти собранъ, главный же трактатъ, повидимому, не былъ даже подготовленъ.

105. Книга о кометѣ 1577 года представляетъ для насъ особенный интересъ, такъ какъ заключаетъ въ себѣ очеркъ тиховой системы міра, представляющей собой компромиссъ между системами Птоломея и Коперника. Тихо былъ слишкомъ хорошимъ астрономомъ, чтобы не цѣнить упрощеній, внесенныхъ системой Коперника, но онъ не могъ

устранить двухъ серьезныхъ затрудненій: всякое движеніе «неуклюжей и тяжелой земли» онъ считалъ противнымъ «физическимъ принципамъ» и



Фиг. 52. Система міра Тихо. Изъ его книги о кометѣ 1577 года.

отрицалъ за звѣздами громадныя разстоянія, приписываемыя коперниковой системой, такъ какъ въ этомъ случаѣ между ними и планетами оставалось

бы пустое пространство слишкомъ обширныхъ размѣровъ [1]). Кромѣ того, его останавливали еще затрудненія библейскаго характера [2]). Въ 1583 году онъ изобрѣлъ новую систему, по которой пять планетъ обращались вокругъ солнца (С на фиг. 52), а солнце обращалось въ теченіе года вокругъ земли (А), вокругъ которой вся небесная сфера обращалась въ теченіе сутокъ. Система эта никогда не подвергалась детальной разработкѣ и, какъ многіе компромиссы, встрѣтила мало сочувствія; тѣмъ не менѣе Тихо очень гордился ею, и одна изъ самыхъ ожесточенныхъ и продолжительныхъ ссоръ во всей его жизни (длившаяся двѣнадцать лѣтъ) возгорѣлась у него съ *Реймерсомъ Бэромъ* или *Урсусомъ* (? — 1600) изъ-за того, что этотъ послѣдній въ 1586 году сообщилъ ландграфу, а спустя два года напечаталъ описаніе системы міра, весьма похожей на его собственную. Въ 1584 году Реймерсъ провелъ короткое время на Гвэнѣ, и Тихо не задумался обвинить его въ похищеніи идеи изъ рукописи, видѣнной имъ здѣсь. Вполнѣ естественно, что Реймерсъ съ своей стороны отвѣтилъ Тихо обвиненіемъ въ воровствѣ. Однако, нѣтъ ничего невозможнаго въ томъ, что одна и та же идея независимо пришла въ голову каждому астроному; и Реймерсъ внесъ значительное усовершенствованіе въ систему Тихо тѣмъ, что допустилъ суточное

---

[1]) Интересно бы знать, какое значеніе приписывалъ онъ (предполагаемому) еще болѣе обширному пространству за звѣздами.

[2]) По этому поводу Тихо замѣчаетъ, что Моисей былъ отличный астрономъ, такъ какъ называетъ луну «меньшимъ свѣтиломъ», несмотря на то, что кажущіеся діаметры солнца и луны почти одинаковы.

вращеніе земли и, такимъ образомъ, отказался отъ вращенія небесной сферы, что составляло одинъ изъ слабѣйшихъ пунктовъ птоломеевой системы.

106. Годъ, въ который издана была книга Тихо о кометѣ (1588), отмѣченъ смертью его покровителя, Фридриха II. Новый король, Христіанъ, былъ еще 11-тилѣтнимъ мальчикомъ, и нѣсколько лѣтъ государствомъ управляло четверо придворныхъ вельможъ. Новое правительство вначалѣ, кажется, было благосклонно настроено по отношенію къ Тихо; ему была уплачена крупная сумма на покрытіе расходовъ по острову Гвэну и обѣщаны всякія милости, но мало-по-малу постоянныя ссоры Тихо со своими арендаторами и другими лицами привели къ непріятнымъ послѣдствіямъ. Въ 1594 году онъ потерялъ одного изъ сильнѣйшихъ своихъ защитниковъ при дворѣ, канцлера Кааса, преемникъ котораго, вмѣстѣ съ двумя-тремя другими придворными вельможами, былъ не слишкомъ дружелюбно настроенъ къ нему, хотя приводимые нерѣдко разсказы о крупной личной непріязни между ними, повидимому, имѣютъ мало основаній. Уже въ 1591 году Тихо намекалъ одному изъ своихъ корреспондентовъ на невозможность оставаться въ Даніи, а въ 1594 году вступилъ въ переписку съ представителями императора Рудольфа II, слывшаго покровителемъ науки. Однако, его научная дѣятельность въ эти годы ничуть не ослабѣвала; въ 1596 году онъ закончилъ печатаніемъ чрезвычайно интересный томъ, заключавшій въ себѣ ученую переписку между ландграфомъ, Ротманомъ и имъ самимъ. За принятіемъ королемъ въ свои руки кормила правленія, въ 1596 году, послѣдовало

Тихо Браге.

(Къ стр. 192).

лишеніе Тихо одного изъ его имѣній, а въ слѣдующемъ году прекращена была выдача годового оклада, который былъ уплачиваемъ ему съ 1576 года. Трудно упрекнуть короля за такую экономію; очевидно, онъ не такъ интересовался астрономіей, какъ его отецъ, и смотрѣлъ на дорого стоящую дѣятельность гвэнской обсерваторіи, какъ на причуду; весьма вѣроятно, что онъ былъ серьезно недоволенъ отношеніемъ Тихо къ своимъ арендаторамъ и другими незаконными поступками съ его стороны. Тихо, однако, счелъ лишеніе годичнаго пенсіона послѣдней каплей, переполнившей чашу, и въ началѣ 1597 года покинулъ Гвэнъ, забравши съ собой значительную часть движимаго имущества. Проведя нѣсколько мѣсяцевъ въ Копенгагенѣ, онъ сдѣлалъ рѣшительную попытку покинуть Данію для Германіи, за что король лишилъ его прихода. Въ отвѣтъ на это Тихо написалъ возраженіе, въ которомъ указывалъ на невозможность научныхъ занятій безъ должнаго вспомоществованія и предлагалъ вернуться, если его заслугамъ дана будетъ справедливая оцѣнка. Король на этотъ разъ былъ серьезно оскорбленъ, и отвѣтъ его представляетъ перечисленіе различныхъ жалобъ, возникшихъ противъ Тихо въ послѣдніе годы. И хотя Тихо пытался еще нѣсколько разъ черезъ друзей вернуть себѣ расположеніе короля, но разрывъ оказался полнымъ.

107. Зиму 1597—98 года Тихо провелъ у одного изъ своихъ друзей вблизи Гамбурга и здѣсь выпустилъ подъ заглавіемъ *Astronomiae Instauratae Mechanica* описаніе своихъ инструментовъ, присовокупивъ къ нему краткую автобіографію и инте-

ресный отчетъ о главныхъ своихъ открытіяхъ. Около того же времени онъ распространилъ въ рукописныхъ экземплярахъ свой каталогъ 1.000 звѣздъ, изъ которыхъ только 777 были наблюдаемы надлежащимъ образомъ, остальныя же онъ поспѣшно зарегистровалъ, желая дополнить традиціонное число. И каталогъ, и *Mechanica* явнымъ образомъ задуманы были въ доказательство его астрономическихъ заслугъ, и экземпляры ихъ были разосланы различнымъ вліятельнымъ лицамъ. Тихо завязалъ сношенія съ императоромъ и съ принцемъ Оранскимъ и, проведя еще годъ въ различныхъ областяхъ Германіи, получилъ, наконецъ, приглашеніе отъ императора и прибылъ въ Прагу въ іюнѣ 1599 года.

108. Условлено было, что онъ займетъ замокъ Бенатекъ, въ двадцати миляхъ отъ Праги, гдѣ онъ и водворился въ концѣ 1599 года со своимъ семействомъ и малыми инструментами. Онъ сейчасъ же приступилъ къ наблюденіямъ, послалъ одного изъ сыновей на островъ Гвэнъ за большими инструментами и озаботился пріисканіемъ помощниковъ. Онъ заручился содѣйствіемъ одного изъ самыхъ способныхъ своихъ прежнихъ помощниковъ и, по счастливому стеченію обстоятельствъ, привлекъ къ себѣ великаго *Іоганна Кеплера;* умѣлой разработкѣ Кеплеромъ матеріаловъ, собранныхъ Тихо, этотъ послѣдній въ значительной степени обязанъ своей славой. Кеплеръ, о жизни и дѣятельности котораго мы подробно побесѣдуемъ въ VII главѣ, незадолго до того напечаталъ свою первую цѣнную книгу, *Mysterium Cosmographicum* (§ 136), между прочимъ, обратившую на себя вниманіе Тихо, и терпѣлъ

неудобства отъ своего положенія въ Грацѣ, гдѣ начались религіозныя преслѣдованія. Послѣ нѣкоторыхъ колебаній Кеплеръ отправился къ Тихо въ Бенатекъ въ началѣ 1600 года. Вскорѣ онъ занялся изученіемъ Марса, для котораго Тихо готовилъ планетныя таблицы, и, такимъ образомъ, хорошо познакомился съ наблюденіями этой планеты, собранными Тихо. Отношенія между двумя астрономами были не всегда безупречны, ибо Кеплеръ, какъ всегда, сильно страдалъ отъ денежныхъ затрудненій, а бѣдственное состояніе государственныхъ финансовъ не давало Тихо возможности получить свое жалованье отъ императора. Вслѣдствіе этого, Кеплеръ въ очень скоромъ времени оставилъ Бенатекъ и вернулся въ Прагу, гдѣ и поселился окончательно послѣ короткой поѣздки въ Грацъ; Тихо послѣдовалъ его примѣру въ концѣ 1600 года, и съ этихъ поръ они дружно работали вмѣстѣ весь небольшой остатокъ жизни Тихо. Хотя онъ вовсе не былъ старъ, но здоровье его замѣтно слабѣло, и въ концѣ 1601 года онъ внезапно схватилъ недугъ, черезъ нѣсколько дней приведшій къ трагической развязкѣ (24 ноября). Характерно для его беззавѣтной любви къ своему дѣлу, что онъ даже въ предсмертномъ бреду неоднократными восклицаніями выражалъ надежду, что жизнь его не прошла безплодно *(Ne frustra vixisse videar)*.

109. Частью изъ-за непріятностей, возникшихъ между Кеплеромъ и однимъ изъ наслѣдниковъ Тихо частью изъ-за политическихъ волненій, большіе инструменты Тихо почти не были употребляемы послѣ его смерти и большей частью погибли во время гражданскихъ войнъ въ Богеміи. Кеплеру удалось

получить его наблюденія; но они почти не печатались, такъ какъ находились въ сыромъ, необработанномъ видѣ.

110. Если бы мы пожелали дать мало-мальски удовлетворительный очеркъ заслугъ Тихо въ астрономіи, то намъ пришлось бы привести много техническихъ подробностей методовъ наблюденія, что̀ мы считаемъ неумѣстнымъ. Прежде чѣмъ перейти къ спеціальнымъ открытіямъ его, можно, однако, попытаться дать общую характеристику его, какъ наблюдателя.

Тихо болѣе, чѣмъ кто-либо изъ его предшественниковъ, понималъ важность такихъ наблюденій, которыя не только были бы точны до послѣдней возможности, но и дѣлались бы возможно чаще въ видахъ почти непрерывнаго регистрированія положеній и движеній изучаемыхъ небесныхъ тѣлъ; по господствовавшему же обычаю (какъ то отлично иллюстрируетъ примѣръ Коперника) наблюденія производились временами, случайно, когда являлось на сцену особенно интересное астрономическое событіе, вродѣ затменія или соединенія планетъ, или же когда чувствовалась нужда въ какихъ-либо спеціальныхъ данныхъ для разработки одного изъ пунктовъ теоріи. Въ то время, какъ Коперникъ, какъ мы уже замѣчали (гл. IV, § 73), упоминаетъ въ своей книгѣ только о нѣсколькихъ дюжинахъ наблюденій, Тихо, напримѣръ, наблюдалъ солнце ежедневно въ теченіе многихъ лѣтъ и потому могъ получить нѣсколько тысячъ наблюденій одного только этого свѣтила, не считая многихъ тысячъ наблюденій, произведенныхъ надъ другими небесными тѣлами. Правда, арабы имѣли нѣкоторое

представленіе о непрерывности наблюденій (гл. III, § 57), но у нихъ было слишкомъ мало умозрительной силы или оригинальности для того, чтобы извлечь надлежащую пользу изъ своихъ наблюденій, небольшая часть которыхъ попала въ руки европейскихъ астрономовъ. Поживи Регіомонтанъ больше (гл. III, § 68), онъ бы, вѣроятно, во многомъ предупредилъ Тихо, но его недолгая жизнь цѣликомъ ушла на изученіе и комментированіе греческой астрономіи, такъ что онъ не могъ много сдѣлать въ другихъ отрасляхъ этой науки. Ландграфъ со своимъ штабомъ, поддерживавшій непрерывныя сношенія съ Тихо, работалъ въ томъ же направленіи, хотя въ общемъ съ меньшимъ успѣхомъ. Въ отличіе отъ арабовъ, Тихо, однако, былъ твердо убѣжденъ въ томъ, что наблюденія суть лишь средство и что одни наблюденія безъ гипотезы или теоріи, объясняющей и истолковывающей ихъ, представляютъ мало интереса и пользы.

Дѣйствительная точность тиховыхъ наблюденій, само собой разумѣется, значительно варьировала въ зависимости отъ характера наблюденія, тщательности, съ которой оно производилось, и періода его жизни, въ которой оно имѣло мѣсто. Мѣста девяти звѣздъ, положенныя имъ въ основаніе своего звѣзднаго каталога, отличаются отъ положеній, указанныхъ лучшими современными наблюденіями, на углы, большей частью меньшіе 1′, и только въ одномъ случаѣ на 2′ (ошибка зависитъ, главнымъ образомъ, отъ рефракціи (гл. II, § 46), съ которой Тихо, по необходимости, былъ весьма несовершенно знакомъ). Мѣста другихъ звѣздъ были

опредѣлены, вѣроятно, съ меньшей точностью, но мы не далеко уклонимся отъ истины, если допустимъ, что въ большинствѣ случаевъ ошибка тиховыхъ наблюденій не превосходила 1′ или 2′. Кеплеръ въ часто цитируемомъ мѣстѣ его сочиненій пишетъ, что ошибка въ 8′ въ планетныхъ наблюденіяхъ Тихо была вещью совершенно невозможной. Такую точность можно отчасти объяснить размѣрами и тщательной конструкціей инструментовъ, о чемъ такъ старались арабы и другіе наблюдатели. Конечно, Тихо пользовался прекрасными инструментами, но онъ еще значительно увеличивалъ ихъ достоинства, частью при помощи мелкихъ механическихъ приспособленій, каковы, напримѣръ, спеціально придуманные діоптры или особенный способъ дѣленія на градусы [1]), частью же тѣмъ, что придавалъ имъ значительную устойчивость, сравнительно съ тѣми, которые можно было направлять въ любую часть небеснаго свода. Другое громадное усовершенствованіе заключалось въ томъ, что онъ систематически вводилъ возможныя поправки на неизбѣжныя механическія погрѣшности, встрѣчающіяся даже въ лучшихъ инструментахъ, равно какъ и на погрѣшности постояннаго характера. Напримѣръ, издавна было извѣстно, что, благодаря преломленію свѣтовыхъ лучей въ атмосферѣ, звѣзды кажутся нѣсколько выше истиннаго своего положенія. Тихо предпринялъ рядъ наблюденій съ цѣлью опредѣлить величину этого перемѣщенія для различныхъ частей небосклона, на основаніи ихъ составилъ таблицу преломленія (правда, весьма не-

---

[1]) Поперечными дѣленіями.

совершенную) и съ тѣхъ поръ при наблюденіяхъ регулярно вводилъ поправку на рефракцію. Далѣе извѣстно было, что точность наблюденій надъ солнцемъ и планетами нарушается вліяніемъ параллакса (гл. II, §§ 43, 49), хотя величины его не знали. Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требовалась особая точность, Тихо наблюдалъ изслѣдуемый объектъ по меньшей мѣрѣ два раза, выбирая такія положенія, въ которыхъ параллаксъ, по его разсчету, производилъ противоположный эффектъ; такимъ образомъ, комбинируя наблюденія, онъ получалъ результатъ, почти свободный отъ данной погрѣшности. Онъ одинъ изъ первыхъ оцѣнилъ во всей полнотѣ важность многократныхъ повтореній одного и того же наблюденія при различныхъ условіяхъ, съ той цѣлью, чтобы различные случайные источники погрѣшностей отдѣльныхъ наблюденій взаимно нейтрализовали другъ друга.

111. Онъ исправилъ и заново опредѣлилъ почти всѣ мало-мальски важныя астрономическія величины. Напримѣръ, годичное движеніе солнечнаго апогея относительно γ (точки весенняго равноденствія), установленное Коперникомъ въ $94''$, Тихо опредѣлилъ въ $45''$ (современныя наблюденія даютъ $61''$); длину года онъ опредѣлилъ съ ошибкой менѣе секунды; онъ составилъ таблицы движенія солнца, по которымъ его мѣсто можно было опредѣлить съ точностью до $1'$, тогда какъ въ прежнихъ таблицахъ ошибка достигала иногда $15'$—$20'$. По странной случайности, онъ не опредѣлялъ разстоянія солнца, но принималъ крайне грубую оцѣнку, передававшуюся безъ существенныхъ измѣненій со времени Гиппарха отъ астронома къ астроному (гл. II, § 41).

Въ лунной теоріи Тихо сдѣлалъ нѣсколько важныхъ открытій. Онъ нашелъ, что неправильности лунныхъ движеній не исчерпываются уравненіемъ центра и эвекціей (гл. II, §§ 39, 48) и что есть еще одна неправильность, исчезающая во время противостоянія, соединенія и квадратуръ, но въ промежуточныхъ положеніяхъ луны достигающая 40′. Это неравенство, извѣстное подъ названіемъ **варіаціи**, какъ мы уже упоминали (гл. III, § 60), было открыто, быть можетъ, Абулъ-Вэфой, хотя и подверглось впослѣдствіи совершенному забвенію. Въ послѣдніе годы своей жизни, во время посѣщенія Виттенберга въ 1598—99 году, Тихо нашелъ необходимымъ ввести еще одно небольшое неравенство, такъ-называемое **годичное уравненіе**, зависящее отъ положенія земли на орбитѣ; онъ, однако, ни разу не обслѣдовалъ его полностью. Онъ убѣдился, вдобавокъ, что, вопреки распространенному мнѣнію, орбита луны не наклонена къ эклиптикѣ подъ постояннымъ угломъ, но подвержена правильнымъ колебаніямъ и что движеніе лунныхъ угловъ (гл. II, § 40) также подвержено измѣненіямъ.

112. Мы уже говорили о звѣздномъ каталогѣ. Составленіе его привело Тихо къ изученію прецессіи, величину которой онъ опредѣлилъ съ значительной точностью; тѣ же изслѣдованія заставили его отвергнуть предполагаемую неправильность въ прецессіи, которая, подъ названіемъ трепидаціи (гл. III, § 58), въ теченіе нѣсколькихъ вѣковъ смущала астрономовъ, но теперь быстро потеряла свою популярность.

Тихо изучалъ планеты съ особенной любовью, но хотя онъ и произвелъ рядъ великолѣпныхъ наблю-

деній надъ ними, сослужившихъ громадную службу его преемникамъ, однако, онъ умеръ, не успѣвъ создать удовлетворительной теоріи планетныхъ движеній. Ему легко было замѣтить, однако, что эти движенія значительно уклоняются отъ предсказаній любыхъ планетныхъ таблицъ, и даже открыть извѣстную правильность въ этихъ уклоненіяхъ.

ГЛАВА VI.

Галилей.

«Въ наукѣ мы всѣ—ученики Галилея». Труэссаръ.

«Бэконъ издали указалъ намъ путь къ истинной философіи; Галилей указалъ его другимъ и самъ далеко шагнулъ по немъ»

Давидъ Юмъ.

113. Къ поколѣнію, смѣнившему Тихо, принадлежатъ двое знаменитѣйшихъ астрономовъ, Галилей и Кеплеръ. Хотя они были почти современниками (Галилей родился семью годами раньше Кеплера и пережилъ его двѣнадцатью годами), однако, ихъ научные методы и заслуги передъ астрономіей носятъ настолько различный характеръ, и вліяніе ихъ другъ на друга было такъ ничтожно, что мы сочли удобнымъ уклониться отъ строго хронологическаго порядка и посвятить настоящую главу исключительно Галилею, оставивъ на время Кеплера въ сторонѣ.

Галилео Галилей родился въ 1564 году, въ Пизѣ, тогда принадлежавшей къ великому герцогству Тосканскому, въ самый день смерти Микель Анджело и въ годъ рожденія Шекспира. Отецъ его, Винченцо, былъ потомокъ обѣднѣвшей дворянской фамиліи изъ Флоренціи и слылъ за хорошаго музыканта и математика. Таланты Галилея обнаружились очень рано, и хотя первоначально его готовили къ торговой дѣятельности, однако, Винченцо былъ

настолько уменъ, что понялъ, куда влекутъ сына его способности и вкусы, именно, къ профессіональной карьерѣ; и вотъ онъ послалъ его въ 1581 году въ Пизанскій университетъ для изученія медицины. Здѣсь молодой Галилей скоро выдвинулся, благодаря недюжиннымъ дарованіямъ, особенно же благодаря тому, что онъ отказывался принимать на вѣру догматическія положенія своихъ учителей, основанныя не на прямомъ доказательствѣ, но на авторитетѣ великихъ писателей древности. Эта драгоцѣнная черта, отличавшая его во всю жизнь, въ соединеніи съ ловкой аргументаціей, снискала ему нерасположеніе нѣкоторыхъ профессоровъ, а отъ товарищей студентовъ прозвище Спорщика.

114. Въ 1582 г. мѣткая наблюдательность привела его къ первому научному открытію. Однажды, слѣдя въ пизанскомъ соборѣ за качаніями люстры, привѣшенной къ потолку, онъ замѣтилъ, что хотя движенія ея постепенно затихали и размахи становились слабѣе, однако, время, затрачиваемое на каждое колебаніе, чувствительно не измѣнялось,— результатъ, который онъ подвергъ точной провѣркѣ сравненіемъ съ біеніями собственнаго пульса. Послѣдующія размышленія и опыты убѣдили его, что эта особенность не составляетъ исключительной привилегіи соборныхъ люстръ, но что всякій грузъ, подвѣшенный на веревкѣ (или иная форма маятника), качается въ промежутки времени, зависящіе только отъ длины веревки или отъ другихъ особенностей самаго маятника, но не отъ способа, какимъ ему сообщено было движеніе, или величины размаха. Вслѣдъ за тѣмъ онъ изобрѣлъ приборъ,

колебанія котораго могли служить для измѣренія времени и который оказался весьма пригоднымъ въ медицинской практикѣ для измѣренія скорости пульса.

115. Очень скоро обнаружилось, что у Галилея нѣтъ особеннаго влеченія къ медицинѣ, избранной его отцомъ потому, что она вела къ единственно доходной профессіональной карьерѣ и что истиннымъ призваніемъ его была математика и приложенія ея къ опытнымъ наукамъ. Въ теченіе перваго года пребыванія въ университетѣ онъ не пріобрѣлъ почти никакихъ формальныхъ свѣдѣній изъ математики, но на второй годъ онъ подслушалъ при дворѣ великаго герцога урокъ изъ эвклидовой геометріи и пришелъ въ такое восхищеніе, что продолжалъ слушать курсъ сперва украдкой, затѣмъ открыто; это обстоятельство укрѣпило въ немъ интересъ къ математикѣ, а способности его были такъ очевидны, что онъ получилъ, наконецъ, у отца позволеніе бросить медицину для математики.

Въ 1585 году бѣдность принудила его бросить университетъ, не окончивъ курса и не получивъ ученой степени, и слѣдующіе четыре года онъ прожилъ большей частью дома, продолжая читать и размышлять о научныхъ предметахъ. Въ 1586 году онъ написалъ свой первый ученый опытъ [1]), циркулировавшій въ спискахъ и напечатанный только въ XIX столѣтіи.

116. Въ 1589 году онъ назначенъ былъ на трехлѣтіе профессоромъ математики (съ астрономіей)

---

[1]) Объ изобрѣтенномъ имъ приборѣ, такъ-называемыхъ гидростатическихъ вѣсахъ.

въ Пизѣ. Этой должности соотвѣтствовалъ ничтожный окладъ, приблизительно равный двумъ съ половиной рублямъ въ недѣлю, но онъ могъ пополнять свои скудные доходы частными уроками.

Въ этомъ новомъ положеніи Галилею открылся широкій просторъ для его замѣчательнаго дара изложенія, но, не довольствуясь традиціоннымъ чтеніемъ лекцій, онъ предпринялъ рядъ научныхъ изслѣдованій, замѣчательныхъ какъ по содержанію, такъ и по новизнѣ метода.

Мы считаемъ удобнымъ отложить подробный очеркъ услугъ, оказанныхъ Галилеемъ механикѣ и научному методу, на конецъ этой главы, а здѣсь только кратко упомянемъ о первыхъ его опытахъ надъ падающими тѣлами, которыми онъ въ это время занимался. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ онъ бросалъ различныя испытываемыя тѣла съ вершины падающей башни въ Пизѣ, въ другихъ — заставлялъ шары катиться по желобамъ, наклоненнымъ подъ различными углами. Въ наше время, когда научные эксперименты стали обычнымъ явленіемъ, какъ-то трудно даже вообразить себѣ всю новизну и важность столь простыхъ опытовъ для конца XVI столѣтія. Въ Пизѣ, какъ и повсюду, еще господствовали средневѣковыя традиціи, по которымъ научныя изслѣдованія производились преимущественно путемъ истолкованія текстовъ изъ Аристотеля, Галена и другихъ великихъ писателей древности, а выводы получались изъ общихъ принциповъ, находимыхъ въ сочиненіяхъ этихъ писателей; къ самостоятельнымъ же наблюденіямъ и не думали обращаться. Напримѣръ, утверждалось, на основаніи авторитета Аристотеля, что такъ какъ причиной паденія тѣлъ

служитъ ихъ вѣсъ, то болѣе тяжелыя тѣла, сравнительно съ легкими, должны падать со скоростями, пропорціональными ихъ вѣсу. Можно, правда, сомнѣваться, обладалъ ли кто-нибудь до Галилея настолько ясными представленіями о данномъ предметѣ, чтобы дать рѣшительный отвѣтъ на вопросъ, во сколько разъ десяти-фунтовый грузъ падаетъ въ секунду быстрѣе, нежели фунтовый; но, по всей вѣроятности, отвѣтъ былъ бы данъ въ томъ смыслѣ, что онъ упалъ бы въ десять разъ быстрѣе или что онъ потребовалъ бы въ десять разъ меньше времени на прохожденіе такого же пространства. Произвести же экспериментъ на самомъ дѣлѣ, измѣнить его условія, удаляя по возможности случайные источники ошибокъ и увеличивая время паденія для того, чтобы возможно было точнѣе измѣрить его, какъ это сдѣлалъ Галилей, — все это шло въ разрѣзъ съ господствовавшими привычками научнаго мышленія и казалось большинству его товарищей нежелательнымъ и, пожалуй, даже опаснымъ новшествомъ. Между тѣмъ достаточно было нѣсколькихъ простыхъ экспериментовъ для того, чтобы доказать полную несостоятельность ходячихъ воззрѣній по данному вопросу и установить, что въ общемъ тѣла различнаго вѣса проходятъ равныя разстоянія въ равныя времена, причемъ небольшія различія можно всецѣло отнести на счетъ сопротивленія воздуха.

Эти и другіе результаты галилеевыхъ изслѣдованій были изложены въ особомъ трактатѣ, который, какъ и большая часть первыхъ произведеній Галилея, разошелся въ спискахъ; впрочемъ, все существенное изъ него онъ помѣстилъ въ большомъ

трактатѣ по механикѣ, напечатанномъ имъ къ концу своей жизни (§ 133).

Эти нововведенія, въ связи съ презрительнымъ отношеніемъ къ оппонентамъ, котораго онъ не трудился скрывать, сдѣлали Галилея непопулярнымъ среди пизанскихъ коллегъ его; по этой ли причинѣ, или изъ-за домашнихъ неурядицъ, послѣдовавшихъ за смертью его отца (1591), но только Галилей оставилъ свою каѳедру не задолго до истеченія срока службы и вернулся въ домъ своей матери во Флоренціи.

117. Спустя нѣсколько мѣсяцевъ, проведенныхъ во Флоренціи, онъ получилъ, по ходатайству одного венеціанскаго пріятеля, должность профессора математики въ Падуѣ, принадлежавшей тогда къ территоріи Венеціанской республики (1592). Онъ получилъ назначеніе сразу на шесть лѣтъ, при окладѣ, значительно превышавшемъ тотъ, который онъ получалъ въ Пизѣ. Въ первые годы пребыванія въ Падуѣ Галилей проявлялъ богатую и чрезвычайно разностороннюю дѣятельность; помимо правильнаго чтенія лекцій, онъ писалъ трактаты, тогда еще мало печатавшіеся, по астрономіи, механикѣ, фортификаціи и изобрѣлъ нѣсколько научныхъ приборовъ.

Мы не имѣемъ точныхъ свѣдѣній относительно того, когда именно онъ усвоилъ астрономическія воззрѣнія Коперника, но въ 1597 году онъ самъ высказывался, что познакомился съ ними нѣсколькими годами раньше и собралъ доказательства въ пользу ихъ.

Въ слѣдующемъ году онъ назначенъ былъ еще на шестилѣтіе, съ прибавкой жалованья; по истече-

ніи этого онъ назначенъ былъ профессоромъ еще на шесть лѣтъ, а затѣмъ пожизненно, причемъ всякій разъ ему увеличивали окладъ.

Первое астрономическое открытіе Галилея было сдѣлано въ 1604 году, когда въ созвѣздіи Змѣеносца внезапно зажглась новая звѣзда; онъ показалъ, что она во всякомъ случаѣ дальше планетъ, чѣмъ подтвердилъ выводы Тихо (гл. V, § 100) о томъ, что перемѣны происходятъ въ небесныхъ пространствахъ даже за предѣлами планетъ и вовсе не ограничены — какъ обыкновенно полагали — землей и всѣмъ, что ее непосредственно окружаетъ.

118. Въ это время по всей Италіи разнеслась молва о Галилеѣ, не только какъ о блестящемъ лекторѣ, но и какъ о знающемъ и оригинальномъ ученомъ. Событіемъ, доставившимъ ему всеевропейскую славу, былъ рядъ телескопическихъ наблюденій, сдѣланныхъ въ 1609 и послѣдующихъ годахъ.

Роджеръ Бэконъ (гл. III, § 67) хвалился, что изобрѣлъ комбинацію линзъ, при помощи которой отдаленные предметы можно было созерцать такъ, какъ если бы они находились вблизи; приблизительно такое же изобрѣтеніе было сдѣлано *Леонардомъ Диггсомъ* (умершимъ около 1571 года) и описано было также итальянцемъ *Портой* въ 1558 году. Если бы даже подобный инструментъ и былъ изготовленъ кѣмъ-либо изъ трехъ претендентовъ, на что мы не имѣемъ достовѣрныхъ указаній, то это открытіе во всякомъ случаѣ не обратило на себя вниманія и затерялось. Достовѣрно извѣстно, что телескопъ изобрѣтенъ былъ въ Голландіи въ 1608 году *Гансомъ Липперсгеймомъ* (?—1619), миддльбургскимъ оптикомъ, и почти одновременно съ нимъ двумя

другими голландцами, но независимо ли, или нѣтъ — трудно сказать. Въ началѣ слѣдующаго года вѣсть объ изобрѣтеніи дошла до Галилея, и, несмотря на то, что онъ не зналъ подробностей устройства инструмента, ему удалось послѣ нѣсколькихъ попытокъ приспособить къ трубѣ двѣ линзы — выпуклую и вогнутую — такимъ образомъ, что онѣ стали увеличивать изображенія предметовъ; первый его инструментъ приближалъ или увеличивалъ предметы въ три раза (въ ширину и вышину), а вскорѣ онъ научился изготовлять телескопы съ тридцатикратнымъ увеличеніемъ.

Было вполнѣ очевидно, что новый инструментъ можно съ такимъ же успѣхомъ приложить къ небеснымъ объектамъ, какъ и къ земнымъ; эта мысль почти одновременно пришла въ голову англійскому математику *Томасу Гарріоту* (1560—1621), нѣмцу *Симону Маріусу* (1570—1624) и Галилею. То обстоятельство, что Галилею почти неизмѣнно приписывается честь перваго примѣненія телескопа къ астрономическимъ цѣлямъ, хотя первыя наблюденія начаты были имъ, по всей вѣроятности, нѣсколько позже Гарріота и Марія, въ значительной мѣрѣ оправдывается настойчивостью, съ которой онъ изслѣдовалъ предметъ за предметомъ, если представлялась надежда получить какіе-нибудь результаты, энергіей и проницательностью въ наблюденіяхъ, независимостью ума, съ какой онъ ихъ истолковывалъ, и больше всего глубоко вѣрной оцѣнкой ихъ астрономическаго значенія.

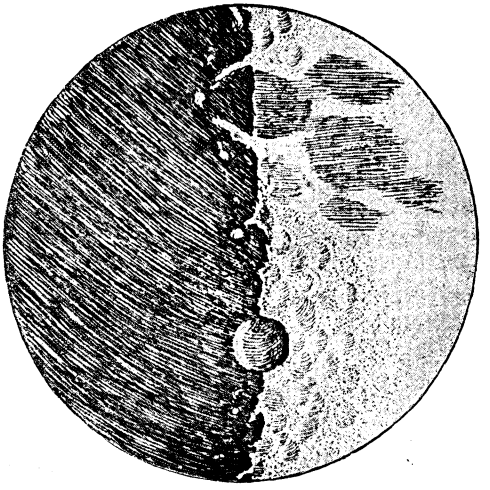
119. Свои первыя телескопическія наблюденія онъ обнародовалъ въ началѣ 1610 года, въ книжкѣ, озаглавленной *Sidereus Nuntius*, т.-е. *Звѣздный Вѣст-*

никъ. Эти первыя наблюденія сейчасъ же пролили свѣтъ на природу нашего ближайшаго небеснаго сосѣда, луны. Обыкновенно полагали, что луна, подобно другимъ небеснымъ тѣламъ, вполнѣ гладка и шарообразна, причины же темныхъ пятенъ на ея поверхности совершенно не знали [1].

Галилей съ перваго взгляда открылъ массу мелкихъ пятенъ, свѣтлыхъ и темныхъ (фиг. 53) и призналъ очень многія изъ этихъ послѣднихъ за тѣни, отбрасываемыя лунными горами подъ лучами солнца; далѣе, въ свѣтлыхъ точкахъ, наблюдаемыхъ у границы освѣщенной части неполной луны, онъ угадалъ горныя вершины, освѣщенныя лучами восходящаго или заходящаго солнца, въ то время, какъ окружающая часть лунной поверхности погружена во мракъ. Мало того, съ характерной изобрѣтательностью и любовью къ точности онъ вычислилъ изъ наблюденій такого рода высоту наиболѣе замѣтныхъ лунныхъ горъ; самую высокую онъ оцѣнилъ въ четыре мили (около семи верстъ)—результатъ, близко согласующійся съ современными оцѣнками высочайшихъ вершинъ на лунѣ. Большія темныя пятна онъ (ошибочно) объяснялъ присутствіемъ воды, хотя онъ, повидимому, менѣе вѣрилъ въ правильность такого объясненія, чѣмъ нѣкоторые изъ его ближайшихъ преемниковъ въ наукѣ, присвоившіе этимъ пятнамъ названіе **морей** (гл. VIII, § 153). Онъ замѣтилъ также отсутствіе облаковъ на лунѣ. Но, не считая подробностей, дѣйствительно цѣнный

---

[1]) Прекрасное представленіе о средневѣковыхъ взглядахъ на этотъ предметъ даетъ одна изъ скучнѣйшихъ пѣсенъ великой Дантовой поэмы (*Рай, II*), гдѣ поэтъ и Беатриче приводятъ два различныхъ «объясненія» пятенъ на лунѣ.



Фиг. 53. Одинъ изъ галилеевыхъ рисунковъ луны. Изъ *Sidereus Nuntius*.

(Къ стр. 210)

результатъ его наблюденій заключается въ томъ, что онъ доказалъ сходство луны съ землей во многихъ важныхъ отношеніяхъ, разрушилъ традиціонное убѣжденіе въ абсолютной шарообразности луны и показалъ, что ходячая доктрина о рѣзкомъ различіи между небесными и земными предметами лишена основанія; важность этихъ успѣховъ, въ связи съ ученіемъ Коперника о томъ, что земля одна изъ шести планетъ, обращающихся вокругъ солнца, не требуетъ комментаріевъ.

Одинъ изъ многочисленныхъ противниковъ Галилея въ наукѣ [1]) пытался объяснить кажущееся противорѣчіе между старой теоріей и новыми наблюденіями при помощи остроумнаго предположенія, что наблюдаемыя на лунѣ впадины въ дѣйствительности заполнены прозрачнымъ кристаллическимъ матеріаломъ, такъ что луна вполнѣ шарообразна. На это Галилей отвѣтилъ, что онъ признаетъ превосходство подобной идеи, и, распространяя ее дальше, утверждаетъ, что на лунѣ находятся горы изъ того же самаго невидимаго вещества, своей высотой, по крайней мѣрѣ, въ десять разъ превосходящія тѣ, которыя онъ наблюдалъ.

120. Телескопъ обнаружилъ также существованіе огромнаго количества звѣздъ, слишкомъ слабыхъ для того, чтобы ихъ можно было видѣть невооруженнымъ глазомъ; Галилей насчиталъ, напримѣръ, 36 звѣздъ въ созвѣздіи Плеядъ, тогда какъ простому глазу доступно только шесть. Нѣкоторыя части Млечнаго Пути и туманныя пятна оказались состоя-

---

[1]) *Ludovico delle Colombe* въ трактатѣ *Contra il Moto della Terra*, перепечатанномъ въ національномъ изданіи сочиненій Галилея. Т. III.

щими изъ необъятнаго множества тѣсно скученныхъ слабыхъ звѣздочекъ; напримѣръ, въ Ясляхъ (звѣздная куча въ Ракѣ) онъ насчиталъ 40 звѣздъ.

121. Но самымъ поразительнымъ открытіемъ, о которомъ сообщаетъ *Звѣздный Вѣстникъ*, являются луны или спутники Юпитера. 7 января 1610 года Галилей направилъ свой телескопъ на Юпитеръ и замѣтилъ три слабыхъ звѣздочки, привлекшихъ его вниманіе своей близостью къ планетѣ и расположеніемъ — почти на одной прямой линіи съ нею. Въ слѣдующую ночь онъ опять отыскалъ ихъ и замѣтилъ, что онѣ перемѣнили свое положеніе относительно Юпитера, но не такъ, какъ это могло бы произойти отъ перемѣщенія планеты между ними.

Фиг. 54. Юпитеръ и его спутники 7 января 1610 года.
Изъ *Sidereus Nuntius*.

Двѣ ночи спустя, его догадка подтвердилась, и онъ сдѣлалъ выводъ, что новыя тѣла не суть неподвижныя звѣзды, но движущіяся свѣтила, сопровождающія Юпитера въ его движеніяхъ. 13 января было замѣчено четвертое тѣло, и Галилей въ скоромъ времени убѣдился, что эти четыре тѣла обращаются около Юпитера, какъ около центра. Съ характерной для него осторожностью онъ слѣдилъ за движеніями новыхъ тѣлъ изъ ночи въ ночь и ко времени обнародованія своей книги уже опредѣлилъ съ достаточной точностью періоды ихъ обращенія вокругъ Юпитера, колеблющіеся между 42 часами и 17 сутками; помимо этого, онъ изучалъ ихъ движенія цѣлыми годами.

Новооткрытыя тѣла Галилей назвалъ Медичейскими планетами, въ честь своего покровителя Козьмы Медичи, великаго герцога Тосканскаго; но очевидно было, что тѣла, обращающіяся вокругъ планеты на подобіе того, какъ сами планеты обращаются вокругъ солнца, образуютъ новый разрядъ тѣлъ, отличныхъ отъ собственно планетъ, и названіе **спутниковъ**, присвоенное Кеплеромъ этимъ новымъ тѣламъ, равно какъ и лунѣ, вошло во всеобщее употребленіе.

Открытіемъ спутниковъ Юпитера доказана была ошибочность старой докрины, что земля единственный центръ движенія; мало того, оно серьезно подорвало вѣру въ непогрѣшимость Аристотеля и Птоломея, безъ сомнѣнія, не подозрѣвавшихъ существованія подобныхъ тѣлъ; далѣе, лица, съ трудомъ соглашавшіяся признать вращеніе Меркурія и Венеры около видимо движущагося тѣла, — солнца, должны были умѣрить свои сомнѣнія при видѣ новыхъ спутниковъ, самымъ реальнымъ образомъ совершавшихъ оспариваемыя движенія, и, наконецъ, что важнѣе всего, исчезло весьма серьезное механическое затрудненіе въ признаніи коперниковой концепціи, по которой луна могла обращаться вокругъ движущейся земли, не отставая отъ нея,— вѣдь продѣлывали же нѣчто совершенно подобное спутники Юпитера.

Тѣ же самыя причины, по которымъ телескопическія открытія Галилея пріобрѣли высокую научную цѣнность, послужили препятствіемъ для сторонниковъ старыхъ воззрѣній, и они выступили съ цѣлымъ рядомъ памфлетовъ, изъ которыхъ нѣкоторые дошли до нашего времени и представляютъ

своеобразный интересъ. Напримѣръ, нѣкто *Мартинъ Горькій*, молодой нѣмецъ, занимавшійся подъ руководствомъ Кеплера, напечаталъ памфлетъ, въ которомъ, доказавши къ собственному удовольствію, что спутники Юпитера не существуютъ, онъ разсуждаетъ о томъ, что они представляютъ собой, на что они похожи и почему существуютъ. Другой писатель съ важностью доказывалъ, что поелику въ тѣлѣ человѣка находится только семь отверстій — глаза, уши, ноздри и ротъ,—то по аналогіи должно существовать лишь семь планетъ (считая солнце и луну), отнюдь не больше. Вскорѣ, однако, и другія лица подтвердили открытія Галилея, и противники его ударились въ другую крайность — стали утверждать, что у Юпитера гораздо больше спутниковъ. Однако, всѣ эти наблюденія оказались вымышленными, и до самаго послѣдняго времени (гл. XIII, § 295) извѣстно было только четыре спутника Юпитера, открытые Галилеемъ [1]).

122. Благодаря изданію *Вѣстника*, составившаго Галилею лестную репутацію, ему удалось привести къ желанному результату сношенія, которыя онъ велъ нѣкоторое время съ Тосканскимъ дворомъ. Хотя венеціанцы относились къ нему хорошо, однако, онъ начиналъ тяготиться своими обязанностями, такъ какъ ему хотѣлось посвящать больше времени изслѣдованіямъ и научной литературѣ. Отъ республики онъ врядъ ли могъ ожидать такой должности, какая ему была нужна, и потому онъ принялъ лѣтомъ 1610 года приглашеніе въ Пизанскій уни-

---

[1]) 9 сент. 1892 г. Барнардъ открылъ 5-го спутника Юпитера.

Прим. ред.

верситетъ вмѣстѣ съ должностью «перваго философа и математика» при великомъ герцогѣ Тосканскомъ, съ которой соединялся хорошій окладъ и никакихъ опредѣленныхъ обязанностей.

123. Незадолго до отъѣзда изъ Падуи онъ наблюдалъ въ свой телескопъ Сатурна, и ему показалось, что эта планета состоитъ какъ бы изъ трехъ частей, какъ это изображено на первомъ рисункѣ фиг. 67 (гл. VIII, § 154). Въ слѣдующіе разы онъ видѣлъ только центральное тѣло, и внѣшній видъ Сатурна долго озадачивалъ астрономовъ, пока загадка не была рѣшена Гюйгенсомъ въ 1655 году (гл. VIII, § 154).

Во Флоренціи первымъ его открытіемъ (октябрь 1610 года) было то, что Венера, чрезвычайно измѣнчивая въ блескѣ для простого глаза, въ телескопѣ представляется въ различныхъ фазахъ, подобно лунѣ. Этимъ доказано было, что Венера, какъ и луна, тѣло темное, заимствующее свой свѣтъ отъ солнца; такимъ образомъ, сходство ея съ землей стало еще очевиднѣе.

124. Рядъ телескопическихъ открытій завершился открытіемъ темныхъ пятенъ на солнцѣ. По собственному утвержденію Галилея, онъ впервые замѣтилъ ихъ въ концѣ 1610 года [1]), но, повидимому, не обратилъ тогда на нихъ особеннаго вниманія; и хотя онъ показывалъ ихъ нѣсколькимъ друзьямъ, какъ любопытный объектъ, однако, не дѣлалъ формаль-

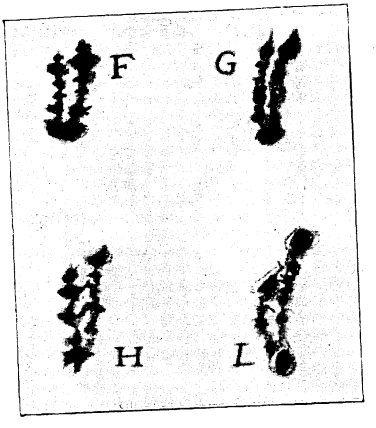
---

[1]) Въ письмѣ отъ 4 мая 1612 года онъ говоритъ, что видѣлъ ихъ восемнадцатью мѣсяцами раньше; въ *Разговорѣ о двухъ системахъ* онъ говоритъ, что видѣлъ ихъ еще въ то время, какъ читалъ лекціи въ Падуѣ, т.-е. не позже сентября 1610 года, такъ какъ онъ въ этомъ мѣсяцѣ переѣхалъ во Флоренцію.

наго объявленія о своемъ открытіи до мая 1612 года, когда это открытіе было сдѣлано, независимо отъ него, Гарріотомъ (§ 118) въ Англіи, *Іоанномъ Фабриціемъ* (1587—? 1615) въ Голландіи и іезуитомъ *Христофоромъ Шейнеромъ* (1575—1650) въ Германіи и обнародовано Фабриціемъ (іюнь 1611 года). Солнечныя пятна наблюдались уже раньше невооруженымъ глазомъ, но ихъ обыкновенно объясняли прохожденіемъ Меркурія по диску солнца. Присутствіе на солнцѣ «позорныхъ» темныхъ пятенъ, «измѣнчивость» ихъ формы и положенія, ихъ внезапное появленіе и исчезновеніе, — все это было весьма не по нутру сторонникамъ стараго взгляда, по которому небесныя тѣла нетлѣнны, совершенны и неизмѣнны. То обстоятельство (замѣченное всѣми первыми наблюдателями), что пятна перемѣщаются по диску солнца отъ восточнаго къ западному краю (если наблюдать въ полдень въ нашихъ широтахъ, то для невооруженнаго глаза слѣва направо), съ перваго взгляда, повидимому, подтверждало мнѣніе, между прочимъ, защищавшееся Шейнеромъ, что солнечныя пятна суть небольшія планеты, обращающіяся вокругъ солнца и кажущіяся темными объектами всякій разъ, когда имъ случается проходить между солнцемъ и наблюдателемъ. Въ трехъ письмахъ къ своему другу Вельзеру, богатому аугсбургскому купцу, написанныхъ въ 1612 и напечатанныхъ въ слѣдующемъ году [1]), Галилей, изложивши вполнѣ свои открытія, безпощадно разрушаетъ эти воззрѣнія; онъ доказываетъ, что солнечныя пятна должны находиться поблизости или на самой поверхности

---

[1]) *Historia e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari.*



Фиг. 55. Солнечныя пятна. Изъ *Macchie Solari.*

(Къ стр. 216).

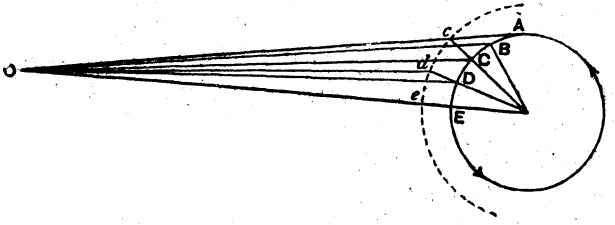
солнца; что наблюдаемыя движенія точно таковы, какими они должны быть, если пятна неразрывно связаны съ солнцемъ, которое обращается на своей оси приблизительно разъ въ мѣсяцъ, и, наконецъ, не желая вполнѣ высказываться, обращаетъ вниманіе на нѣкоторыя черты сходства ихъ съ облаками.

Одинъ изъ его доводовъ противъ взглядовъ Шейнера такъ простъ и въ то же время такъ убѣдителенъ, что мы считаемъ нелишнимъ воспроизвести его для иллюстраціи галилеева метода, хотя отъ самаго спора давно уже не осталось и слѣда.

Галилей замѣтилъ, что хотя пятно передвигается съ одного края солнечнаго диска на другой въ теченіе четырнадцати дней — все равно, проходитъ ли оно черезъ центръ солнечнаго диска, или болѣе короткій путь въ нѣкоторомъ отъ него разстояніи, однако, скорость ихъ движенія отнюдь не равномѣрна, а именно, у края пятно кажется движущимся гораздо медленнѣе, чѣмъ у центра. Это онъ объяснялъ дѣйствіемъ перспективнаго сокращенія, которое могло имѣть мѣсто только въ томъ единственномъ случаѣ, если бы пятна находились на поверхности солнца.

Пусть на фиг. 56 кругъ изображаетъ сѣченіе солнца плоскостью, проходящею черезъ наблюдателя, помѣщеннаго въ O, а точки A, B, C, D, E отдѣлены равными разстояніями на поверхности солнца и представляютъ собой положенія объекта на солнцѣ черезъ равные промежутки времени, при условіи, что солнце вращается равномѣрнымъ движеніемъ; тогда величина перемѣщенія изъ A въ B измѣряется для наблюдателя угломъ AOB, и оче-

видно, что оно покажется гораздо меньше перемѣщенія изъ D въ E, измѣряемаго угломъ DOE; вслѣдствіе этого, объектъ, неразрывно связанный съ солнцемъ, покажется движущимся изъ A въ B, т.-е. у солнечнаго края, гораздо медленнѣе, чѣмъ изъ D въ E, у центра. Съ другой стороны, если бы пятно было тѣломъ, обращающимся на нѣкоторомъ разстояніи отъ солнца, напримѣръ, по пунктирному кругу *cde* (причемъ точки *c, d, e* раздѣлены одинаковыми промежутками), тогда кажущееся перемѣщеніе изъ *c* въ *d*, измѣряемое угломъ *cOd*, будетъ



Фиг. 56. Доказательство Галилея, что солнечныя пятна не планеты.

лишь немногимъ меньше перемѣщенія изъ *d* въ *e*, измѣряемаго угломъ *dOe*. Достаточно было затѣмъ простого вычисленія (что Галилей и дѣлалъ неоднократно), чтобы выразить эти результаты въ числовой формѣ и доказать изъ прямого наблюденія, что разстояніе пятенъ отъ солнца самое ничтожное. Уклониться отъ такого вывода можно было лишь путемъ предположенія, что движеніе пятенъ, какъ самостоятельныхъ тѣлъ, вокругъ солнца происходитъ неправильнымъ образомъ, и именно такъ, что они всегда движутся быстрѣе, находясь между центромъ солнца и землей, какое бы положеніе

земля ни занимала въ данный моментъ; предположеніе это, съ одной стороны, не имѣетъ за себя никакихъ разумныхъ основаній, а съ другой находится въ полномъ противорѣчіи съ идеей равномѣрнаго движенія, за которую такъ крѣпко держалась средневѣковая астрономія.

Установленный такимъ образомъ фактъ вращенія солнца на оси, очевидно, могъ служить вѣскимъ аргументомъ въ пользу аналогичнаго вращенія земли, но, насколько намъ извѣстно, ни Галилей, ни его современники не замѣтили этой аналогіи. Что касается солнечныхъ пятенъ, то Галилей сдѣлалъ еще одно открытіе, именно, что центральная часть пятна темнѣе краевъ; на нѣкоторыхъ его рисункахъ (фиг. 55), какъ и на большей части современныхъ, весьма ясно замѣтна разграничительная линія между центральной частью (**тѣнью**) и менѣе темнымъ краемъ (**полутѣнью**), окружающимъ ее. Онъ замѣтилъ также, что пятна часто появляются группами и что отдѣльные члены группы измѣняютъ свое взаимное расположеніе, величину и видъ въ теченіе періода своего существованія; наконецъ, что пятна чаще всего наблюдаются въ двухъ зонахъ по обѣ стороны солнечнаго экватора, приблизительно соотвѣтствующихъ тропикамъ на земномъ шарѣ, и что за этими предѣлами они никогда не встрѣчаются.

Такія же наблюденія производились и другими лицами, располагавшими телескопомъ; между прочимъ, Шейнеру принадлежитъ честь опредѣленія, съ гораздо большей точностью, чѣмъ это сдѣлалъ Галилей, положенія солнечной оси и экватора и періода вращенія его.

125. Споръ Галилея съ Шейнеромъ относительно природы солнечныхъ пятенъ перешелъ, къ несчастью, въ личную ссору изъ-за правъ на открытіе ихъ,— ссору, сдѣлавшую Шейнера злѣйшимъ врагомъ Галилея и, быть можетъ, немало способствовавшую развитію враждебнаго къ нему отношенія со стороны іезуитовъ. Несомнѣнное первенство Галилея въ области новыхъ научныхъ идей, неуваженіе, обнаруженное имъ по отношенію къ установленнымъ традиціей авторитетамъ, и ѣдкіе сарказмы, которыми онъ осыпалъ своихъ оппонентовъ, создали ему массу враговъ въ научныхъ и философскихъ кружкахъ, особенно среди многочисленныхъ приверженцевъ Аристотеля, хотя, какъ Галилей имъ неустанно напоминалъ, ихъ методы мышленія и выводы были бы, вѣроятно, отвергнуты великимъ греческимъ философомъ, находись онъ въ живыхъ.

Въ 1611 году Галилей на короткое время съѣздилъ въ Римъ, отчасти, быть можетъ, потому, что замѣчалъ возраставшую враждебность къ своимъ взглядамъ среди ученыхъ и духовенства; здѣсь онъ встрѣченъ былъ съ большимъ почетомъ и былъ дружески принятъ и обласканъ нѣкоторыми кардиналами и другими высокопоставленными лицами.

Къ несчастью, онъ въ скоромъ времени вмѣшался въ споръ относительно значенія для науки наблюденія и разума, съ одной стороны, и авторитета Церкви и библіи — съ другой; споръ этотъ получилъ уже въ то время особенный характеръ и въ такомъ видѣ, хотя поле сраженія переходило отъ одной науки къ другой, продержался почти безъ перерыва вплоть до нашего времени.

Въ 1611 году былъ изданъ трактатъ, авторъ котораго доказывалъ, что существованіе спутниковъ Юпитера несогласно со священнымъ писаніемъ. Въ 1612 году Галилей совѣтовался съ кардиналомъ Конти касательно астрономическаго авторитета библіи и услышалъ отъ него мнѣніе, что библія, повидимому, расходится какъ съ аристотелевской доктриной о неизмѣняемости небесъ, такъ и съ ученіемъ Коперника о движеніи земли. Галилеевъ трактатъ о плавающихъ тѣлахъ, изданный въ 1612 г., вызвалъ новыя недоразумѣнія, но, съ другой стороны, кардиналъ Барберини (впослѣдствіи, подъ именемъ Урбана VIII, принимавшій главное участіе въ преслѣдованіи Галилея) особенно благодарилъ его за присылку экземпляра книги о солнечныхъ пятнахъ, въ которой Галилей впервые ясно и публично заявилъ себя приверженцемъ коперниковой системы. Въ томъ же году (1613) отецъ Кастелли, его другъ и послѣдователь, былъ назначенъ профессоромъ математики въ Пизѣ, съ обязательствомъ не читать лекцій о движеніи земли. Спустя нѣсколько мѣсяцевъ, Кастелли пустился въ разсужденія объ отношеніи библіи къ астрономіи въ домѣ великой герцогини и въ подтвержденіе своихъ взглядовъ сослался на Галилея; это заставило Галилея высказать свои мнѣнія въ письмѣ къ Кастелли, списки котораго стали циркулировать при дворѣ. Нѣсколькими мѣсяцами позже доминиканскій проповѣдникъ Каччини отвѣтилъ горячей проповѣдью на текстъ: «Мужи Галилейскіе, что стоите, зряще на небо?»—а въ 1615 году на Галилея былъ сдѣланъ тайный доносъ въ инквизицію на основаніи письма къ Кастелли и другихъ уликъ. Въ томъ же году онъ разработалъ

письмо къ Кастелли въ цѣлый трактатъ, подъ заглавіемъ: *Письмо къ великой герцогинѣ Христинѣ*, циркулировавшій въ спискахъ и напечатанный не ранѣе 1636 года. Разсужденія объ отношеніи нѣкоторыхъ мѣстъ библіи (какъ, напримѣръ, чудо Іисуса Навина) къ птоломеевой и коперниковой системѣ теперь потеряли значительную часть своего интереса; любопытно, однако, замѣтить, что Галилей рѣшаетъ вопросъ словами кардинала Баронія: «Намѣренія Святаго Духа заключаются въ томъ, чтобы учить насъ не тому, какъ движутся небеса, но тому, какъ придвинуться къ небесамъ» [1]) а нижеприведенное мѣсто даетъ отличное представленіе объ общемъ характерѣ его аргументаціи:

«Мнѣ кажется, что при обсужденіи естественныхъ проблемъ мы не должны отправляться отъ авторитета текстовъ священнаго писанія, но отъ чувственныхъ опытовъ и необходимыхъ доказательствъ. Ибо... природа неумолима и неизмѣняема и никогда не переступаетъ границъ предписанныхъ ей законовъ; она не заботится о томъ, доступны ли ея сокрытыя причины и методы творчества человѣческому уму, или нѣтъ; я полагаю, что все, касающееся дѣйствій природы, что можетъ сдѣлаться доступнымъ нашимъ глазамъ черезъ чувственный опытъ или быть уяснено путемъ необходимыхъ доказательствъ, не должно возбуждать сомнѣній, ни тѣмъ менѣе подвергаться осужденію на основаніи текстовъ священнаго писанія, которые могутъ скрывать въ своихъ словахъ совершенно противоположный смыслъ».

126. Между тѣмъ враги его проявили столь усиленную дѣятельность, что Галилей обезпокоился и счелъ необходимымъ, въ концѣ 1615 года, отправиться въ Римъ для самозащиты. Въ началѣ слѣдующаго года собраніе теологовъ, такъ-называемыхъ подготовителей судебныхъ дѣлъ святой инкви-

---

[1]) *Spiritui sancto mentem fuisse nos docere, quomodo ad Coelum eatur, non autem, quomodo Coelum gradiatur.*

зиціи, наряженное для испытанія коперниковыхъ доктринъ, дало слѣдующій отзывъ:

«Ученіе, что солнце находится въ центрѣ міра и неподвижно, ложно и нелѣпо, формально еретично и противно священному писанію, а ученіе, будто земля не лежитъ въ центрѣ міра и движется, вдобавокъ обладая суточнымъ вращеніемъ, ложно и нелѣпо съ философской точки зрѣнія, съ богословской же по меньшей мѣрѣ ошибочно».

Въ виду такого отзыва, рѣшено было сдѣлать Галилею выговоръ, и папа немедленно поручилъ кардиналу Беллярмину «призвать Галилея и увѣщевать его отказаться отъ означеннаго мнѣнія», что кардиналъ и исполнилъ [1]). Вслѣдъ за тѣмъ изданъ былъ декретъ, осуждавшій «означенныя мнѣнія» и занесшій въ извѣстный *Указатель запрещенныхъ книгъ* три сочиненія, защищавшія коперниковы взгляды, изъ которыхъ *De Revolutionibus* Коперника и другая книга были только оставлены подъ сомнѣніемъ, «дондеже не будутъ исправлены», третья же окончательно воспрещена. Необходимыя поправки къ *De Revolutionibus* были оффиціально обнародованы въ 1620 году и заключались въ немногихъ измѣненіяхъ, имѣвшихъ назначеніе представить существенные принципы книги въ видѣ чисто-математическихъ гипотезъ, придуманныхъ ради удобствъ вычисленія. Галилей въ общемъ былъ, повидимому, весьма доволенъ исходомъ процесса, поскольку онъ его касался, и, получивъ отъ кардинала Беллярмина удостовѣреніе въ томъ, что

---

[1]) Единственно важнымъ пунктомъ въ отношеніяхъ Галилея къ инквизиціи, возбуждающимъ серьезныя сомнѣнія, является вопросъ о строгости этого увѣщеванія. Вѣроятно, Галилею особенно воспретили «поддерживать, учить или защищать какимъ бы то ни было способомъ, словеснымъ или письменнымъ», опасную доктрину.

онъ не отказался отъ своихъ мнѣній и не раскаялся въ нихъ, онъ прожилъ въ Римѣ еще нѣсколько мѣсяцевъ, желая показать силу своей доброй репутаціи.

127. Слѣдующія нѣсколько лѣтъ Галилей, которому теперь уже перевалило за пятьдесятъ, сильно страдалъ отъ болѣзней и потому не проявлялъ особенной дѣятельности. Онъ велъ, однако, переписку съ испанскимъ дворомъ о методахъ опредѣленія долготы на морѣ при помощи юпитеровыхъ спутниковъ. Главная задача при нахожденіи долготы сводится къ опредѣленію солнечнаго времени въ данномъ мѣстѣ и въ какомъ-нибудь другомъ, долгота котораго извѣстна. Если, напримѣръ, полдень въ Римѣ наступаетъ часомъ раньше, чѣмъ въ Лондонѣ, то это значитъ, что солнце въ теченіе часа переходитъ съ римскаго меридіана на лондонскій, и, слѣдовательно, Римъ на 15° восточнѣе Лондона. На морѣ легко опредѣлить мѣстное время — стоитъ только изъ наблюденій опредѣлить моментъ наибольшей высоты солнца надъ горизонтомъ («непоправленный полдень»), но главное затрудненіе во времена Галилея и долго спустя (гл. X, §§ 197, 226) заключалось въ невозможности точнаго опредѣленія времени, соотвѣтствующаго начальному пункту. Надѣяться на правильный ходъ часовъ во время долгаго морского путешествія въ ту эпоху не было возможности, и, значитъ, требовались астрономическіе методы опредѣленія времени. Мысль Галилея заключалась въ томъ, что если бы научиться предсказывать движенія юпитеровыхъ спутниковъ, въ особенности же затменія ихъ, неизмѣнно происходящія при вступленіи спут-

ника въ тѣнь Юпитера, то можно было бы составить таблицу временъ, въ которыя затменія случаются для даннаго мѣста, напримѣръ, Рима; если морякъ опредѣлитъ мѣстное время затменія и затѣмъ сравнитъ его съ временемъ, указаннымъ въ таблицѣ, то ему легко будетъ узнать, насколько долгота его мѣстонахожденія разнится отъ долготы Рима. Сомнительно, разумѣется, чтобы движенія спутниковъ Юпитера въ то время могли предсказываться съ точностью, достаточной для того, чтобы этотъ методъ могъ быть употребленъ съ пользой; во всякомъ случаѣ, переписка по этому вопросу съ испанскимъ дворомъ ни къ чему не привела.

Въ 1618 году появилось три кометы, по поводу которыхъ Галилей вступилъ въ споръ съ іезуитомъ, по имени Грасси. Споръ получилъ, по обыкновенію, личную окраску и скоро перешелъ на общіе вопросы философіи и астрономіи. Конечные выводы Галилея были напечатаны въ 1623 году подъ заглавіемъ *Il Saggiatore* (пробирщикъ); мѣстами онъ говоритъ, хотя и косвеннымъ образомъ, о системѣ Коперника, памятуя эдиктъ 1616 года. Въ одномъ характерномъ мѣстѣ Галилей, напримѣръ, говоритъ:

«Такъ какъ приписываемое землѣ движеніе, которое я, въ качествѣ благочестиваго католика, считаю совершенно ложнымъ и не существующимъ, прекрасно объясняетъ массу различныхъ явленій, то я полагаю, что, при всей своей ложности, оно до нѣкоторой степени объясняетъ явленіе кометъ».

И далѣе, говоря о соперничающихъ системахъ Коперника и Тихо, онъ замѣчаетъ:

«Что касается коперниковой гипотезы, то, если мы, католики, не свободны отъ ошибокъ и слѣпота наша не озарена свѣтомъ Высшаго Разума, я не думаю, чтобы такая милость и счастье были намъ ниспосланы чрезъ аргументы и наблюденія Тихо».

Хотя въ научномъ отношеніи *Il Saggiatore* стоитъ ниже многихъ другихъ сочиненій Галилея, оно все-таки пользовалось репутаціей блестящаго полемическаго произведенія, и, несмотря на тонко замаскированный коперниканизмъ, книга настолько понравилась новому папѣ, Урбану VIII, которому она была посвящена, что онъ приказывалъ читать ее себѣ вслухъ за столомъ. Книга, однако, дала новое оружіе въ руки враговъ Галилея, и, быть можетъ, съ цѣлью ослабить ихъ вліяніе онъ отправился въ слѣдующемъ году въ Римъ засвидѣтельствовать свое почтеніе папѣ и поздравить его съ недавнимъ избраніемъ. Визитъ увѣнчался почти полнымъ успѣхомъ. Урбанъ нѣсколько разъ милостиво принималъ его у себя, обѣщалъ выхлопотать пенсію для его сына, одарилъ его и, наконецъ, отпустилъ съ рекомендательнымъ письмомъ къ новому великому герцогу Тосканскому, по нѣкоторымъ признакамъ относившемуся къ Галилею менѣе милостиво, чѣмъ его отецъ. Съ другой стороны, папа отказался выслушать просьбу Галилея объ отмѣнѣ декрета 1616 года.

128. Въ это время Галилей серьезно взялся за работу надъ большимъ астрономическимъ трактатомъ: *Разговоръ о двухъ главныхъ системахъ міра, птоломеевой и коперниковой,* задуманнымъ еще въ 1610 году; въ немъ онъ предполагалъ изложить свои астрономическіе труды и собрать всѣ возможныя доказательства въ пользу коперниковой системы. Онъ избралъ форму діалога отчасти изъ литературныхъ соображеній, а еще больше потому, что она давала ему возможность защищать коперникову систему устами вымышленныхъ лицъ, не

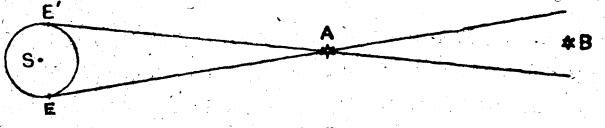
высказывая своихъ собственныхъ мнѣній. Рукопись была почти закончена въ 1629 году, а въ слѣдующемъ году Галилей отправился въ Римъ съ цѣлью получить разрѣшеніе на изданіе ея. Цензоръ внесъ въ книгу нѣкоторыя измѣненія и затѣмъ далъ желанное разрѣшеніе напечатать ее въ Римѣ, съ условіемъ, чтобы книга была представлена ему до окончательнаго выпуска изданія. Вскорѣ послѣ возвращенія Галилея во Флоренцію началась чума, изъ-за карантинныхъ неудобствъ пришлось перенести печатаніе книги изъ Рима во Флоренцію. На это Галилей получилъ разрѣшеніе, но трудность, съ которымъ онъ его добился, показывала, что римскій цензоръ все больше сомнѣвался насчетъ книги. Онъ послалъ въ Римъ для одобренія введеніе и заключеніе своей книги, гдѣ оно было, вѣроятно, слегка измѣнено, получилъ одобреніе всей книги отъ флорентинскаго цензора; книга, наконецъ, стала печататься, и въ началѣ 1632 года были готовы первые ея экземпляры, съ римскими и флорентинскими *imprimatur* — «печатать разрѣшается».

129. Разговоръ растянутъ на четыре дня и ведется тремя собесѣдниками, изъ коихъ Сальвіати — коперниканецъ, а Симпличіо — аристотеліанецъ, Сагредо же съ виду занимаетъ нейтральное положеніе, хотя при всякомъ удобномъ случаѣ или сразу соглашается съ Сальвіати, или поддается на его аргументы и нерѣдко присоединяется къ нему, осыпая насмѣшками доводы неудачника Симпличіо. Хотя многіе изъ аргументовъ и потеряли для насъ свой непосредственный интересъ и сама книга непомѣрно растянута, однако, ее и теперь еще можно читать, а образчики схоластической мудрости, вло-

женные въ уста Симпличіо, и опроверженіе ихъ остальными собесѣдниками способны развеселить даже современнаго читателя.

Многіе изъ аргументовъ приводились уже въ прежнихъ сочиненіяхъ Галилея, но въ разсматриваемой книгѣ они собраны и расположены въ систематическомъ порядкѣ, благодаря чему пріобрѣтаютъ большую силу и связность. Онъ заново обработалъ аристотелевскій догматъ о нетлѣнности и неизмѣняемости небесныхъ тѣлъ и показалъ, что онъ не только опровергается наблюденіями надъ луной, солнцемъ, кометами и новыми звѣздами, но и самъ по себѣ полонъ противорѣчія и темноты. Доводомъ въ пользу движенія земли служитъ существованіе спутниковъ Юпитера, несомнѣнныя фазы Венеры, предполагаемыя фазы Меркурія и измѣненія въ кажущемся діаметрѣ Марса; онъ настаиваетъ на этихъ доказательствахъ. Галилей особенно подчеркиваетъ большую простоту коперникова объясненія суточнаго движенія небесной сферы и планетныхъ движеній, причемъ подробно иллюстрируетъ эти преимущества. Онъ указываетъ на то, что по коперниковой гипотезѣ всѣ вращенія и обращенія совершаются въ одномъ направленіи (отъ запада къ востоку), тогда какъ гипотеза Птоломея требуетъ, чтобы одни движенія совершались въ одномъ направленіи, другія—въ другомъ. Кромѣ того, кажущееся суточное движеніе звѣздъ, представляющееся довольно простымъ при условіи, что звѣзды плотно прикрѣплены къ матеріальной сферѣ, является совершенно въ иномъ свѣтѣ, если, какъ соглашается даже Симпличіо, подобной сферы не существуетъ и каждая звѣзда движется сама по себѣ. Въ этомъ

случаѣ звѣзда, находящаяся у полюса, должна двигаться гораздо медленнѣе звѣзды, находящейся по близости экватора, такъ какъ ей приходится описывать гораздо меньшій кругъ за тотъ же самый промежутокъ времени; и далѣе — аргументъ, чрезвычайно характерный для манеры Галилея выводить заключенія изъ извѣстныхъ фактовъ, — благодаря предваренію равноденствій (гл. II, § 42, и IV, § 84) и проистекающей отсюда перемѣнѣ положенія полюса среди звѣздъ, тѣ звѣзды, которыя описываютъ маленькіе кружки и, значитъ, движутся медленно, должны въ то же время описывать большіе круги съ большей скоростью и въ обратномъ направленіи.



Фиг. 57. Дифференціальный методъ параллакса.

Приходится, такимъ образомъ, сочинять чрезвычайно сложныя махинаціи движеній для объясненія тѣхъ фактовъ, которые Коперникъ съ такой простотой и успѣхомъ объяснялъ вращеніемъ земли и простымъ перемѣщеніемъ оси ея вращенія.

Сальвіати обсуждаетъ также затрудненіе, состоящее въ томъ, что, вслѣдствіе годичнаго движенія земли, должно существовать кажущееся перемѣщеніе звѣздъ, и что если принять звѣзды на такомъ разстояніи, что это ихъ перемѣщеніе незамѣтно, то нѣкоторыя изъ нихъ должны быть по меньшей мѣрѣ такого же діаметра, какъ орбита, описываемая землей вокругъ солнца. Сальвіати указываетъ, что видимыя или угловыя величины неподвижныхъ звѣздъ

опредѣлить которыя чрезвычайно трудно, въ дѣйствительности вполнѣ иллюзорны, въ значительной степени являясь слѣдствіемъ оптическаго обмана — **иррадіаціи**, въ силу котораго яркій предметъ имѣетъ тенденцію казаться больше [1]), и что, слѣдовательно, нѣтъ причинъ предполагать звѣзды столь необъятно громадными. Онъ указываетъ, что самый надежный способъ обнаруженія годичнаго перемѣщенія звѣздъ, проистекающаго отъ движенія земли, состоитъ, быть можетъ, въ наблюденіи относительнаго перемѣщенія двухъ звѣздъ, взятыхъ на небѣ близко одна возлѣ другой (и потому лежащихъ приблизительно въ одномъ направленіи), изъ которыхъ одну, если она ярче другой, можно было бы предположить на болѣе близкомъ разстояніи отъ насъ. Если, напримѣръ, на фиг. 57 EE′ отмѣчаютъ два положенія земли на ея орбитѣ, а A и B двѣ звѣзды на различныхъ разстояніяхъ, но почти въ одномъ направленіи, то наблюдателю въ E звѣзда A, очевидно, покажется влѣво отъ B, а шесть мѣсяцевъ спустя, когда наблюдатель находится въ E′, A покажется лежащей вправо отъ B. Подобное перемѣщеніе одной звѣзды относительно другой, близко возлѣ нея находящейся, гораздо легче будетъ замѣтить, нежели то же перемѣщеніе относительно какой-нибудь общей для всѣхъ звѣздъ точки, вродѣ полюса.

Сальвіати указываетъ на то, что точныхъ наблюденій въ этомъ родѣ еще не производилось и что

---

[1]) Это иллюстрируется общеизвѣстнымъ рисункомъ — изображеніемъ двухъ рядомъ стоящихъ кружковъ одинаковаго діаметра: бѣлаго — на черномъ полѣ и чернаго — на бѣломъ полѣ. Другой иллюстраціей можетъ послужить чрезмѣрная толщина накаленнаго волокна въ современной электрической лампочкѣ.

телескопъ могъ бы оказаться весьма полезнымъ для этой цѣли. Дѣйствительно, этотъ методъ **двойной звѣзды** или **дифференціальный методъ параллакса** привелъ двумя столѣтіями позже къ первому успѣшному опредѣленію указаннаго движенія (гл. XIII, § 278).

130. Приложеніе открытыхъ Галилеемъ законовъ движенія тѣлъ къ проблемѣ движенія земли открываетъ читателю *Разговора* совершенно новое поле. Его великое открытіе, пролившее совершенно новый свѣтъ на механику солнечной системы, въ существенныхъ чертахъ представляетъ собой первый изъ формулированныхъ впослѣдствіи Ньютономъ трехъ законовъ движенія: *каждое тѣло неизмѣнно пребываетъ въ первоначальномъ состояніи покоя или равномѣрнаго прямолинейнаго движенія до тѣхъ поръ, пока не будетъ выведено изъ этого состоянія дѣйствіемъ приложенной къ нему силы.* Оставляя пока въ сторонѣ разсужденія о томъ, что такое сила, первое ясное опредѣленіе которой дано было Ньютономъ (Галилей же понималъ ее весьма несовершенно), мы можемъ истолковать этотъ законъ въ томъ смыслѣ, что тѣлу не въ большей мѣрѣ присуще стремленіе замедлить свое движеніе или прекратить его, чѣмъ ускорить или возобновить его, и что всякое измѣненіе въ скорости или направленіи движущагося тѣла слѣдуетъ объяснять дѣйствіемъ на него какого-либо другого тѣла или во всякомъ случаѣ какой-нибудь опредѣленной причины. Такъ, камень, пущенный вдоль по дорогѣ, останавливается благодаря тренію, происходящему между нимъ и почвой, мячъ, подброшенный въ воздухъ, поднимается вверхъ все медленнѣе и медленнѣе и, нако-

нецъ, падаетъ на землю по причинѣ притяженія, оказываемаго на него землей и называемаго нами тяжестью.

Такъ какъ невозможно вполнѣ изолировать тѣло отъ всѣхъ остальныхъ, то мы не можемъ экспериментальнымъ путемъ создать такой порядокъ вещей, при которомъ тѣло продолжало бы двигаться неопредѣленно долгое время въ одномъ и томъ же направленіи и съ одинаковой скоростью; можно, однако, доказать, что чѣмъ больше мы удаляемъ тѣло отъ вліянія окружающихъ, тѣмъ меньше измѣненій претерпѣваетъ оно въ своемъ движеніи. Такимъ образомъ, вышеуказанный законъ, какъ и большая часть научныхъ законовъ, является абстракціей такого порядка вещей, къ которому въ природѣ мы наблюдаемъ лишь приближеніе. Въ *Разговорѣ* Галилей приводитъ примѣръ съ шаромъ, катящимся по гладкой наклонной плоскости. Если шаръ толкнуть вверхъ, то движеніе его постепенно замедляется; если пустить его внизъ, оно постепенно ускоряется. Это справедливо въ томъ случаѣ, если плоскость совершенно гладка, какъ хорошо выстроганная доска, и уголъ наклоненія не очень малъ. Если мы представимъ себѣ, что опытъ производится на идеальной плоскости, совершенно гладкой, то результатъ долженъ получиться тотъ же самый, какъ бы ничтожно ни было наклоненіе плоскости. Значитъ, если представить себѣ плоскость совершенно ровной, не наклоненной ни вверхъ, ни внизъ, то мы должны ожидать, что движеніе не будетъ ни замедляться, ни ускоряться, но продолжаться безъ измѣненія.

Онъ приводитъ и другіе общеизвѣстные примѣры стремленія тѣла, находящагося въ движеніи, продол-

жать его — всадника, падающаго черезъ голову лошади, если она внезапно остановится, или предметы, находящіеся въ каютѣ движущагося корабля и раздѣляющіе его движеніе — такъ что тѣло падаетъ въ такой каютѣ точно такимъ же образомъ, какъ если бы она находилась въ покоѣ; значитъ, въ дѣйствительности оно при паденіи все время сохраняетъ то же самое поступательное движеніе, которое оно раздѣляло съ кораблемъ и всѣмъ, что на немъ находится. Вопреки общепринятому мнѣнію, Сальвіати утверждаетъ, что камень, пущенный съ вершины корабельной мачты, упадетъ у ея основанія, а не позади; но онъ не говоритъ, былъ ли этотъ опытъ произведенъ кѣмъ-нибудь.

Установивши разъ навсегда этотъ механическій принципъ, легко раздѣлаться со многими возраженіями противъ предполагаемаго движенія земли. Примѣръ камня, пущеннаго съ верхушки башни, который яко бы долженъ при паденіи отклониться къ западу, если бы земля быстро двигалась отъ запада къ востоку, вполнѣ аналогиченъ примѣру съ камнемъ, пущеннымъ съ вершины мачты движущагося корабля. Движеніе къ востоку, раздѣляемое покоющимся на вершинѣ башни камнемъ, съ этой башней и съ землей, не нарушается во время его паденія, и это находится въ полномъ согласіи съ теоріей Коперника, что камень долженъ упасть у подножія башни [1]). Подобнымъ же образомъ, то

[1]) Въ дѣйствительности, благодаря тому, что верхушка башни описываетъ бо́льшую дугу, чѣмъ ея основаніе, камень въ началѣ паденія движется къ востоку быстрѣе, чѣмъ въ концѣ, и потому падаетъ на землю нѣсколько восточнѣе башни. Это перемѣщеніе, однако, весьма незначительно; его можно обнаружить лишь болѣе деликатными экспериментами, чѣмъ какіе были доступны Галилею.

обстоятельство, что облака, вообще атмосфера, летающія въ ней птицы и свободные предметы на поверхности земли не обнаруживаютъ тенденціи отставать отъ нея въ ея быстромъ движеніи къ востоку, не оказывающемъ на нихъ, повидимому, ни малѣйшаго вліянія, вполнѣ аналогично съ фактомъ, что мухи, летающія въ каютѣ корабля, и находящіеся въ немъ свободные предметы не подвергаются вліянію равномѣрнаго поступательнаго движенія судна (хотя неправильныя движенія его и толчки отзываются на нихъ). Такимъ же образомъ устраняется и возраженіе, что пушечное ядро, которымъ выстрѣлили на западъ, должно, по гипотезѣ Коперника, упасть дальше, чѣмъ ядро, пущенное при такихъ же условіяхъ на востокъ; но далѣе указывается, что, благодаря несовершенству артиллерійскаго искусства, экспериментъ не можетъ быть произведенъ съ точностью, необходимой для полученія рѣшительныхъ результатовъ.

Самой неудачной частью *Разговора* оказывается бесѣда четвертаго дня, о приливахъ, для которыхъ Галилей предлагаетъ объясненіе, основанное исключительно на движеніи земли, съ презрѣніемъ отвергая объясненіе Кеплера и другихъ — оказавшееся вполнѣ правильнымъ, — что они вызываются причинами, исходящими изъ луны. Впрочемъ, едва ли можно удивляться тому, что рудиментарныя механическія и математическія познанія, находившіяся въ распоряженіи Галилея, не позволили ему удачно справиться съ проблемой, которую даже неизмѣримо болѣе могучіе методы современной науки рѣшаютъ весьма несовершенно (гл. XI, § 248, и гл. XIII, § 292).

131. Если не по формѣ, то по духу книга Галилея является могучимъ, мало того — неопровержимымъ доказательствомъ истинности коперниковой системы. Галилей пытался оградить себя — отчасти формой изложенія, отчасти весьма замѣчательнымъ предисловіемъ, которое было не только прочитано и одобрено предержащими цензурными властями, но, по всей вѣроятности, даже отчасти и составлено римскимъ цензоромъ и папой. Мы въ немъ видимъ старательно и тонко замаскированную иронію, и оно является любопытнымъ свидѣтельствомъ ума или серьезности папы и цензора, одобрившихъ книгу въ слѣдующихъ выраженіяхъ:

«Благоразумный читатель! Нѣсколько лѣтъ тому назадъ въ Римѣ былъ выпущенъ спасительный эдиктъ, ради предотвращенія опасныхъ соблазновъ нашего вѣка наложившій справедливый запретъ на пиѳагорейское мнѣніе о движеніи земли. Нѣкоторые безразсудно утверждали, что декретъ явился результатомъ не трезваго изслѣдованія, но недостойной злобы; поговаривали даже, что виновникамъ его, какъ совершенно невѣжественнымъ въ астрономическихъ вопросахъ, не слѣдовало бы своими поспѣшными запрещеніями обрѣзывать крылья мыслящихъ умовъ. Усердіе не позволяетъ мнѣ молчать, когда я слышу столь неосновательныя жалобы. Будучи вполнѣ освѣдомленъ насчетъ этого благоразумнаго распоряженія, я счелъ умѣстнымъ открыто выступить на общественной аренѣ, въ качествѣ свидѣтеля чистой истины. Я находился въ это время въ Римѣ, гдѣ удостоился не только аудіенціи, но и одобренія именитѣйшихъ прелатовъ тогдашняго двора; самый декретъ изданъ былъ не раньше, чѣмъ мнѣ дано было знать о немъ. Вотъ почему я намѣренъ въ данномъ случаѣ показать иноземнымъ народамъ, что объ этомъ извѣстно въ Италіи, а особенно въ Римѣ, какъ это могутъ себѣ и сами представить заальпійскія націи. Я желаю вмѣстѣ съ тѣмъ, совокупивъ всѣ надлежащія соображенія касательно системы Коперника, показать имъ, что объ этомъ извѣстно было Римскому двору до запрещенія и что изъ нашей страны исходятъ не только душеспасительныя доктрины, но и удивительныя открытія для услажденія разума... Надѣюсь, изъ вышеизложенныхъ доводовъ міръ убѣдится, что, если другія націи и больше

насъ плавали по морю, мы не меньше ихъ успѣли въ наукахъ и что наше возвращеніе къ утвержденію неподвижности земли и принятію противоположнаго мнѣнія за математическій капризъ проистекаетъ не изъ невниманія къ мнѣніямъ другихъ, но изъ руководившаго нами благочестія религіозности и сознанія Божественнаго Всемогущества и слабости человѣческаго разума».

132. Разумѣется, многочисленные враги Галилея не дались въ обманъ и очень скоро догадались, въ чемъ дѣло; небывалый успѣхъ книги усилилъ только ихъ раздраженіе; имъ удалось убѣдить папу, что въ лицѣ Симпличіо — игравшаго самую жалкую роль въ *Разговорѣ* — изображена его святѣйшая особа, и его самолюбіе было жестоко уязвлено; скоро стало очевидно, что изданіе книги не легко сойдетъ съ рукъ Галилею. Въ іюнѣ 1632 года назначена была спеціальная коммиссія для разслѣдованія дѣла—не совсѣмъ обыкновеннымъ порядкомъ, вѣроятно, въ уваженіе къ Галилею, — а два мѣсяца спустя запрещенъ былъ дальнѣйшій выпускъ экземпляровъ; въ сентябрѣ уже вышелъ папскій эдиктъ, которымъ Галилей призывался въ Римъ на судъ инквизиціи. Онъ, видимо, испугался этого приглашенія и пытался уклониться отъ явки, прося заступничества у Тосканскаго двора и ссылаясь на свой преклонный возрастъ и немощи; однако, послѣ значительнаго промедленія, когда папа распорядился привезти его въ случаѣ надобности силой и въ оковахъ, онъ долженъ былъ покориться и отправиться въ Римъ въ началѣ 1633 года. Съ нимъ обошлись необычайно милостиво; въ то время какъ даже именитѣйшихъ обвиняемыхъ инквизиціи заключали въ темницы, ему позволено было жить у своего друга Никколини, Тосканскаго посланника, въ теченіе всего процесса за вычетомъ трехъ не-

дѣль, проведенныхъ имъ въ помѣщеніяхъ инквизиціи, въ великолѣпной квартирѣ одного изъ ея чиновниковъ, причемъ онъ могъ переписываться со своими друзьями, прогуливаться въ саду и пользоваться другими привилегіями. На первомъ допросѣ передъ инквизиціей, въ отвѣтъ на обвиненіе въ нарушеніи декрета 1616 года (§ 126), онъ объяснилъ, что не понялъ, что декретъ или увѣщанія, которымъ онъ подвергался, запрещали ему учить о коперниковой системѣ, какъ о чистой гипотезѣ, и что иного смысла онъ этой доктринѣ не придавалъ. Между первымъ и вторымъ допросомъ коммиссія, занимавшаяся разсмотрѣніемъ галилеевой книги, доложила, что въ ней ясно защищаются и поддерживаются пагубныя доктрины, и Галилей, которому генеральный коммиссаръ инквизиціи посовѣтовалъ частнымъ образомъ вести себя смирнѣе и покорнѣе, на слѣдующемъ допросѣ сознался, что, перечитывая свою книгу, онъ увидѣлъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ ея болѣе строгія доказательства коперниковой доктрины, чѣмъ ему казалось сначала. Угнетенное состояніе духа, до котораго онъ дошелъ въ это время, ясно доказывается его предложеніемъ написать дополненіе къ *Разговору,* въ которомъ были бы разбиты по мѣрѣ возможности его собственные доводы въ пользу Коперника. На послѣднемъ допросѣ, 21 іюня, ему грозили пыткой [1]), а на слѣдующій день былъ объявленъ приговоръ. Его обвинили въ томъ, что онъ «вѣрилъ и поддерживалъ доктрины — ложныя и противныя святому и божественному писанію, — будто солнце находится въ центрѣ міра, а не движется

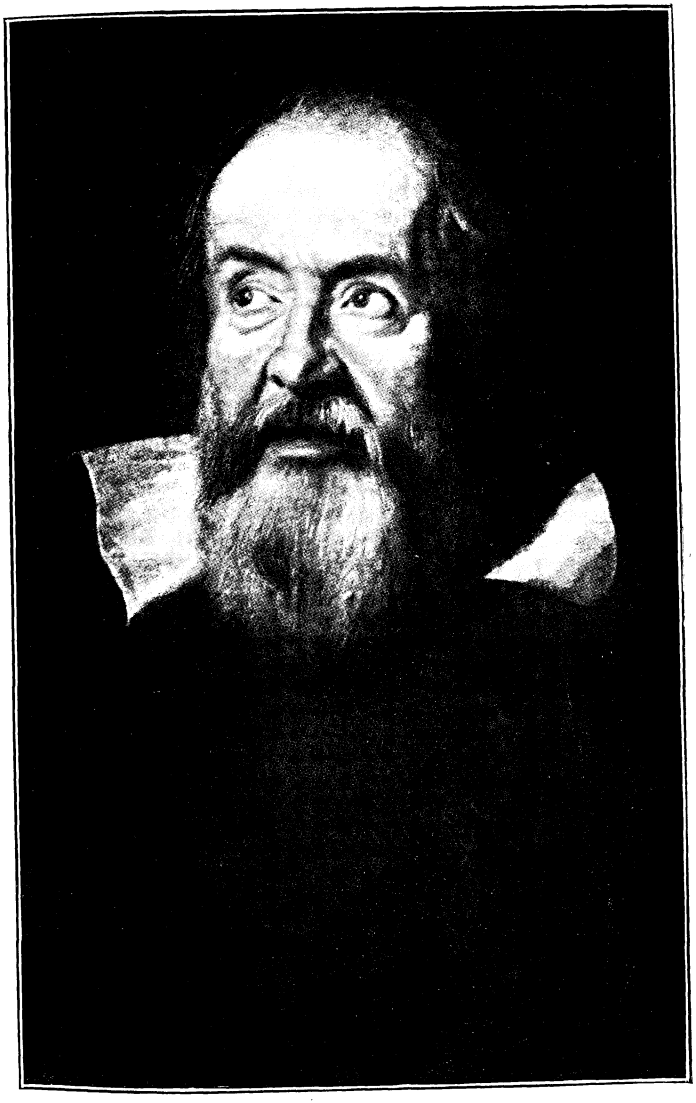
[1]) Оффиціальное выраженіе: *Et ei dicto quod dicat veritatem, alias devenietur ad torturam.*

отъ востока къ западу, а земля будто движется, а не покоится въ центрѣ міра; также въ томъ, что онъ считалъ вѣроятнымъ мнѣніе, по декрету объявленное противнымъ священному писанію». Въ наказаніе ему предписали «отречься, проклясть и возненавидѣть вышесказанныя заблужденія»; отреченіе онъ долженъ былъ произнести на колѣняхъ; затѣмъ, его присудили къ «формальному заключенію при святой инквизиціи» и къ еженедѣльному чтенію семи покаянныхъ псалмовъ въ теченіе трехъ лѣтъ. На слѣдующій день папа замѣнилъ ему тюремное заключеніе ссылкой въ деревенскую виллу великаго герцога, расположенную недалеко отъ Рима; 24 іюня Галилей отправился туда [1]). Въ отвѣтъ на просьбу о позволеніи вернуться во Флоренцію онъ получилъ сперва разрѣшеніе переѣхать въ Сіену, а въ концѣ ему позволили поселиться въ своей виллѣ въ Арчетри, поблизости Флоренціи, подъ условіемъ не выѣзжать изъ нея безъ позволенія; между тѣмъ, за всѣми сношеніями его съ учеными и пріятелями учрежденъ былъ строгій надзоръ.

Процессъ этотъ показалъ въ невыгодномъ свѣтѣ какъ Галилея, такъ и его преслѣдователей. Что касается этихъ послѣднихъ, то по тогдашнему времени они обошлись съ Галилеемъ необычайно мягко; весьма вѣроятно, что многіе участники процесса старались причинить ему какъ можно меньше вреда и только по настояніямъ враговъ его принуждены были обратить вниманіе на явное нарушеніе Гали-

---

[1]) Три дня, 21—24 іюня, являются единственными, которые Галилей могъ провести въ настоящей тюрьмѣ; у насъ нѣтъ основаній думать, что онъ провелъ ихъ гдѣ-нибудь, кромѣ великолѣпныхъ комнатъ, въ которыхъ онъ прожилъ большую часть апрѣля.



Галилей.

(Къ стр. 238).

леемъ декрета 1616 года. Галилея нетрудно упрекнуть въ трусости, но нужно помнить, съ одной стороны, что ему въ это время было около семидесяти лѣтъ и здоровье его было сильно расшатано, а съ другой, что Римская инквизиція, не будучи столь жестокой, какъ Испанская, представляла собой могучую силу въ началѣ XVI столѣтія; еще при жизни Галилея (1600) въ Римѣ былъ сожженъ живымъ Джордано Бруно за сочиненія, поддерживавшія, помимо религіозныхъ и политическихъ ересей, коперникову астрономію и ниспровергавшія традиціонную философію Аристотеля. Сверхъ того, было бы несправедливо считать его отреченіе плодомъ боязни за личную безопасность, и вотъ почему; не говоря уже о томъ, много ли выиграла бы его любимая наука, если бы его казнили или заключили навѣки въ темницу, нельзя сомнѣваться, что Галилей былъ вполнѣ искренно преданъ своей Церкви, и хотя онъ изо всѣхъ силъ старался убѣдить нѣкоторыхъ служителей ея въ правильности своихъ взглядовъ и смягчить редакцію декрета 1616 года, однако, когда онъ убѣдился, что папа, святая инквизиція и остальное духовенство серьезно относятся къ запрещенію, онъ былъ, по всей вѣроятности, готовъ повѣрить, что въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ взгляды его ошибочны, хотя, сообразуясь съ наблюденіями и чистымъ разсудкомъ, онъ не могъ понять, въ чемъ и почему. Какъ у многихъ ученыхъ, рѣзко разграничивались уваженіе къ Церкви, съ одной стороны, и пытливый духъ научнаго изслѣдованія — съ другой.

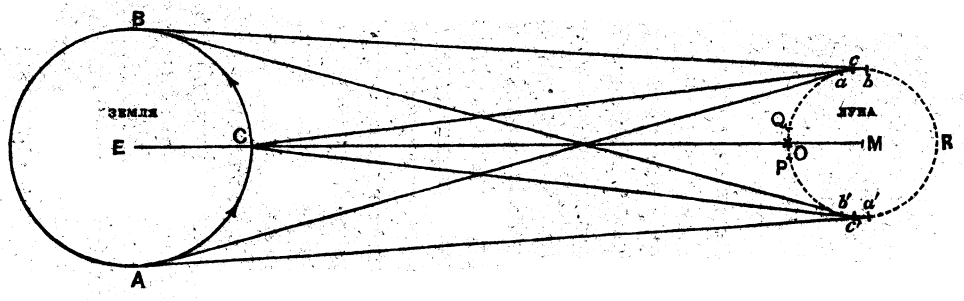
Копіи съ приговора Галилея и его отреченія немедлено разосланы были по Италіи и во всѣ

римско-католическіе центры; выпущенъ былъ декретъ Конгрегаціи Индекса, которымъ *Разговоръ* присоединялся къ тремъ коперниковымъ книгамъ, осужденнымъ въ 1616 году, и къ кеплерову *Сокращенію коперниковой астрономіи* (гл. VII, § 145), которое внесено было въ *Индексъ* недолго спустя. Любопытно, что эти пять книгъ попали еще въ изданіе *Указателя запрещенныхъ книгъ*, вышедшее въ 1819 году (съ дополненіями, выпущенными въ 1821), но уже не встрѣчаются въ слѣдующемъ изданіи, 1835 года.

133. Остатокъ жизни Галилея можно изложить въ двухъ словахъ. За исключеніемъ нѣсколькихъ мѣсяцевъ, проведенныхъ имъ «съ дозволенія начальства» во Флоренціи, гдѣ онъ лѣчился, онъ непрерывно жилъ въ Арчетри, подъ строгимъ присмотромъ агентовъ святой инквизиціи; онъ терпѣлъ чрезвычайныя стѣсненія въ сношеніяхъ съ своими друзьями, ему мѣшали вести свои занятія въ томъ направленіи, въ которомъ ему хотѣлось. Къ тому же онъ недомогалъ и испытывалъ домашнія огорченія; въ 1634 году онъ потерялъ горячо любимую дочь, инокиню сосѣдняго монастыря. При всемъ томъ духъ его не былъ надломленъ, и онъ продолжалъ нѣкоторые важные труды, начатые въ молодости. Онъ продолжалъ изучать свои любимыя медичейскія планеты и методъ нахожденія долготы на морѣ, основанный на ихъ движеніяхъ (§ 127); по этому поводу онъ переписывался съ голландскимъ правительствомъ. Онъ сдѣлалъ еще одно открытіе относительно луны, о которомъ стоитъ сказать нѣсколько словъ.

Искони было извѣстно, что при обращеніи луны вокругъ земли мы наблюдаемъ однѣ и тѣ же отмѣ-

тины въ одномъ и томъ же положеніи на лунномъ дискѣ, другими словами, что луна обращаетъ къ землѣ одну и ту же сторону. Галилей пожелалъ изслѣдовать, дѣйствительно ли это такъ, или же видъ луннаго диска какъ-нибудь измѣняется. Онъ думалъ, что если линія, соединяющая центры луны и земли, всегда проходитъ (что представлялось весьма вѣроятнымъ) черезъ одну и ту же точку лунной поверхности, то тѣмъ не менѣе перемѣна мѣста наблюдателя на землѣ дастъ ему возможность временами наблюдать часть скрытаго полушарія луны. Простѣйшее изъ такихъ перемѣщеній дается суточнымъ движеніемъ земли. Допустимъ, для простоты, что наблюдатель находится на земномъ, а луна въ то же время на небесномъ экваторѣ. Пусть большій кругъ на фиг. 58 изображаетъ земной экваторъ, а меньшій — сѣченіе луны плоскостью экватора. За 12-тичасовой промежутокъ вращеніе земли переноситъ наблюдателя изъ A, гдѣ онъ видитъ восходъ луны, въ B, гдѣ онъ наблюдаетъ ея закатъ. Когда онъ находится въ C, на линіи, соединяющей центры земли и луны, то точка O приходится на центръ луннаго диска, и тогда часть cOc' для него видима, часть cRc' невидима. Когда же онъ находится въ A, то въ центрѣ приходится точка P, справа отъ O, и онъ видитъ тогда часть aPa', т.-е. видитъ $c'a'$ и не видитъ ca. Точно такъ же, находясь въ B, онъ видитъ часть cb и не видитъ $b'c'$, причемъ точка Q приходится въ центрѣ диска. Такимъ образомъ, въ теченіе сутокъ часть aOb' (отмѣченная пунктиромъ) постоянно видима наблюдателю, а bRa' (также отмѣченная пунктиромъ) постоянно сокрыта отъ него, части же acb и $a'c'b'$ попеременно по-



Фиг. 58. Суточная либрація луны.

являются и исчезаютъ. Другими словами, когда луна восходитъ, то мы видимъ небольшую часть за верхнимъ краемъ ея диска, когда же она заходитъ, мы наблюдаемъ небольшую часть обращеннаго отъ земли полушарія за противоположнымъ краемъ, который въ это время станетъ верхнимъ. Это объясненіе приложимо и въ томъ случаѣ, когда наблюдатель находится не на экваторѣ, для этого требуется только нѣсколько болѣе сложное геометрическое построеніе. Подобнымъ же образомъ, при переходѣ луны во время ея движенія къ сѣверу отъ экватора или обратно, мы наблюдаемъ больше или меньше южной или сѣверной половины ея. Этотъ рядъ перемѣнъ — простѣйшій изъ нѣсколькихъ такого же характера, извѣстный нынѣ подъ названіемъ либрацій луны — казался Галилею весьма вѣроятнымъ; онъ предпринялъ провѣрку путемъ наблюденія нѣкоторыхъ отмѣтинъ вблизи луннаго края и сразу же открылъ, что разстояніе ихъ отъ края измѣняется, что вполнѣ согласовалось съ его теоретическими выкладками. Болѣе точному изслѣдованію помѣшало ослабленіе зрѣнія, перешедшее (въ концѣ 1636 года) въ полную слѣпоту.

Наиболѣе важнымъ дѣломъ этихъ лѣтъ явилось окончаніе большой книги, въ которой онъ собралъ и дополнилъ всѣ свои открытія въ механикѣ; она называлась *Математическія разсужденія и доказательства касательно двухъ новыхъ наукъ, относящихся до механики и мѣстнаго движенія*. Она была написана въ формѣ разговора между тѣми же тремя собесѣдниками, которые фигурировали и въ *Разговорѣ о системахъ*, но въ литературномъ отношеніи далеко уступала первой книгѣ. Мы не ста-

немъ касаться значительной части книги, трактующей объ условіяхъ, при которыхъ тѣла удерживаются въ покоѣ дѣйствіемъ приложенныхъ къ нимъ силъ (статика); точно такъ же мы оставимъ въ сторонѣ разсмотрѣнныя въ ней проблемы относительно сопротивленія тѣлъ при ломаніи или сгибаніи, хотя въ этой области Галилей открылъ новое поле изслѣдованія. Гораздо больше важности съ точки зрѣнія астрономической — и, вѣроятно, принципіальной — представляетъ для насъ то, что онъ называетъ наукой о мѣстномъ движеніи[1]), трактующей о движеніи тѣлъ. На основаніи своихъ первыхъ опытовъ (§ 116) онъ строитъ теорію падающихъ тѣлъ, въ которой впервые встрѣчается плодотворная идея о **равномѣрно-ускоренномъ движеніи** или **равномѣрномъ ускореніи движенія**, т.-е. такомъ движеніи, при которомъ тѣло получаетъ черезъ равные промежутки времени равныя приращенія скорости. Онъ показываетъ, что движеніе падающаго тѣла — насколько ему не препятствуетъ воздухъ — носитъ именно такой характеръ и что скорость этого движенія, какъ было уже упомянуто, одинакова для всѣхъ тѣлъ, хотя числовая его оцѣнка не совсѣмъ точна. Изъ этого основного закона онъ получаетъ цѣлый рядъ математическихъ выводовъ, связывающихъ воедино пройденное пространство, скорость и время паденія, все равно, будетъ ли тѣло падать свободно, или катиться по наклонной плоскости. Онъ излагаетъ совершенно правильно элементарную теорію метанія снарядовъ, въ которой полнѣе формулируетъ законъ инерціи (§ 130), хотя опредѣленіе

[1]) Соотвѣтствуетъ нѣкоторымъ отдѣламъ современной *динамики* или (правильнѣе) *кинематики* и *кинетики*.

Галилея все же много уступаетъ обобщенію Ньютона:

Пусть мы метнули или бросили тѣло по горизонтальной плоскости, устранивши всѣ препятствія. Изъ вышесказаннаго ясно, что его движеніе будетъ продолжаться равномѣрно и непрерывно по означенной плоскости, если она простирается неопредѣленно далеко.

Повидимому, Галилей понималъ, что тѣло можетъ одновременно обладать движеніями въ двухъ различныхъ направленіяхъ, изъ которыхъ каждое можно разсматривать независимо отъ другого; напримѣръ, если выстрѣлить ядромъ изъ пушки въ горизонтальномъ направленіи, то движеніе его внизъ, обусловливаемое вѣсомъ, совершенно не зависитъ отъ горизонтальнаго его перемѣщенія, и потому оно достигаетъ земли за такой же точно промежутокъ времени, въ теченіе котораго просто упало бы на земь съ высоты, достигнутой имъ вслѣдствіе выстрѣла; но Галилей не даетъ общей формулировки этого принципа, впослѣдствіи выраженнаго Ньютономъ въ его второмъ законѣ движенія.

Трактатъ о *Двухъ новыхъ наукахъ* оконченъ былъ въ 1636 году, но такъ какъ въ Италіи Галилею запрещено было печатать книги, то онъ былъ изданъ съ небольшимъ опозданіемъ въ Лейденѣ въ 1638 году. Въ томъ же году зрѣніе его, поправившееся было послѣ перваго пораженія, пропало совершенно, а спустя четыре года (8 января 1642 г.) онъ скончался.

134. О главныхъ научныхъ открытіяхъ Галилея мы уже говорили. Телескопическія открытія, на которыхъ, главнымъ образомъ, зиждется его популяр-

ность, обратили на себя, быть можетъ, болѣе вниманія, чѣмъ слѣдовало; многія изъ нихъ почти одновременно съ Галилеемъ были сдѣланы другими, а остальныя, являясь неизбѣжнымъ слѣдствіемъ изобрѣтенія телескопа, не могли заставить долго себя ждать. Но остроуміе, съ которымъ Галилей воспользовался ими, какъ аргументами въ пользу коперниковой системы, громадное значеніе для послѣдней его динамическихъ открытій, ясность и блескъ діалектики, съ которой онъ развивалъ доводы въ пользу своихъ взглядовъ и опровергалъ воззрѣнія своихъ противниковъ, въ связи съ преслѣдованіями, которымъ онъ подвергался,—все это вмѣстѣ взятое безповоротно рѣшило споръ въ пользу системы Коперника. Хотя въ астрономическихъ руководствахъ помѣщались рядомъ очерки птоломеевой и коперниковой системы, причемъ авторы, если были добрыми католиками, обыкновенно высказывались, въ болѣе или менѣе общихъ выраженіяхъ, въ пользу первой, однако, старая астрономія потеряла свою жизнеспособность; новые успѣхи въ области астрономическихъ теорій безусловно говорили въ пользу Коперника, и въ обширной научной перепискѣ Ньютона и его современниковъ истинность коперниковой системы почти никогда не бывала предметомъ обсужденія.

Открытія Галилея въ динамикѣ, только отчасти касающіяся астрономіи, во многихъ отношеніяхъ являются самымъ замѣчательнымъ его вкладомъ въ науку. Въ то время какъ астрономію онъ строилъ на основаніяхъ, заложенныхъ предыдущими поколѣніями, въ динамикѣ приходилось не развивать или совершенствовать существующую науку, но

создавать новую. Отъ предшественниковъ онъ получилъ въ наслѣдіе лишь ошибочныя преданія и смутныя идеи; отбросивъ ихъ, онъ долженъ былъ разработать ясныя основныя понятія, придумать опыты и произвести наблюденія, истолковать результатъ своихъ опытовъ и вывести математическія слѣдствія изъ полученныхъ простѣйшихъ законовъ. Если смотрѣть съ точки зрѣнія современной науки, то полученные имъ положительные результаты мы не назовемъ многочисленными, но ихъ оказалось достаточно для утвержденія прочнаго базиса, на которомъ послѣдующіе ученые воздвигли свою надстройку.

Реформу въ методахъ научнаго изслѣдованія, которая совершалась въ теченіе семнадцатаго вѣка и которой слѣдуетъ приписать быстрый прогрессъ естественныхъ наукъ, съ этого времени обыкновенно связываютъ съ именемъ англичанина Франциска Бэкона (1561—1627). Достоинства бэконовой теоріи научнаго изслѣдованія оцѣниваются критиками весьма различно, но нѣтъ никакого сомнѣнія въ томъ, что попытки его приложить ее къ нѣкоторымъ частнымъ случаямъ увѣнчались полной неудачей, и можно съ полнымъ правомъ поставить вопросъ, не представляютъ ли научные методы, о которыхъ Галилей неоднократно, хотя и мимоходомъ, упоминаетъ и которые онъ блестяще примѣнялъ на дѣлѣ, значительной части того истинно цѣннаго, что заключается въ философіи науки Бэкона, причемъ еще отсутствовали бэконовскія ошибки. Мы уже говорили о частыхъ протестахъ Галилея противъ ходячаго метода изслѣдованія научныхъ вопросовъ путемъ толкованія текстовъ изъ Аристотеля, Пто-

ломея или другихъ писателей, равно какъ и о постоянныхъ его указаніяхъ на необходимость обращаться непосредственно къ наблюденію фактовъ. Соглашаясь съ Бэкономъ въ этихъ существенныхъ пунктахъ, онъ, однако, отличался отъ него въ томъ, что на ряду съ полученіемъ новыхъ результатовъ изъ ранѣе установленныхъ положеній путемъ математическихъ или иныхъ процессовъ точнаго сужденія, онъ считалъ также важнымъ пользоваться этими выводами, при сравненіи съ новыми опытными данными, для провѣрки предварительно составленныхъ гипотезъ. Этотъ методъ доказательства, лежащій въ основѣ почти всѣхъ важнѣйшихъ научныхъ изслѣдованій, едва ли не лучше всего описанъ словами Галилея въ приложеніи къ частному случаю:

«Примемъ это пока за постулатъ, въ справедливости котораго мы убѣдимся впослѣдствіи, когда увидимъ, что другія заключенія, построенныя на этой гипотезѣ, самымъ точнымъ образомъ согласуются съ опытомъ» [1]).

---

[1]) Изъ *Двухъ новыхъ наукъ*.

ГЛАВА VII.

Кеплеръ.

«Его знаменитые законы явились плодомъ размышленій цѣлой жизни,—размышленій, по большей части безпочвенныхъ и безуспѣшныхъ... Но имени Кеплера суждено было безсмертіе, въ награду за безмѣрное терпѣніе, съ которымъ онъ провѣрялъ свои гипотезы черезъ сравненіе съ наблюденіями, за чистосердечіе, съ которымъ онъ признавалъ ошибку за ошибкой, и за настойчивость и изобрѣтательность, съ которыми онъ возобновлялъ свои попытки разгадать тайну природы».

Джевонсъ.

135. Іоаннъ Кеплеръ родился въ 1571 году, семью годами позже Галилея, въ Вейлѣ, въ Вюртембергѣ; родители его жили въ чрезвычайной бѣдности, хотя отецъ претендовалъ на благородное происхожденіе. Въ Вейлѣ преобладали католики, но Кеплеры были протестанты, каковое обстоятельство неоднократно становилось Кеплеру поперекъ дороги въ различныя эпохи его жизни; впрочемъ, отецъ его никакъ не могъ назваться ревностнымъ протестантомъ, ибо поступилъ въ армію знаменитаго герцога Альбы, посланнаго въ Нидерланды усмирять возстаніе, вызванное насиліями испанцевъ.

Раннее дѣтство Кеплера протекло почти въ непрерывномъ хвораніи [1]); принимая во вниманіе его

---

[1]) Кеплеръ родился семимѣсячнымъ и всю жизнь отличался хилымъ сложеніемъ; вдобавокъ у него очень рано испортилось зрѣніе. Врядъ ли онъ и могъ заниматься чѣмъ-нибудь въ ран-

физическую слабость и проблески громадныхъ умственныхъ способностей, родители прочили его въ духовные. Проучившись, съ громадными пропусками, — частью по нездоровью, частью изъ-за домашнихъ обязанностей — въ нѣсколькихъ элементарныхъ училищахъ, онъ посланъ былъ въ 1584 году на общественный счетъ въ монастырскую школу въ Адельбергъ, а два года спустя, въ монастырскую же школу высшаго разряда (нѣчто вродѣ гимназіи), въ Маульброннъ; школа эта давала право поступленія въ Тюбингенскій университетъ, въ то время крупный центръ протестантскаго богословія.

Въ 1588 году онъ получилъ степень баккалавра словесныхъ наукъ, а въ слѣдующемъ поступилъ на философскій факультетъ Тюбингенскаго университета.

Здѣсь онъ подпалъ подъ вліяніе Мэстлина, профессора математики, частнымъ образомъ преподававшаго ему принципы коперниковой системы, хотя оффиціальныя лекціи его имѣли предметомъ традиціонную астрономію.

Въ 1591 году Кеплеръ получилъ степень магистра, вторымъ изъ четырнадцати кандидатовъ, а затѣмъ всецѣло посвятилъ себя изученію богословія.

136. Въ 1594 году протестантскія провинціи Штиріи обратились въ Тюбингенскій университетъ съ просьбой указать лектора по математикѣ (съ астрономіей) для высшей школы въ Грацѣ; университетъ предложилъ это мѣсто Кеплеру. Не обладая

немъ дѣтствѣ: до двѣнадцати лѣтъ ему приходилось исполнять домашнія работы у своего отца, гдѣ онъ не могъ почерпнуть никакихъ познаній. *Прим. переводч.*

ни спеціальными познаніями, ни особеннымъ влеченіемъ къ требуемому предмету, онъ, естественно, колебался принять предложеніе, но, наконецъ, согласился на него, подъ непремѣннымъ, однако, условіемъ, что это не лишаетъ его права на занятіе церковной должности въ Вюртембергѣ. Въ Грацѣ спросъ на высшую математику былъ, повидимому, не особенно великъ; въ первый годъ математическія лекціи Кеплера привлекли весьма немногихъ слушателей, во второй годъ — совсѣмъ никого; чтобы не лишиться доходовъ, ему пришлось преподавать элементы другихъ предметовъ. Кромѣ того, на обязанности его лежало редактированіе календаря, отъ котораго ожидались не только обыкновенныя астрономическія свѣдѣнія, вродѣ тѣхъ, какія мы привыкли встрѣчать въ современныхъ календаряхъ, но и астрологическія сообщенія болѣе или менѣе интереснаго характера, какъ, напримѣръ, предсказанія погоды и замѣчательныхъ событій, указанія счастливыхъ и несчастливыхъ дней и т. п. Первый календарь Кеплера, на 1595 годъ, содержалъ въ себѣ нѣсколько удачныхъ предсказаній погоды, благодаря чему онъ пріобрѣлъ репутацію прорицателя и астролога, сохранявшуюся за нимъ всю жизнь.

Между тѣмъ, оффиціальныя обязанности, очевидно, оставляли ему массу досуга, который онъ съ обычной энергіей употреблялъ на возможно болѣе тщательное ознакомленіе съ астрономіей и на размышленія объ этомъ предметѣ.

По собственнымъ его словамъ, «были три вещи — число, величина и движенія небесныхъ тѣлъ, относительно которыхъ онъ съ особеннымъ рвеніемъ доискивался, почему онѣ таковы, а не иныя»; мно-

голѣтнія упорныя размышленія на эту тему привели его, наконецъ, къ результату, которымъ онъ остался чрезвычайно доволенъ, именно, къ числовой зависимости, связывающей разстояніе нѣкоторыхъ планетъ отъ солнца съ извѣстными геометрическими фигурами, такъ-называемыми правильными тѣлами (изъ которыхъ кубъ, безъ сомнѣнія, всѣмъ знакомъ); означенная числовая зависимость не очень точна и вообще не имѣетъ рѣшительно никакого значенія [1]). Это открытіе, съ подробнымъ описаніемъ попытокъ, приведшихъ къ нему, какъ и массы другихъ попытокъ, ровно ни къ чему не приведшихъ, обнародовано было въ 1596 году, въ книгѣ, часть названія которой можно перевести слѣдующимъ образомъ: *Введеніе въ трактатъ о мірѣ, содержащее въ себѣ тайну вселенной;* обыкновенно ее называютъ *Mysterium Cosmographicum*. Содержаніе этой книги представляло, по всей вѣроятности, больше интереса и цѣнности для современниковъ Кеплера, чѣмъ для насъ, но даже и для тѣхъ, кто меньше всего расположенъ былъ придавать какое-нибудь значеніе его выводамъ, книга являлась доказательствомъ громадныхъ астрономическихъ познаній и необычайнаго остроумія автора; и Тихо Браге, и Галилей, получившіе по экземпляру книги, признали въ авторѣ восходящее свѣтило астрономіи.

---

[1]) Кеплеръ бралъ правильныя тѣла въ такомъ порядкѣ: кубъ, тетраэдръ, додекаэдръ, икосаэдръ, октаэдръ, затѣмъ вписывалъ и описывалъ около нихъ сферы съ такимъ разсчетомъ, что радіусы ихъ оказались пропорціональны разстояніямъ отъ солнца шести планетъ: Сатурна, Юпитера, Марса, Земли, Венеры и Меркурія.

137. Въ 1597 году Кеплеръ женился. Въ слѣдующемъ году религіозныя волненія, продолжавшіяся уже нѣсколько лѣтъ, особенно усилились по милости эрцгерцога Фердинанда Австрійскаго (впослѣдствіи императора Фердинанда II), который, по возвращеніи изъ паломничества въ Лоретто, возбудилъ въ своихъ владѣніяхъ рядъ жестокихъ преслѣдованій противъ протестантовъ; одной изъ мѣръ его въ этомъ направленіи было изгнаніе изъ Штиріи всѣхъ протестантскихъ священниковъ и преподавателей (1598). Кеплеръ бѣжалъ въ Венгрію, но черезъ нѣсколько недѣль вернулся, по особому разрѣшенію эрцгерцога, послѣдовавшаго, очевидно, совѣту іезуитовъ, надѣявшихся обратить астронома. Такъ какъ преслѣдованія значительно сократили число слушателей Кеплера, то ему очень трудно было добиться аккуратной уплаты жалованья, а усилившееся вліяніе католиковъ дѣлало его положеніе все болѣе и болѣе непрочнымъ. Предложеніе Тихо оказалось какъ нельзя болѣе кстати, и въ 1600 году, какъ мы уже говорили (гл. V, § 108), Кеплеръ навѣстилъ его въ Бенатекѣ и въ Прагѣ. Осенью онъ вернулся въ Грацъ, въ нерѣшительности относительно того, соглашаться ли на предложеніе Тихо; но когда онъ потерялъ мѣсто въ Грацѣ изъ-за своихъ протестантскихъ убѣжденій, то уѣхалъ въ Прагу въ концѣ того же года.

138. Вскорѣ послѣ смерти Тихо Кеплеръ назначенъ былъ ему въ преемники въ званіи придворнаго математика императора Рудольфа (1602), но только на половинномъ окладѣ; впрочемъ, даже и это жалованье уплачивалось ему чрезвычайно неаккуратно; всю жизнь онъ непрерывно жалуется на отчаян-

ныя матеріальныя обстоятельства, преслѣдовавшія его въ послѣдніе годы и въ Грацѣ. Инструменты Тихо не достались ему, но такъ какъ у него было мало расположенія либо искусства къ наблюденію, то, надо думать, наука отъ этого не много потеряла; къ счастью, послѣ нѣкоторыхъ препирательствъ съ наслѣдниками, ему удалось завладѣть большей частью драгоцѣнныхъ наблюденій Тихо; въ теченіе слѣдующихъ 25 лѣтъ своей жизни онъ занимался, главнымъ образомъ, разработкой этихъ наблюденій въ усовершенствованную теорію солнечной системы. Прежде, однако, чѣмъ ему удалось добиться существенныхъ результатовъ въ этомъ направленіи, онъ успѣлъ издать нѣсколько трудовъ меньшей важности—напримѣръ, двѣ брошюры о новой звѣздѣ, появившейся въ 1604 году, и трактатъ о приложеніи оптики къ астрономіи (напечатанный въ 1604 г. подъ заглавіемъ, начинавшимся такъ: *Ad Vitellionem Paralipomena quibus Astronomiae pars optica traditur...*), самой интересной и драгоцѣнной частью котораго является значительное улучшеніе въ теоріи астрономической рефракціи (гл. II, § 46, и гл. V, § 110). Въ позднѣйшемъ трактатѣ по ошибкѣ (*Діоптрика, 1611 г.*) помѣщено описаніе устройства телескопа при помощи двухъ двояковыпуклыхъ чечевицъ; эта конструкція телескопа пользуется большимъ распространеніемъ въ наше время и являлась крупнымъ усовершенствованіемъ сравнительно съ галилеевымъ инструментомъ (гл. VI, § 118), одна изъ чечевицъ котораго была двояковогнута; но, повидимому, Кеплеръ или самъ не обладалъ механическимъ искусствомъ, необходимымъ для сооруженія телескопа по его плану, или не могъ найти свѣдущаго

Кеплеръ.

(Къ стр. 254).

мастера; весьма вѣроятно, что противникъ Галилея, Шейнеръ (гл. VI, §§ 124, 125), первый употребилъ въ дѣло (около 1613 года) такого рода инструментъ.

139. Мы уже упоминали (гл. V, § 108), что когда Тихо распредѣлялъ между своими помощниками занятія на обсерваторіи, то Кеплеру поручено было изученіе планеты Марса, вѣроятно, потому, что это представляло больше трудностей, чѣмъ задачи, поставленныя другимъ. Уже съ Коперника извѣстно было, что планеты, включая землю, обращаются вокругъ солнца по орбитамъ, во всякомъ случаѣ не очень отличающимся отъ круга, и что уклоненія отъ равномѣрнаго кругового движенія могли быть грубо представлены системой эксцентриковъ и эпициклов. Эти уклоненія были, однако, весьма различны для различныхъ планетъ, напримѣръ, очень малы для Венеры, сравнительно велики для Марса и еще больше для Меркурія. *Прусскія таблицы*, вычисленныя Рейнгольдомъ по Копернику (гл. V, § 94), вскорѣ стали предсказывать небесныя движенія съ большими погрѣшностями, въ 4° или 5°, обнаруженными Тихо и Кеплеромъ; такимъ образомъ, принципы, на которыхъ были построены эти таблицы, оказывались, повидимому, ложными.

Вскорѣ стало ясно, что рѣшить задачу всего возможнѣе было бы путемъ изученія движеній той планеты, которая обнаруживала наибольшія уклоненія отъ кругового движенія. Для Меркурія имѣлось очень мало сносныхъ наблюденій, тогда какъ для Марса оказалась масса систематическихъ наблюденій Тихо; поручивъ Кеплеру изученіе этой планеты, Тихо обнаружилъ удивительную прони-

цательность, которую Кеплеръ и оправдалъ со всѣмъ пыломъ своего неутомимаго усердія. Такъ какъ особая система эпицикловъ, придуманная Коперникомъ (гл. IV, § 87), оказалась непригодной, то Кеплеръ принялся изобрѣтать другія геометрическія схемы, результаты которыхъ можно было бы сравнивать съ наблюденіями. Такъ какъ положеніе Марса на небѣ есть комбинированный результатъ движеній Марса и Земли по своимъ орбитамъ, причемъ неправильности обѣихъ орбитъ, повидимому, безнадежно перепутывались, то ясно, какое громадное упрощеніе внесъ Кеплеръ, когда ему удалось, при помощи остроумной комбинаціи своевременныхъ наблюденій, отдѣлить неправильности, порождаемыя движеніемъ Земли, отъ неправильности движенія Марса и, такимъ образомъ, получить возможность сосредоточить свое вниманіе исключительно на Марсѣ. Его плодовитое воображеніе создавало гипотезу за гипотезой, за комбинаціей комбинацію эксцентриковъ, эпицикловъ и эквантовъ; онъ вычислялъ результаты каждой изъ нихъ и самымъ тщательнымъ образомъ свѣрялъ ихъ съ наблюденіями; однажды ему удалось придти къ геометрической схемѣ, расходившейся съ наблюденіями не больше, чѣмъ на 8′ [1]). Человѣкъ менѣе честнаго ума или менѣе убѣжденный въ необходимости подчинить теорію фактамъ, когда между ними обнаруживалось разногласіе, быть можетъ, удовольствовался бы этой степенью точности или счелъ бы непослушныя наблюденія Тихо ошибочными. Кеплеръ думалъ иначе:

---

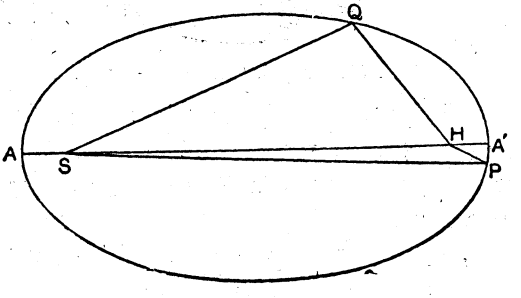
[1]) Двѣ звѣзды на разстояніи 4′ едва представляются раздѣльными человѣку съ средней силой зрѣнія.

«Такъ какъ Божественная благость даровала намъ въ лицѣ Тихо Браге добросовѣстнаго наблюдателя, изъ наблюденій котораго явствуетъ ошибка въ 8′, сдѣланная въ этомъ вычисленіи... то мы по всей справедливости должны съ благодарностью принять и воспользоваться этимъ даромъ Божіимъ... Ибо если бы я желалъ пренебречь 8′ долготы, то давно бы уже въ достаточной мѣрѣ исправилъ гипотезу, раскрытую въ главѣ XVI. Но такъ какъ пренебречь невозможно было, то эти самыя 8′ повели къ полному преобразованію астрономіи и сдѣлались предметомъ большей части этого труда» [1]).

140. Онъ снова принялся за работу и, перепробовавъ другія комбинаціи круговъ, рѣшилъ, что орбита Марса должна быть оваломъ. Сперва онъ остановился на яйцеобразномъ овалѣ, съ одного конца болѣе широкомъ, чѣмъ съ другого, но вскорѣ оставилъ эту мысль. Наконецъ, онъ попробовалъ взять простѣйшую овальную кривую, **эллипсъ** [2]), и къ неопи-

[1]) *Комментаріи о движеніяхъ Марса*, часть II, конецъ XIX главы.

[2]) Эллипсъ представляетъ собой одну изъ нѣсколькихъ кривыхъ, такъ-называемыхъ коническихъ сѣченій, т.-е. такихъ, которыя получаются отъ сѣченія конуса плоскостью; эта замкнутая кривая, сумма разстояній каждой точки которой отъ двухъ постоянныхъ точекъ внутри ея, называемыхъ **фокусами**, есть величина постоянная.

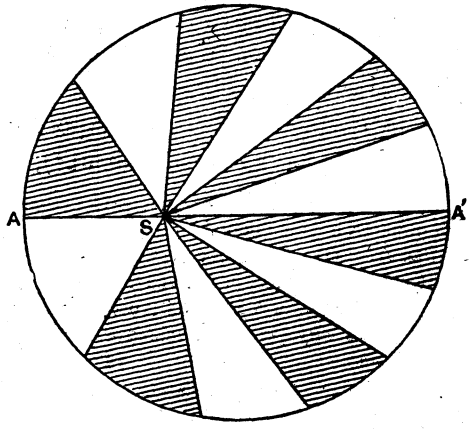


Фиг. 59. Эллипсъ.

Если на фиг. 59 S и H обозначаютъ фокусы, а P,Q двѣ любыя точки кривой, то сумма разстояній HP,SP равна суммѣ разстояній SQ,QH и, кромѣ того, длинѣ эллипса AA′ (большая ось). Отношеніе разстоянія SH къ AA′ называется **эксцентрицитетомъ** и служитъ удобной мѣрой отличія эллипса отъ круга.

санному своему удовольствію нашелъ, что онъ вполнѣ удовлетворяетъ условіямъ задачи, если помѣстить солнце въ фокусѣ эллипса, описываемаго Марсомъ.

Далѣе необходимо было формулировать законъ измѣненія скорости движенія планеты въ различныхъ частяхъ ея орбиты. Здѣсь Кеплеръ также перепробовалъ массу гипотезъ, причемъ потерялъ не мало времени, путаясь въ математическихъ трудностяхъ задачи, но, къ счастію, въ результатѣ со-

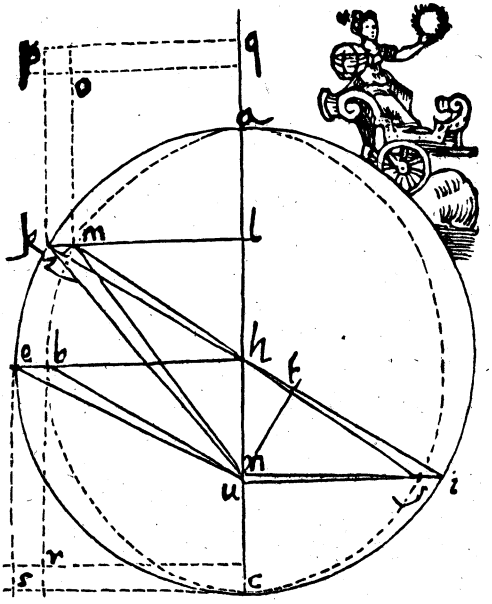


Фиг. 60. Второй законъ Кеплера.

мнительной процедуры уравненія ошибокъ, открылъ простой законъ, согласовавшійся съ наблюденіемъ. Онъ нашелъ, что планета быстро движется вблизи солнца, а медленно — въ отдаленіи отъ него, такимъ образомъ, что площади, описываемыя линіей, соединяющей солнце съ Марсомъ, всегда пропорціональны временамъ. Напримѣръ, на фиг. 60 [1]) дви-

[1]) Эллипсъ здѣсь болѣе растянутъ, нежели дѣйствительная орбита Марса, точное изображеніе которой глазъ не отличилъ бы отъ круга. На фигурѣ эксцентрицитетъ $\frac{1}{3}$, Марсовой орбиты — $\frac{1}{10}$.

женіе Марса всего быстрѣе въ точкѣ A, ближайшей къ фокусу S, гдѣ находится солнце, наименѣе быстро въ A′, а бѣлыя и заштрихованныя части фигуры обозначаютъ равныя площади, соотвѣтствующія движенію планеты за равные промежутки времени. Достигнувъ этого результата, Кеплеръ выра-



Фиг. 61. Діаграмма Кеплера, иллюстрирующая законы планетныхъ движеній. Изъ *Комментарій о движеніяхъ Марса.*

зилъ свой восторгъ фигурой побѣды въ углу діаграммы (фиг. 61), изображающей послѣднюю стадію его доказательства.

141. Такимъ образомъ, для Марса найдено было два важныхъ закона, извѣстныхъ подъ названіемъ двухъ первыхъ законовъ Кеплера:

1. Планета описываетъ эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце.

2. Прямая линія, соединяющая планету съ солнцемъ, описываетъ равныя площади въ равные промежутки времени.

Полная исторія открытія ихъ съ изложеніемъ вышеупомянутыхъ результатовъ и массой выводовъ и слѣдствій меньшей важности на ряду съ безчисленными отступленіями и причудливыми замѣчаніями о ходѣ изслѣдованія напечатана была въ 1609 году въ книгѣ значительнаго объема, *Комментаріи о движеніяхъ Марса* [1]).

142. Хотя вышепоименованные два закона планетныхъ движеній были вполнѣ установлены только для Марса, Кеплеръ утверждалъ, что и орбита Земли должна представлять собой нѣкотораго рода овалъ, и, очевидно, былъ убѣжденъ, — это убѣжденіе поддерживалось въ немъ вѣрой въ гармонію природы, — что всѣ планеты подчиняются одинаковымъ законамъ. Взглядъ этотъ выраженъ въ посвященіи книги императору Рудольфу, заключающемъ въ себѣ шутливое описаніе его трудовъ въ видѣ войны съ мятежнымъ богомъ брани, Марсомъ, котораго онъ, въ концѣ-концовъ, кладетъ связаннымъ къ ногамъ императора, въ качествѣ новаго вѣрноподданнаго. Но такъ какъ у него много родичей въ эѳирныхъ пространствахъ — отецъ Юпитеръ, дѣдъ Сатурнъ, милая сестра Венера, вѣрный братъ Меркурій, — тоскующихъ по немъ, какъ и онъ по нимъ, по причинѣ сходства ихъ привычекъ, то онъ умо-

---

[1]) *Astronomia nova* αἰτιολόγητος *seu Physica coelestis, tradita commentariis de motibus Stellae Martis. Ex Observationibus G. V. Tychonis Brahe.*

ляетъ императора какъ можно скорѣе выслать экспедицію для полоненія ихъ и снабдить Кеплера «военной силой», дабы онъ могъ снарядить приличную армію.

Хотя столь деликатно испрошенное пособіе выплачивалось весьма неаккуратно, однако, Кеплеръ постоянно имѣлъ въ виду «экспедицію»; другими словами — онъ усердно работалъ надъ задачей — распространить эллиптическую теорію на остальныя планеты и составить таблицы планетныхъ движеній, основанныя на наблюденіяхъ Тихо, — задачей, которую онъ давно уже себѣ поставилъ.

143. Въ 1611 году его покровитель Рудольфъ принужденъ былъ отречься отъ престола въ пользу своего брата Матвѣя, который очень мало интересовался астрономіей и даже астрологіей; такъ какъ положеніе Кеплера стало теперь болѣе шаткимъ, чѣмъ когда бы то ни было, то онъ вступилъ въ переговоры съ правительствомъ Верхней Австріи, окончившіеся тѣмъ, что ему предложено было небольшое жалованье при условіи исполненія различныхъ обязанностей преподавателя математики въ высшей школѣ въ Линцѣ, столичномъ городѣ, составленія новой карты этой провинціи и окончанія своихъ планетныхъ таблицъ. Онъ рѣшилъ пока остаться при Рудольфѣ.

Въ томъ же году Кеплеръ лишился жены, давно уже страдавшей отъ тѣлеснаго и умственнаго разстройства.

Въ слѣдующемъ году (1612) скончался Рудольфъ, и Кеплеръ переѣхалъ въ Линцъ, гдѣ вступилъ въ отправленіе своихъ новыхъ обязанностей, сохранивъ, однако, за собой званіе императорскаго математика;

иногда даже ему удавалось получать часть жалованья, присвоеннаго этой должности. Въ 1613 году онъ вступилъ во второй бракъ, послѣ тщательнаго обсужденія относительныхъ достоинствъ одиннадцати невѣстъ, какъ видно изъ характернаго письма его къ одному изъ пріятелей; заботы о снабженіи виномъ своего новаго хозяйства привели его къ изданію брошюры, не лишенной математическаго интереса, трактующей о наилучшемъ способѣ измѣренія емкости бочки съ кривыми боками [1]).

144. Въ 1618—1621 годахъ (въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ самые тревожные годы его жизни) онъ издалъ три цѣнныхъ труда — *Сокращеніе коперниковой астрономіи, Гармонію міра* [2]) и трактатъ о *Кометахъ*.

Второй и самый важный изъ нихъ, напечатанный въ 1619 году, хотя главная идея его зародилась въ умѣ Кеплера въ началѣ 1618 года, онъ считалъ продолженіемъ *Mysterium Cosmographicum* (§ 136). Его мистическій и склонный къ размышленіямъ темпераментъ постоянно заставлялъ его искать соотношеній между различными числовыми величинами, встрѣчающимися въ солнечной системѣ; по счастливому наитію, онъ попытался найти связь между размѣрами орбитъ различныхъ планетъ и временами ихъ обращенія вокругъ солнца; послѣ цѣлаго ряда неудачныхъ попытокъ онъ открылъ простое и важное соотношеніе, извѣстное подъ именемъ третьяго закона Кеплера:

---

[1]) Въ ней содержатся начатки метода безконечно - малыхъ.
[2]) *Harmonices Mundi, Libri V.*

Квадраты временъ обращенiй двухъ планетъ (считая и землю) около солнца пропорцiональны кубамъ ихъ среднихъ разстоянiй отъ него.

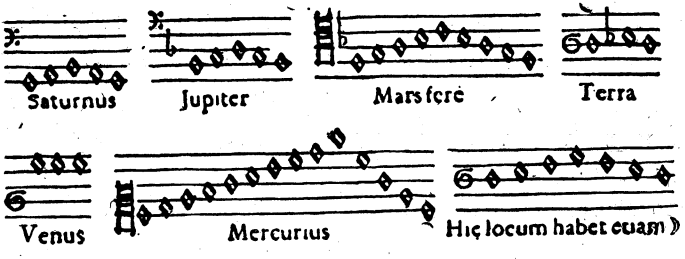
Если, напримѣръ, мы выразимъ времена обращенiя различныхъ планетъ, принявъ одно изъ нихъ за единицу (удобнѣе всего взять перiодъ обращенiя земли, т.-е. годъ), и тѣмъ же способомъ выразимъ ихъ разстоянiя черезъ разстоянiе земли отъ солнца, то времена обращенiя планетъ, взятыхъ въ такомъ порядкѣ: Меркурiй, Венера, Земля, Марсъ, Юпитеръ, Сатурнъ, приблизительно выразятся: 0,24, 0,615, 1, 1,88, 11,86, 29,457, а разстоянiя отъ солнца такъ: 0,387, 0,723, 1, 1,524, 5,203, 9,539; если мы возьмемъ квадраты перваго ряда чиселъ (т.-е. помножимъ ихъ самихъ на себя) и кубы второго ряда (т.-е. повторимъ эти числа три раза множителями), то получимъ приблизительно такую таблицу:

	Меркурiй.	Венера.	Земля.	Марсъ.	Юпитеръ.	Сатурнъ.
Квадратъ перiодовъ обращенiя. . . .	0,058	0,378	1	3,54	140,7	867,7
Кубъ средняго разстоянiя. . . .	0,058	0,378	1	3,54	140,8	867,9

Изъ этого видно, что два ряда чиселъ, верхнiй и нижнiй, вполнѣ согласуются на протяженiи нѣсколькихъ десятичныхъ знаковъ, кромѣ двухъ внѣшнихъ планетъ, для которыхъ нижнiя числа нѣсколько

больше верхнихъ. Ньютонъ впослѣдствіи объяснилъ это разногласіе (гл. IX, § 186), но при томъ несовершенномъ знаніи временъ обращенія и разстояній, какимъ обладалъ Кеплеръ, врядъ ли можно было подмѣтить его, и онъ, съ своей точки зрѣнія, былъ совершенно правъ, называя законъ «точнымъ» [1]).

Нужно замѣтить, далѣе, что законъ Кеплера вовсе не требуетъ знанія истинныхъ разстояній планетъ отъ солнца, но только относительныхъ, т.-е. того,



Фиг. 62. «Музыка сферъ» по Кеплеру. Изъ *Гармоніи міра*.

во сколько разъ одна планета дальше или ближе къ солнцу, чѣмъ другая. Другими словами — важно было построить карту солнечной системы на правильныхъ пропорціяхъ, для каковой цѣли вовсе не нужно было знать ея масштаба.

Хотя *Гармонія міра* и представляетъ собой громадную книгу, однако, въ ней врядъ ли найдется что-нибудь цѣнное, кромѣ того, что мы уже сказали. Значительная доля ея занята повтореніями мыслей,

---

[1]) Интересно привести собственныя слова Кеплера объ этомъ законѣ: «Res est certissima exactissimaque, quod proportionis quae est inter binorum quorumque planetarum tempora periodica, sit praecise sesquialtera proportionis mediarum distantiarum, id est orbium ipsorum». *Гармонія міра*, кн. V, гл. III.

изложенныхъ уже раньше въ *Mysterium Cosmographicum*, а почти вся остальная часть наполнена малоцѣнными аналогіями между пропорціями солнечной системы и соотношеніемъ между различными музыкальными гаммами.

Онъ довольно смѣло изображаетъ «музыку сферъ» (фиг. 62); до какой странности онъ могъ додумываться, показываетъ замѣчаніе, взятое изъ той же части книги: «Земля поетъ ноты MI, FA, MI, откуда можно догадаться, что въ нашей юдоли царятъ MIseria (бѣдность) и FAmes (голодъ).»

145. *Сокращеніе коперниковой астрономіи*, изданное по частямъ въ 1618, 1620 и 1621 годахъ, правда не содержитъ въ себѣ какихъ-либо блестящихъ открытій, но тѣмъ не менѣе является одной изъ увлекательнѣйшихъ книгъ Кеплера, такъ какъ она свободна отъ странностей, дѣлающихъ столь утомительнымъ чтеніе его произведеній. Это — довольно сжатое изложеніе, въ формѣ вопросовъ и отвѣтовъ, современной ему астрономіи съ коперниковской точки зрѣнія, дополненное новѣйшими открытіями Кеплера и Галилея. Такое руководство отвѣчало назрѣвшей потребности, и это очень хорошо поняли какъ друзья, такъ и враги Кеплера, что доказывается появленіемъ этой книги въ *Указателѣ запрещенныхъ книгъ* (гл. VI, §§ 126, 132). Въ *Сокращеніи* встрѣчается первое ясное указаніе на то, что два основныхъ закона планетнаго движенія, установленныхъ для Марса (§ 141), справедливы и по отношенію къ другимъ планетамъ (разумѣется, удовлетворительнаго доказательства не дается) и что они прилагаются также и къ движенію луны вокругъ земли, хотя въ этомъ случаѣ дѣло усложняется

массой неправильностей. Онъ довольно пространно излагаетъ теорію луны, подробно разсмотрѣвъ и эвекцію (гл. II, § 48), и варіацію (гл. III, § 60, гл. V, § 111), но не касаясь, впрочемъ, «годичнаго уравненія», которое Тихо призналъ только въ концѣ своей жизни (гл. V, § 111). Интересно также дальнѣйшее его открытіе, что его третій законъ планетнаго движенія прилагается и къ движеніямъ четырехъ спутниковъ Юпитера, которые были наблюдаемы Галилеемъ и Симономъ Маріемъ (гл. VI, § 118). Въ *Сокращеніе* свое Кеплеръ внесъ значительную поправку въ обычной оцѣнкѣ разстоянія земли отъ солнца, изъ котораго можно было сразу получить разстоянія другихъ планетъ.

Если, какъ обыкновенно полагали со времени Гиппарха и Птоломея, разстояніе солнца равно 1.200 радіусамъ земли, то параллаксъ его (гл. II, § 43, 49) временами долженъ доходить до 3′, а параллаксъ Марса, который иногда бываетъ ближе къ землѣ, нежели солнце, долженъ быть пропорціонально больше. Но Кеплеръ не могъ обнаружить за Марсомъ никакого параллакса и заключилъ на этомъ основаніи, что разстояніе солнца и Марса гораздо больше предполагаемой величины. Не имѣя точныхъ данныхъ, онъ получилъ при помощи собственнаго воображенія и своеобразныхъ идей о гармоніи солнечной системы число, приблизительно въ три раза превосходившее прежнюю оцѣнку (120 радіусовъ). Онъ разсуждалъ, что если земля представляетъ собой убѣжище измѣряющихъ существъ, то есть основаніе ожидать, что размѣры солнечной системы находятся въ нѣкоторомъ простомъ соотношеніи съ размѣрами земли. Сообразно съ этимъ онъ считалъ, что объемъ

солнца во столько разъ больше объема земли, во сколько разъ его разстояніе превосходитъ земной радіусъ, и изъ этого курьезнаго допущенія вывелъ вышесказанное разстояніе, болѣе близкое къ истинѣ, нежели старая оцѣнка, но все же составлявшее лишь около одной седьмой ея величины.

Въ *Сокращеніи* прекрасно изложена теорія солнечныхъ и лунныхъ затменій, ихъ причинъ, спосо-собовъ предсказанія и т. д. Слабый свѣтъ (обыкновенно красноватый), наблюдаемый на дискѣ затмившейся луны, онъ правильно объяснялъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, преломившихся въ земной атмосферѣ и достигшихъ, такимъ образомъ, луны, которую они не могли бы освѣщать прямымъ путемъ, такъ какъ на пути между ними и луной стоитъ земля. Кеплеръ упоминаетъ также о свѣтломъ кольцѣ вокругъ солнца, затмившагося въ 1567 году (по всей вѣроятности, это было полное, а не кольцеобразное затменіе), и приписываетъ его своеобразной свѣтящейся атмосферѣ вокругъ солнца, ссылаясь на плутархово описаніе подобнаго же явленія. Это было, повидимому, первое наблюденіе и первое раціональное, хотя, разумѣется, несовершенное объясненіе замѣчательной оболочки солнца, такъ-называемой **короны**, обратившей на себя столько вниманія во второй половинѣ истекшаго столѣтія (гл. XIII, § 301).

146. Трактатъ о *Кометахъ* (1619) касается кометы 1607 года (впослѣдствіи прославившейся подъ названіемъ кометы Галлея (гл. X, § 200), и трехъ кометъ, наблюдавшихся въ 1618 году. Слѣдуя Тихо, Кеплеръ твердо держался того взгляда, что кометы небесныя, а не земныя тѣла, и ихъ внезапное по-

явленіе и исчезновеніе объяснялъ предположеніемъ, что онѣ движутся по прямымъ линіямъ и потому, пройдя мимо земли, снова погружаются въ безконечное пространство; впрочемъ, онъ, повидимому, не дѣлалъ серьезныхъ попытокъ подтвердить эту теорію сравненіемъ съ наблюденіями; очевидно, онъ былъ того мнѣнія, что путь тѣла, которому не суждено вновь появиться, не можетъ служить объектомъ серьезнаго изученія. Онъ подтвердилъ наблюденіе Фракастора и Апіана (гл. III, § 69), что кометные хвосты всегда обращены въ сторону, противоположную солнцу, и для объясненія предположилъ, что хвостъ образованъ солнечными лучами, пронизывающими тѣло кометы и уносящими съ собой частицу ея вещества — теорію, являющуюся удивительно вѣрнымъ предвосхищеніемъ современныхъ теорій кометныхъ хвостовъ (гл. XIII, § 304), если принять во вниманіе перемѣну нашихъ воззрѣній на природу свѣта.

Для популярности книги необходимо было подробно коснуться «значенія» новой кометы и ея вліянія на человѣческія дѣла, а такъ какъ Кеплеръ писалъ въ началѣ Тридцатилѣтней войны (войны и религіозныя преслѣдованія почти непрерывно свирѣпствовали въ Европѣ въ теченіе всей его жизни), то ему не трудно было отыскать чрезвычайныя событія, случившіяся вскорѣ послѣ появленія данной кометы или незадолго передъ тѣмъ. Самъ Кеплеръ, очевидно, не придавалъ большого значенія такимъ совпаденіямъ; онъ вѣрилъ, что дѣйствительное столкновеніе съ кометнымъ хвостомъ можетъ вызвать моръ, но помимо того присоединялся къ популярному мнѣнію, что одно изъ назначеній кометы — на-

поминать намъ о бренности человѣческаго существованія. Увѣренность въ многочисленности кометъ онъ выражаетъ слѣдующей любопытной фразой: «Доводовъ въ пользу годичнаго движенія земли столько же, сколько въ небесахъ кометъ».

147. Между тѣмъ положеніе Кеплера въ Линцѣ становилось все болѣе и болѣе невыносимымъ, благодаря усиленію политическихъ и религіозныхъ волненій, завершившихся вспыхнувшей въ 1618 году Тридцатилѣтней войной; несмотря на это, онъ въ 1617 году отказался отъ предложенной ему въ Болоньѣ каѳедры, частью изъ привязанности къ родинѣ, частью изъ справедливаго недовѣрія къ милостямъ папы. Три года спустя онъ отвергъ предложенія англійскаго посланника, мечтавшаго пріобрѣсти въ немъ украшеніе для двора Якова I; одной изъ главныхъ причинъ отказа въ этомъ случаѣ была боязнь остаться на уединенномъ островѣ. Въ 1619 году скончался императоръ Матвѣй; ему наслѣдовалъ Фердинандъ II, еще эрцгерцогомъ возбудившій преслѣдованія противъ грацскихъ протестантовъ (§ 137) и мало интересовавшійся науками. Послѣ нѣкотораго промедленія Кеплеръ былъ все-таки утвержденъ въ званіи придворнаго математика. Въ 1620 году Линцъ былъ занятъ имперскими войсками, а около 1626 года притѣсненія протестантовъ католиками усилились до такой степени, что Кеплеръ рѣшилъ уѣхать, и, отославши семью въ Регенсбургъ, самъ отправился въ Ульмъ.

148. Въ Ульмѣ Кеплеръ напечаталъ свою послѣднюю крупную работу. Больше четверти вѣка онъ упорно занимался, на основаніи наблюденій Тихо и собственныхъ теорій, изученіемъ движеній небесныхъ

тѣлъ; онъ выразилъ свои результаты въ удобной формѣ таблицъ, по которымъ путемъ простого вычисленія легко было опредѣлить положеніе свѣтила для любого момента, равно какъ и другія астрономическія явленія, вродѣ затменій; этотъ грандіозный трудъ, до нѣкоторой степени суммировавшій работы его и Тихо, былъ, наконецъ, напечатанъ въ 1627 году подъ названіемъ *Рудольфинскихъ таблицъ* (названныхъ такъ въ честь перваго его покровителя), которыя были образцомъ въ своемъ родѣ около столѣтія.

Кеплеръ давно уже намѣревался по окончаніи таблицъ написать полный трактатъ по астрономіи, подъ заглавіемъ *Новый Альмагестъ;* но ему не только не удалось исполнить своего плана, но даже и приняться за него какъ слѣдуетъ.

149. Послѣ множества неудачныхъ попытокъ получить жалованье, Кеплеръ, говорятъ, обратился къ Валленштейну, знаменитому имперскому полководцу, въ то время почти неограниченно властвовавшему въ Силезіи; этотъ послѣдній очень интересовался астрологіей и всегда возилъ съ собой одного или нѣсколькихъ жрецовъ этого искусства. Въ 1628 году Кеплеръ присоединился къ Валленштейну, въ качествѣ астролога при его особѣ, и, между прочимъ, написалъ нѣсколько малыхъ трактатовъ астрономическаго содержанія. Въ 1630 году онъ отправился въ Регенсбургъ, гдѣ засѣдалъ въ то время сеймъ, съ цѣлью лично выхлопотать уплату недоимокъ жалованья; удрученный тревогами и дорожными непріятностями, онъ черезъ нѣсколько дней по прибытіи заболѣлъ горячкой и скончался 15 ноября 1630 года, на 59 году жизни.

Опись имущества, найденнаго послѣ его смерти, показываетъ, что онъ обладалъ имъ въ достаточной мѣрѣ, такъ что жалобы на крайнюю нищету, встрѣчаемыя въ его письмахъ, въ значительной степени объясняются его чрезмѣрно безпокойнымъ и неукротимымъ темпераментомъ [1]).

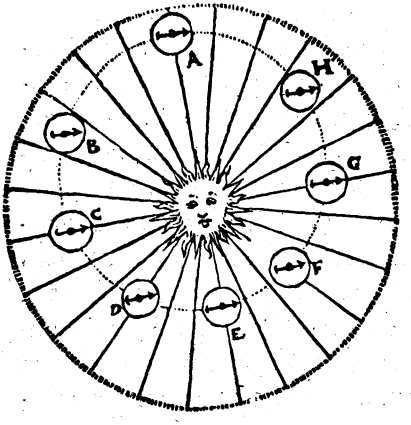
150. Помимо перечисленныхъ нами крупныхъ открытій Кеплера, онъ оказалъ астрономіи массу мелкихъ услугъ — нахожденіемъ новыхъ методовъ опредѣленія долготы и различными усовершенствованіями въ методахъ вычисленія, требуемаго астрономическими задачами. Его размышленія относительно внутреннихъ причинъ наблюдаемыхъ небесныхъ движеній не лишены интереса. Въ то время какъ птоломеева система требовала массы движеній, совершающихся вокругъ чисто-геометрическихъ точекъ, центровъ эпицикловъ или эксцентриковъ, эквантовъ и т. п., причемъ нѣкоторыя движенія такого рода признавалъ и Коперникъ, кеплерова схема солнечной системы помѣщала вполнѣ реальное тѣло, солнце, въ самую важную точку пути каждой планеты и одинаковымъ образомъ трактовала и движеніе луны вокругъ земли, и четырехъ спутниковъ Юпитера вокругъ своей планеты. Обращенія оказались связанными не съ центральной точкой, но съ центральнымъ тѣломъ, и, такимъ образомъ, явился на сцену интересный вопросъ, не находятся ли движенія въ какой-нибудь зависимо-

---

[1]) Мы считаемъ это мнѣніе автора не совсѣмъ справедливымъ. Врядъ ли можно назвать зажиточнымъ человѣка, оставившаго въ наслѣдство семь копеекъ, немного платья, двѣ рубашки и нѣсколько десятковъ экземпляровъ своихъ книгъ.

Прим. переводч.

сти отъ центральнаго тѣла. Свойство магнита притягивать съ небольшого разстоянія кусочки желѣза, быть можетъ, внушило Кеплеру мысль объ аналогіи; на него видимо произвела сильное впечатлѣніе внимательно прочитанная имъ книга *О магнитѣ* (De Magnete), изданная въ 1600 году англичаниномъ *Вильямомъ Джильбертомъ* изъ Кольчестера (1540—1603). Онъ предположилъ, что планеты управляются солнцемъ, какъ бы раздѣляютъ до нѣкоторой степени его собственное вращеніе. Другими словами — нѣкоторая «движущая сила» простирается отъ солнца къ планетамъ вмѣстѣ или на подобіе лучей свѣта и теплоты и увлекаетъ планеты вокругъ солнца.



Фиг. 63. Идея Кеплера о тяготѣніи. Изъ *Сокращенія*.

«Происходитъ конфликтъ между движущей силой солнца и безсиліемъ или матеріальной неповоротливостью *(инерція)* планеты; оба побѣждаютъ въ нѣкоторой степени, ибо первое сдвигаетъ планету съ ея мѣста, а вторая отчасти освобождаетъ тѣло планеты отъ стѣсняющихъ ее узъ... но только до того момента, когда она снова подхватывается этой вращательной силой» (*Сокращеніе*, кн. IV, часть 2 [1]).

---

[1]) Кеплеръ даетъ здѣсь прекрасное въ сущности описаніе процесса тяготѣнія, весьма близкое къ современнымъ понятіямъ. Вѣдь и въ настоящее время дѣйствіе непрерывной силы на движимое ею тѣло разсматривается при анализѣ, какъ рядъ отдѣльныхъ толчковъ, раздѣляемыхъ безконечно-малыми промежутками времени. *Прим. переводч.*

На приложенной діаграммѣ Кеплеръ иллюстрируетъ свою крайне запутанную и неясную теорію.

Онъ признавалъ также болѣе общій законъ «тяжести», которую онъ опредѣляетъ, какъ «взаимное тѣлесное расположеніе между двумя родственными тѣлами, клонящееся къ ихъ соединенію», и приливы онъ объяснялъ подобнаго рода взаимодѣйствіемъ между луной и водами земного шара. Но эти умозрѣнія, въ которыхъ можно видѣть предвосхищеніе ньютонова открытія всемірнаго тяготѣнія, не получили никакого логическаго развитія, а механическія понятія во времена Кеплера были слишкомъ несовершенны для того, чтобы онъ могъ достичь дѣйствительнаго успѣха въ этомъ направленіи.

151. Мало найдется астрономовъ, мнѣнія о заслугахъ котораго расходились бы до такой степени, какъ относительно Кеплера. Правда, всѣ согласны насчетъ громадной важности его трехъ законовъ планетнаго движенія и существенныхъ достоинствъ *Рудольфинскихъ таблицъ* и нѣкоторыхъ мелкихъ открытій. Но эти результаты составляютъ лишь небольшую часть объемистыхъ сочиненій Кеплера, наполненныхъ массой странныхъ идей и мистическихъ фантазій и бредней, астрологіей, предсказаніями погоды и тому подобнымъ хламомъ, который мало того что ничего не стоитъ съ точки зрѣнія современной астрономіи, но даже—вопреки многимъ ошибочнымъ или несовершеннымъ умозрѣніямъ — и не направленъ въ ту сторону, въ которую могла прогрессировать наука, и долженъ былъ казаться чѣмъ-то вродѣ бреда такимъ здравомыслящимъ современникамъ, каковъ, напримѣръ, Галилей, почти въ такой же мѣрѣ, какъ и намъ. Прочитывая главу

за главой и не встрѣчая ни одной свѣтлой либо вѣрной мысли, трудно удержаться отъ сожалѣній по поводу того, что Кеплеръ безплодно растрачивалъ свой громадный умъ и что тѣ цѣнные результаты, которые встрѣчаются въ массѣ скучнѣйшихъ умствованій, попали туда чисто случайно. Съ другой стороны, не слѣдуетъ забывать, что такого рода случайности сопутствуютъ только великимъ личностямъ, и что если Кеплеръ любилъ давать волю своему воображенію, то не менѣе того онъ чувствовалъ необходимость тщательнаго сравненія умозрительныхъ результатовъ съ наблюдаемыми фактами и безъ колебаній отказывался отъ любимѣйшихъ своихъ фантазій, если онѣ не выдерживали этой пробы. Если бы Кеплеръ сжегъ три четверти того, что напечаталъ, то мы, вѣроятно, были бы болѣе высокаго мнѣнія о его умственномъ кругозорѣ и трезвости сужденія, но зато въ значительной степени потеряли бы впечатлѣніе необычайнаго энтузіазма и трудолюбія и почти безпримѣрной честности ума, какое мы теперь получаемъ при изученіи его трудовъ.

ГЛАВА VIII.

Отъ Галилея до Ньютона.

«И вотъ громадный телескопъ, орудье,
Какимъ они на небо посягаютъ,
Былъ поднятъ и направленъ прямо на луну».

Гудибрасъ.

152. Между изданіемъ галилеевыхъ *Двухъ Новыхъ Наукъ* (1637) и ньютоновыхъ *Principia (Начала,* 1687 года) прошло безъ малаго полвѣка; за этотъ промежутокъ не сдѣлано было ни одного первостепеннаго астрономическаго открытія, но зато астрономія быстро прогрессировала по проложенному пути.

Хотя, съ одной стороны, толчокъ, данный Тихо Браге развитію точныхъ наблюденій, и не ослабилъ еще своего вліянія, однако, изобрѣтеніе телескопа и его постепенное совершенствованіе развернули новое, почти безграничное поле для открытія интересныхъ небесныхъ объектовъ. Съ другой стороны, три замѣчательные закона Кеплера, въ которыхъ онъ формулировалъ наиболѣе характерныя черты планетнаго движенія, неизбѣжно должны были вызвать у мыслящаго астронома вопросъ, почему существуютъ эти законы, или, другими словами, навести на мысль, не представляютъ ли они необходимаго слѣдствія какого-нибудь основного, болѣе общаго и простого закона; въ то же время изслѣдованія Га-

лилея о законахъ движенія могли внушить мысль о возможности нѣкоторой связи между причинами небесныхъ движеній и явленій, наблюдаемыхъ на землѣ.

153. Мы уже говорили о томъ, что большинство телескопическихъ открытій Галилея было сдѣлано почти сейчасъ же вслѣдъ за нимъ и другими астрономами (пожалуй, даже и предвосхитившими нѣкоторыя изъ нихъ). Его сопернику Христофору Шейнеру (гл. VI, §§ 124, 125) принадлежитъ честь открытія яркихъ облакообразныхъ пятнышекъ, наблюдаемыхъ, главнымъ образомъ, у края солнца, и по причинѣ своей яркости названныхъ **факелами**. Шейнеръ, кромѣ того, произвелъ длинный рядъ наблюденій надъ движеніями и появленіемъ пятенъ.

Іоаннъ Гевелій изъ Данцига (1611—1686) занялся тщательнымъ изученіемъ лунной поверхности; въ 1647 г. онъ издалъ свою *Селенографію* или описаніе луны, прекрасно иллюстрированное гравюрами, нарисованными и выгравированными имъ самимъ. Онъ систематически описалъ и далъ названіе главнымъ особенностямъ лунной поверхности — горамъ, кратерамъ и темнымъ пятнамъ, почитавшимся морями, — преимущественно въ соотвѣтствіи съ таковыми же особенностями земной поверхности. Гевеліевы названія главныхъ горныхъ цѣпей — *Аппенинъ* или *Альпъ*, и морей — *Mare Serenitatis*, Море Ясности, или Тихій Океанъ, удержались до настоящаго дня; но имена отдѣльныхъ горъ и кратеровъ вышли изъ употребленія, такъ какъ ихъ теперь называютъ именами выдающихся ученыхъ и философовъ, напримѣръ, *Платонъ*, *Коперникъ* и т. п., по системѣ *Жана Баптиста Риччіоли* (1598—1671),

изложенной въ объемистомъ астрономическомъ трактатѣ, *Новомъ Альмагестѣ* (1651). Неутомимый Гевелій напечаталъ двѣ большихъ книги о кометахъ, *Prodromus Cometicus* (1654) и *Cometographia* (1668), заключавшихъ въ себѣ первый систематическій обзоръ всѣхъ являвшихся кометъ. Онъ составилъ каталогъ 1.500 звѣздъ, наблюденныхъ съ точностью, превышавшей тихову, хотя и безъ помощи телескопа[1]); онъ обнародовалъ, кромѣ того, усовершенствованныя солнечныя таблицы и массу другихъ вычисленій и наблюденій.

154. Въ свою очередь, и планеты съ интересомъ были наблюдаемы многими наблюдателями, замѣчавшими по временамъ свѣтлыя и темныя пятна на Юпитерѣ, Марсѣ и Венерѣ. Два сатурновыхъ придатка, которые Галилей открылъ въ 1610 году, но не могъ различить два года спустя (гл. VI, § 123), были наблюдаемы и описаны многими астрономами самымъ различнымъ образомъ; загадка была разгадана черезъ полвѣка послѣ перваго открытія Галилея лишь *Христіаномъ Гюйгенсомъ* (1629—1695), величайшимъ астрономомъ своего времени, родомъ изъ Гаги. Гюйгенсъ отличался многосторонними выдающимися способностями, какъ въ практической, такъ и въ теоретической области, и, собственно, астрономическіе труды его составляютъ лишь небольшую часть услугъ, оказанныхъ имъ наукѣ. Усовершенствовавшись въ искусствѣ обтачиванія

---

[1]) По странному упорству Гевелій ни за что не хотѣлъ приспособить зрительной трубы къ своимъ угломѣрнымъ снарядамъ, хотя въ его время мысль эта была уже не новая и съ успѣхомъ примѣнялась къ дѣлу другими астрономами.

Прим. переводч.

линзъ до небывалой точности, онъ могъ сооружать телескопы, несравненно болѣе сильные, чѣмъ тѣ, какіе изготовлялись его предшественниками. Помощью одного изъ такихъ инструментовъ ему удалось открыть въ 1655 году спутника Сатурна (*Титанъ*). Проникнутый идеями средневѣковаго мистицизма, отъ котораго съ большимъ трудомъ освобождались даже самые трезвые умы его времени, онъ утверждалъ, что такъ какъ количество планетъ и спутниковъ достигло теперь совершеннаго числа 12, то больше ничего не остается открывать, — пророчество, неоднократно опровергнутое впослѣдствіи (§ 160; гл. XII, §§ 253, 255; гл. XIII, §§ 289, 294, 295).

Благодаря еще болѣе могущественному телескопу и удивительной проницательности въ объясненіи наблюдаемаго, Гюйгенсъ сдѣлалъ еще болѣе интересное открытіе, именно, что загадочные придатки Сатурна суть не что иное, какъ тонкое кольцо (фиг. 64), наклоненное къ плоскости эклиптики подъ значительнымъ угломъ (онъ опредѣлилъ его въ 31°), а потому и къ плоскости сатурновой орбиты вокругъ солнца. Объ этомъ результатѣ онъ возвѣстилъ ученому міру, по обычаю того времени[1]), анаграммой, помѣщенной въ той же бро-

---

[1]) Дѣлалось это для огражденія своихъ правъ на открытіе; еще раньше Галилей точно также возвѣстилъ объ открытіи фазъ Венеры анаграммой; разгадкой ея была фраза:

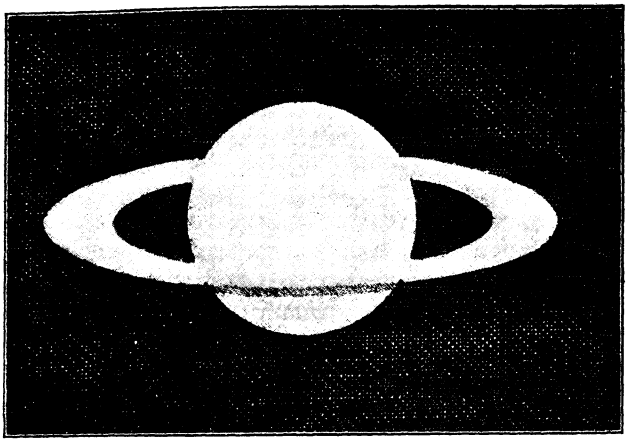
Cynthiae figuras aemulatur mater amorum,

т.-е. Венера (какъ извѣстно, считавшаяся у грековъ матерью любви) подражаетъ формамъ или фазамъ Цинтіи (т.-е. луны), и о загадочномъ очертаніи Сатурна:

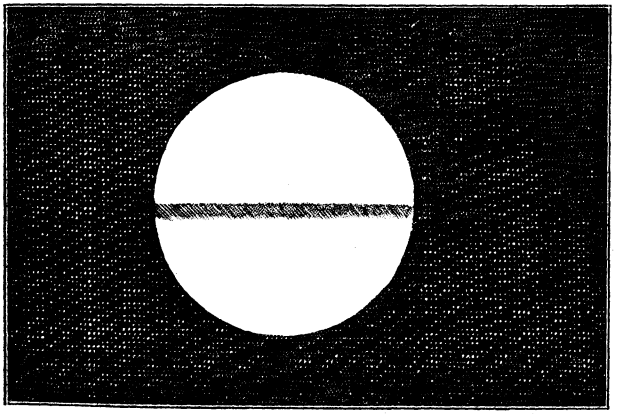
Altissimam planetam tergeminam observavi,

т.-е. крайнюю планету я наблюдалъ тройною.

Прим. переводч.

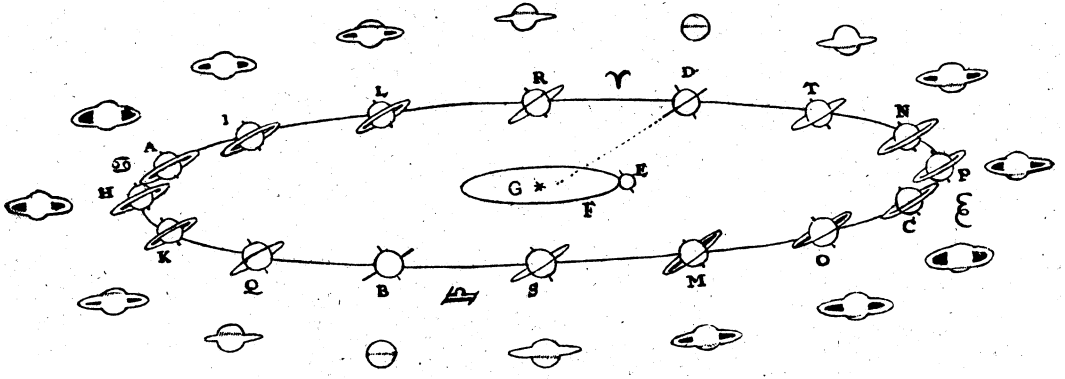


Фиг. 64. Кольцо Сатурна, по рисунку Гюйгенса.
Изъ *Системы Сатурна.*



Фиг. 65. Сатурнъ и кольцо, видимое съ края.
Изъ *Системы Сатурна.*

(Къ стр. 278).



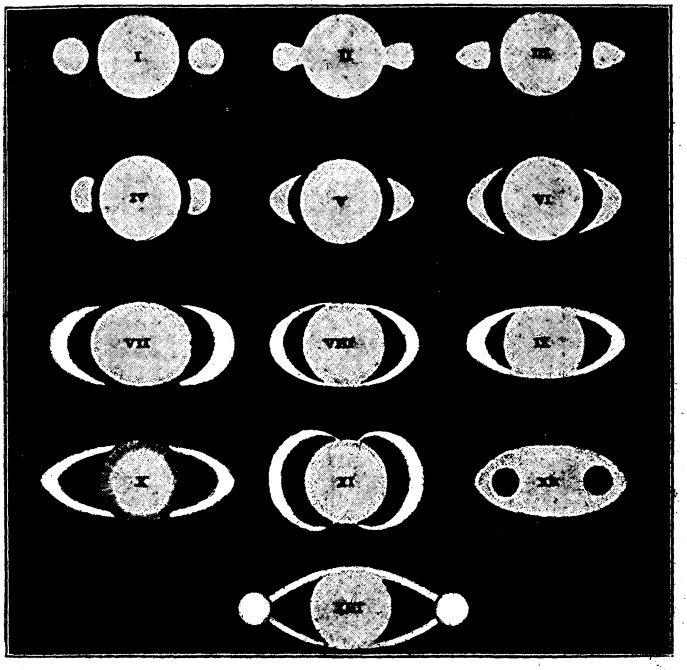
Фиг. 66. Фазы кольца Сатурна. Изъ *Системы Сатурна.*

шюрѣ, гдѣ обнародовано было открытіе спутника, *De Saturni Luna Observatio Nova* (1656); три года спустя появилась его большая книга *Systema Saturnium* (1659), въ которой онъ далъ разгадку своей анаграммы[1]), съ необычайной ясностью и полнотой объяснявшей странные придатки Сатурна, наблюдавшіеся имъ самимъ и прежними наблюдателями. Благодаря своей чрезмѣрной тонинѣ, кольцо невидимо, когда оно обращено къ наблюдателю или къ солнцу ребромъ, такъ какъ въ этомъ послѣднемъ случаѣ площади его не освѣщены солнцемъ. Дважды во время обращенія Сатурна вокругъ солнца (въ B и D на фиг. 66), т.-е. черезъ промежутки почти въ 15 лѣтъ, плоскость кольца проходитъ въ теченіе короткаго времени прямо или приблизительно черезъ землю и солнце, и, слѣдовательно, въ эти періоды оно невидимо (фиг. 65). Близъ этихъ положеній (въ Q, R, S, T) кольцо кажется сильно приплюснутымъ, въ видѣ двухъ ручекъ, выступающихъ изъ тѣла Сатурна; чѣмъ дальше, тѣмъ шире становится кольцо, и отверстіе его начинаетъ открываться; спустя семь лѣтъ или за семь лѣтъ до періода невидимости (въ A и C), кольцо представляется наиболѣе широкимъ. Для сравненія со своими результатами Гюйгенсъ приводитъ нѣсколько рисунковъ прежнихъ наблюдателей (воспроизведенныхъ на фиг. 67), откуда можно видѣть, какъ близки были нѣкоторые изъ нихъ къ открытію кольца.

---

[1]) Смыслъ ея былъ такой: *Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohacrente, ad eclipticam inclinato*, т.-е. что Сатурнъ окруженъ тонкимъ, плоскимъ кольцомъ, нигдѣ не соприкасающимся съ планетой и наклоненнымъ къ эклиптикѣ.

Прим. переводч.



Фиг. 67. Старинныя изображенія Сатурна. Изъ *Системы Сатурна.*

(Къ стр. 280).

155. Англичанину *Вильяму Гаскойню* (1612?—1644) принадлежитъ честь открытія, что телескопомъ можно пользоваться не только для общаго обзора небесныхъ тѣлъ, но и въ качествѣ измѣрительнаго снаряда, могущаго опредѣлять направленіе звѣздъ и т. п. съ большей точностью, чѣмъ это доступно простому глазу, и увеличивать углы, облегчая этимъ измѣреніе угловыхъ разстояній между сосѣдними звѣздами, діаметровъ планетъ и тому подобныхъ величинъ. Къ сожалѣнію, онъ былъ убитъ въ молодыхъ лѣтахъ въ сраженіи при Марстонъ-Мурѣ (1644); но письма его, напечатанныя много лѣтъ спустя, показываютъ, что онъ знакомъ былъ съ употребленіемъ телескопическихъ перекрестныхъ нитей и изготовилъ такъ-называемый **микрометръ** [1]), помощью котораго могъ измѣрять углы въ нѣсколько секундъ. О его открытіяхъ нѣкоторое время ничего не знали, и Гюйгенсу независимо пришлось изобрѣсти микрометръ худшаго качества (1658), а *Адріану Озу* (?—1691)—изобрѣсти усовершенствованный инструментъ (около 1666), почти тождественный съ инструментомъ Гаскойня.

Систематическое пользованіе телескопическими перекрестными нитями для регулярныхъ работъ на обсерваторіи введено было впервые около 1667 г. другомъ и товарищемъ Озу, *Жаномъ Пикаромъ* (1620—1682).

156. На ряду съ Гаскойнемъ заслуживаетъ упоминанія его другъ *Іеремія Горроксъ* (1617?—1641), горячій поклонникъ Кеплера, внесшій значительное улучшеніе въ теорію луны; онъ взялъ за осно-

---

[1]) Прототипъ нитяного микрометра современной астрономіи.

ваніе эллиптическую орбиту и тѣмъ устранилъ нѣкоторыя неправильности. Онъ первый наблюдалъ прохожденіе Венеры по диску солнца, случившееся въ 1639 году, вопреки кеплеровскимъ *Рудольфинскимъ таблицамъ*, но въ согласіи съ соперничавшими таблицами *Филипса фонъ-Лансбергъ* (1561—1632), которыя Горроксъ провѣрилъ для даннаго случая. Однако, только долго спустя Галлей указалъ на важность прохожденій Венеры, какъ средства для опредѣленія разстоянія солнца отъ земли (гл. X, § 202). Любопытно, что Горроксъ подозрѣвалъ возможность происхожденія неравенствъ луннаго движенія отъ возмущающаго вліянія солнца и имѣлъ понятіе о нѣкоторыхъ неправильностяхъ движеній Юпитера и Сатурна, нынѣ объясняемыхъ ихъ взаимнымъ притяженіемъ (гл. X, § 204; гл. XI, § 243).

157. Одно изъ гюйгенсовыхъ открытій произвело переворотъ въ искусствѣ точнаго астрономическаго наблюденія. Мы говоримъ объ изобрѣтеніи часовъ съ маятникомъ (сдѣлано въ 1656, привилегировано въ 1657). Мы уже упоминали, что такое же изобрѣтеніе было сдѣлано Бюрги, но погибло (гл. V, § 98); Галилей снова возвелъ маятникъ въ достоинство измѣрителя времени (гл. VI, § 114). Впрочемъ, галилеевъ маятникъ годился лишь для измѣренія весьма короткихъ промежутковъ, такъ какъ при немъ не было механизма, поддерживающаго движеніе, которое вскорѣ само собой прекращалось. Гюйгенсъ приспособилъ маятникъ къ часамъ, которые приводились въ движеніе гирями, такъ что часы поддерживали качанія маятника, а маятникъ регулировалъ ходъ ча-

совъ [1]). Съ этихъ поръ возможно было вести точныя по времени наблюденія и, замѣчая промежутокъ между прохожденіями двухъ звѣздъ черезъ меридіанъ, выводить, на основаніи извѣстной скорости движенія небесной сферы, ихъ угловое разстояніе другъ отъ друга къ востоку и къ западу, послѣ чего легко опредѣлить положеніе одной относительно другой. Пикаръ (§ 155) первый оцѣнилъ важность этого открытія для астрономіи и ввелъ правильныя измѣренія времени на новой Парижской обсерваторіи.

158. Гюйгенсъ не удовольствовался однимъ практическимъ примѣненіемъ маятника, но и написалъ трактатъ *Oscillatorium Horologium* или *Часы съ маятникомъ* (1673), въ которомъ изложилъ цѣнные результаты разработанной имъ теоріи маятника и сложныхъ вопросовъ, связанныхъ съ движеніемъ тѣла по кругу или иной кривой. Большая часть этихъ изслѣдованій выходитъ за предѣлы астрономіи, но его формула, связывающая время качанія маятника съ его длиной и напряженіемъ тяжести [2]) (или, другими словами, съ «ускореніемъ» падающаго тѣла), давала возможность измѣрять тяжесть съ гораздо большей точностью, чѣмъ это позволяли прямые опыты надъ падающими тѣлами; его изслѣдованія относительно кругового движенія, приведшія къ выводу, что тѣло, движущееся по кругу, должно находиться подъ вліяніемъ нѣкоторой силы, напра-

---

[1]) Повидимому, Галилей въ послѣдніе годы своей жизни подумывалъ о соединеніи часового механизма съ маятникомъ, но у насъ нѣтъ достаточныхъ доказательствъ, что онъ привелъ свою мысль въ исполненіе.

[2]) Современная формула: время полнаго колебанія $=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

вленной къ центру, величина которой находится въ опредѣленной зависимости отъ скорости тѣла и размѣровъ круга [1]), имѣютъ громадное значеніе для объясненія планетныхъ движеній дѣйствіемъ тяготѣнія.

159. Въ XVII вѣкѣ было сдѣлано первое измѣреніе земли, оказавшееся рѣшительнымъ шагомъ впередъ сравнительно съ измѣреніями грековъ и арабовъ (гл. II, §§ 36, 45, и гл. III, § 57). *Виллебрордъ Снеллій* (1591—1626), больше извѣстный открытіемъ закона преломленія свѣта, произвелъ въ Голландіи въ 1617 году рядъ измѣреній, показавшихъ, что длина градуса равна 67 милямъ (немного болѣе ста верстъ); одинъ изъ его учениковъ, исправившій нѣкоторыя ошибки въ вычисленіи, опредѣлилъ ее въ 69 миль — результатъ, превосходящій на нѣсколько сотъ футовъ современную оцѣнку. Далѣе, *Ричардъ Норвудъ* (1590?—1675) измѣрилъ разстояніе между Лондономъ и Іоркомъ и получилъ (въ 1636 г.) для длины градуса величину съ погрѣшностью менѣе полумили. Наконецъ, въ 1671 году Пикаръ произвелъ нѣкоторыя измѣренія близъ Парижа и получилъ результатъ, отличавшійся отъ истиннаго всего на нѣсколько аршинъ. Зная длину градуса, легко было вычислить окружность и радіусъ земли.

160. Озу и Пикаръ принадлежали къ группѣ астрономовъ - наблюдателей, работавшихъ въ Парижѣ, изъ которыхъ знаменитѣйшимъ, хотя и не самымъ великимъ, является *Джовани Доминикъ Кассини* (1625—1712). Родомъ изъ сѣверной Ита-

---

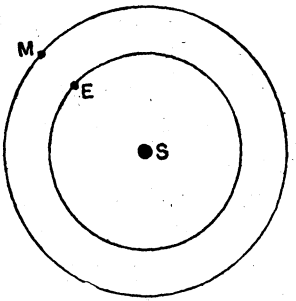
[1]) Т.-е. онъ получилъ извѣстную формулу $\frac{v^2}{r}$ и другія эквивалентныя выраженія центробѣжной силы.

ліи, онъ пріобрѣлъ громадную извѣстность, частью своими фантастическими планами сооруженія гигантскихъ инструментовъ, частью открытіемъ вращенія Юпитера (1665), Марса (1666), предполагаемаго вращенія Венеры (1667), а также и таблицами движенія юпитеровыхъ спутниковъ (1668). Въ уваженіе къ этому послѣднему открытію Пикаръ побудилъ Людовика XIV (въ 1669 году) пригласить Кассини въ Парижъ для главнаго завѣдыванія обсерваторіей, въ то время еще строившейся и законченной въ существенныхъ частяхъ къ 1671 году. Кассини былъ въ такой же мѣрѣ прилежный наблюдатель, какъ и плодовитый писатель, и обладалъ замѣчательнымъ талантомъ производить впечатлѣніе какъ на ученую публику, такъ и при дворѣ. Онъ проникнутъ былъ твердымъ сознаніемъ важности какъ своихъ трудовъ, такъ и своей особы, но болѣе чѣмъ сомнительно, чтобы у него были такія же ясныя представленія, какъ у Пикара, относительно того, какія именно работы должны производиться на общественной обсерваторіи и какъ приступать къ нимъ. Несмотря на эти недочеты, онъ оказалъ цѣнныя услуги различнымъ отдѣламъ астрономіи. Онъ открылъ четыре новыхъ спутника Сатурна: *Япета* въ 1671, *Рею* въ слѣдующемъ году, *Діану* и *Тетисъ* въ 1684; въ 1675 году онъ замѣтилъ на кольцѣ Сатурна темную линію, которая впослѣдствіи оказалась яснымъ дѣленіемъ его на два кольца, наружное и внутреннее, и носитъ названіе Кассиніева дѣленія (фиг. 95). Онъ до нѣкоторой степени усовершенствовалъ теорію солнца, вычислилъ новую таблицу атмосфернаго преломленія, которая оставила за собой кеплеровскую (гл. VII,

§ 138), и выпустилъ въ 1693 году новыя таблицы спутниковъ Юпитера, значительно превосходившія точностью тѣ, которыя онъ издалъ въ 1668 году, современныя ему.

161. Вѣроятно, по внушенію Пикара или Кассини, одинъ изъ ихъ сотоварищей, *Жанъ Рише* (?—1696), до того малоизвѣстный астрономъ, отправленъ былъ съ ученой экспедиціей (1671—1673) въ Кайенну (подъ 5° сѣверной широты). Экспедиція достигла двухъ важныхъ результатовъ. Найдено было, что маятникъ данной длины качается въ Кайеннѣ медленнѣе, чѣмъ въ Парижѣ, изъ чего явствуетъ, что напряженіе тяжести меньше у экватора, чѣмъ въ высокихъ широтахъ. Это обстоятельство заставило предположить, что земля неправильный шаръ, и впослѣдствіи это было принято въ соображеніе при теоретическомъ изслѣдованіи вопроса о фигурѣ земли (гл. IX, § 187). Затѣмъ, наблюденія Рише надъ положеніями Марса въ небѣ, въ соединеніи съ одновременными наблюденіями Кассини, Пикара и другихъ французскихъ астрономовъ, привели къ довольно точному опредѣленію разстоянія Марса, а значитъ, и солнца. Марсъ находился въ это время въ противостояніи (гл. II, § 43), т.-е. онъ былъ ближе къ землѣ, чѣмъ въ другіе періоды (какъ показано на фиг. 68), и потому занималъ положеніе, благопріятное для наблюденій. Принципъ измѣренія простъ до чрезвычайности и въ существенныхъ чертахъ сходенъ съ методомъ, которымъ пользовались для оцѣнки разстоянія луны (гл. II, § 49). Одинъ наблюдатель находится, положимъ, въ Парижѣ (P, фиг. 69) и смотритъ въ направленіи Марса, т.-е. по линіи PM; другой, помѣщенный въ

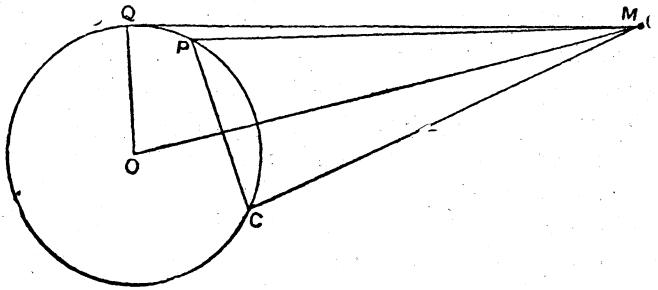
Кайеннѣ (C), съ своей стороны, наблюдаетъ Марсъ въ направленіи CM. Линія CP, соединяющая Парижъ съ Кайенной, извѣстна; а зная фигуру (т.-е. углы) треугольника CPM и длину одной изъ сторонъ, легко вычислить длины остальныхъ сторонъ.



Фиг. 68. Марсъ въ противостояніи.

Результаты такого рода изслѣдованій удобнѣе всего выражать помощью извѣстнаго угла, изъ котораго въ случаѣ надобности легко получить разстояніе въ радіусахъ земли, а отсюда и въ миляхъ (или верстахъ).

Параллаксъ небеснаго тѣла, напримѣръ, луны, солнца или планеты, опредѣляемый (гл. II, § 43), какъ уголъ (OMP) между линіями, соединяющими небесное



Фиг. 69. Параллаксъ планеты.

тѣло съ наблюдателемъ и центромъ земли, мѣняется въ зависимости отъ положенія наблюдателя. Очевидно, онъ наибольшій, когда наблюдатель занимаетъ положеніе Q, такъ что линія MQ касается земли; въ этомъ случаѣ M находится на горизонтѣ

наблюдателя. Вдобавокъ, такъ какъ уголъ OQM прямой, то видъ треугольника и отношеніе его сторонъ вполнѣ опредѣляются, если извѣстенъ уголъ OMQ. Такъ какъ этотъ уголъ есть параллаксъ свѣтила M, когда оно находится на горизонтѣ наблюдателя, то онъ называется **горизонтальнымъ параллаксомъ** M, хотя слово «горизонтальный» часто опускается. Изъ рисунка легко убѣдиться, что чѣмъ тѣло дальше, тѣмъ меньше горизонтальный параллаксъ; а при незначительности параллаксовъ, съ которыми имѣетъ дѣло астрономія, разстояніе и горизонтальный параллаксъ можно считать обратно пропорціональными другъ другу; если, напримѣръ, одно тѣло вдвое дальше другого, то параллаксъ его вдвое меньше и т. д.

Считаемъ нелишнимъ замѣтить, что когда дѣло идетъ о неподвижной звѣздѣ, то слово «параллаксъ» употребляется въ иномъ, хотя въ то же время и аналогичномъ смыслѣ. Кажущееся перемѣщеніе неподвижной звѣзды (происходящее отъ годичнаго движенія земли вокругъ солнца, гл. IV, § 92), которое очень долго не удавалось обнаружить въ дѣйствительности (гл. XIII, § 278), называется **годичнымъ** или **звѣзднымъ параллаксомъ** (причемъ прилагательное нерѣдко опускается); въ частности это названіе прилагается къ наибольшему углу между направленіями къ звѣздѣ, проведенными какъ изъ солнца, такъ и изъ земли при ея движеніи въ теченіе года. Если мы примемъ M за звѣзду (фиг. 69), O за солнце, а кругъ за орбиту земли вокругъ солнца, то уголъ OMQ есть годичный параллаксъ M.

Въ частности Кассини получилъ изъ наблюденій Рише, путемъ очень сомнительной процедуры, ве-

личину солнечнаго параллакса около 9″.5, что соотвѣтствуетъ разстоянію отъ земли въ 87.000.000 миль или 360 разстояніямъ луны; по наиболѣе вѣроятной изъ современныхъ оцѣнокъ (гл. XIII, § 284), оно немного меньше 93.000.000 миль (141.000.000 верстъ). Результатъ Кассини, хотя и не точный, былъ громаднымъ шагомъ впередъ, такъ какъ птоломеева оцѣнка разстоянія солнца, соотвѣтствующая параллаксу въ 3′, пользовалась правами гражданства до начала XVII столѣтія, и хотя ее обыкновенно считали весьма неточной, однако, исправленія, которымъ она подвергалась, носили характеръ простыхъ догадокъ (гл. VII, § 145).

162. Первые годы дѣятельности Парижской обсерваторіи ознаменовались еще однимъ славнымъ открытіемъ, именно — открытіемъ скорости свѣта. Въ 1671 году Пикаръ отправился въ Данію, съ цѣлью изслѣдовать, что осталось отъ обсерваторіи Тихо Браге на островѣ Гвэнѣ [1]); вернувшись оттуда, онъ привезъ съ собой молодого датскаго астронома, *Олая Ремера* (1644—1710), въ качествѣ помощника, на Парижскую обсерваторію. Изучая движенія спутниковъ Юпитера, Ремеръ замѣтилъ (1675), что промежутки между послѣдовательными затменіями какого-нибудь спутника (затменія происходятъ отъ погруженія спутника въ тѣнь планеты) оказывались неизмѣнно меньше, когда земля и Юпитеръ приближались другъ къ другу, чѣмъ когда

[1]) Вмѣсто великолѣпнаго нѣкогда замка, Пикаръ нашелъ яму, наполненную мусоромъ, такъ что для отысканія фундамента пришлось дѣлать раскопки. Такъ заботилось датское правительство о сохраненіи храма науки, принадлежавшаго величайшему астроному Даніи!

Прим. переводч.

они удалялись другъ отъ друга. Онъ видѣлъ, что это легко объяснить предположеніемъ, что свѣтъ распространяется съ конечной, хотя и весьма большой скоростью. Такъ, когда Юпитеръ приближается къ землѣ, то время, въ теченіе котораго лучи одного изъ спутниковъ достигаютъ земли, постепенно уменьшается, и, слѣдовательно, кажущимся образомъ сокращаются промежутки между послѣдовательными затменіями. Изъ разницы наблюдаемыхъ промежутковъ и извѣстныхъ уже скоростей движенія Юпитера и земли возможно произвести грубую оцѣнку скорости распространенія свѣта. Ремеръ произвелъ нѣсколько важныхъ улучшеній въ инструментахъ, но они носятъ слишкомъ спеціальный характеръ, и потому мы ихъ здѣсь не будемъ касаться.

163. Остается помянуть еще одно славное имя, принадлежащее періоду, которому посвящена эта глава; мы говоримъ о *Рене Декартѣ* [1]) (1596—1650). Хотя онъ и стоитъ въ числѣ великихъ астрономовъ и внесъ важныя усовершенствованія въ область чистой математики, однако, астрономическія его писанія не представляютъ большой цѣнности, а во многихъ отношеніяхъ даже прямо повредили этой наукѣ. Въ своихъ *Принципахъ философіи* (1644) онъ далъ, на ряду съ нѣкоторыми совершенно ошибочными положеніями, болѣе полную и общую формулировку перваго изъ открытыхъ Галилеемъ законовъ движенія (гл. VI, §§ 130, 183), но не подкрѣпилъ ея мало-мальски солидными доводами. Въ этой же книгѣ содержится изложеніе его знаменитой теоріи вихрей—попытка объяснить движенія тѣлъ солнеч-

---

[1]) Часто его называютъ латинизированнымъ именемъ *Картезіусъ*.

ной системы помощью нѣкоторой комбинаціи вихрей. Эта теорія не защищалась какими-нибудь экспериментальными данными и не была достаточно ясно формулирована для того, чтобы ее можно было провѣрить фактическими наблюденіями; въ отличіе отъ многихъ ошибочныхъ теорій (какова теорія греческихъ эпицикловъ), она никоимъ образомъ не являлась предшественницей истинныхъ теорій, смѣнившихъ ее. Однако, «картезіанство» пріобрѣло большую популярность какъ въ философіи, такъ и въ естествознаніи, особенно во Франціи; слава его замѣтно способствовала паденію авторитета Аристотеля, уже потрясеннаго мыслителями вродѣ Галилея и Бэкона, и, такимъ образомъ, подготовила умы къ воспріятію новыхъ идей, такъ что этимъ косвеннымъ путемъ, равно какъ и математическими открытіями, Декартъ отчасти способствовалъ прогрессу астрономіи.

ГЛАВА IX.

Всемірное тяготѣніе.

«Природу и ея законы мракъ ночи покрывалъ;
И рекъ Господь: «да будетъ Ньютонъ!» и свѣтъ намъ возсіялъ.
Попъ.

164. Жизнь Ньютона съ удобствомъ можно раздѣлить на три періода. Первый обнимаетъ 22 года (1643—1665), эпоху его отрочества и студенчества; за нимъ слѣдуетъ большой продуктивный періодъ, почти такой же продолжительности, увѣнчавшійся изданіемъ *Principia* въ 1687 году; остальная часть его жизни (1687—1727), по продолжительности равняющаяся первымъ двумъ, вмѣстѣ взятымъ, посвящена, главнымъ образомъ, оффиціальнымъ обязанностямъ и занятіямъ ненаучнаго характера и не отмѣчена открытіями, которыя можно было бы поставить на одну доску съ открытіями средняго періода, хотя нѣкоторыя изъ болѣе раннихъ его работъ получили теперь широкое развитіе и, кромѣ того, добыты были новые, несомнѣнно интересные, результаты.

165. *Исаакъ Ньютонъ* родился въ Вульсторпѣ, близъ Грантама, въ Линкольншайрѣ, 4 января 1643 года [1]); это случилось почти ровно черезъ

[1]) По старому стилю (въ то время еще пользовавшемуся въ Англіи правомъ гражданства) это случилось въ самый день Рождества Христова, 1642 года; въ слѣдующихъ главахъ мы пользовались григоріанскимъ стилемъ.

годъ послѣ смерти Галилея и черезъ нѣсколько мѣсяцевъ послѣ начала англійскихъ гражданскихъ войнъ. Въ ранніе годы онъ не отличался, повидимому, особенной любовью къ наукамъ[1]), но позже она обнаружилась столь сильно, что послѣ нѣсколькихъ безуспѣшныхъ попытокъ сдѣлать изъ него фермера его отправили въ коллегію Св. Троицы, въ Кембриджъ, въ 1661 году.

Хотя первое время Ньютонъ, вѣроятно, сильно отставалъ отъ товарищей, онъ все-таки сдѣлалъ громадные успѣхи въ математикѣ и смежныхъ отрасляхъ знанія и не мало смущалъ своихъ учителей быстротой, съ какой поглощалъ тотъ скудный запасъ свѣдѣній, которымъ они обладали. Съ *Началами геометріи* Эвклида онъ познакомился въ первое время студенчества, но вскорѣ оставилъ эту «легкую вещь» ради болѣе серьезныхъ книгъ. Въ январѣ 1665 года онъ получилъ степень баккалавра.

166. О внѣшнихъ событіяхъ жизни Ньютона въ послѣдующіе 22 года можно разсказать въ двухъ словахъ. Онъ избранъ былъ въ члены коллегіи въ 1667 году, въ слѣдующемъ году обычнымъ порядкомъ получилъ степень магистра и назначенъ былъ профессоромъ математики, въ качествѣ преемника своего друга Исаака Барроу, въ 1669 году. Три года спустя онъ избранъ былъ въ члены незадолго

---

[1]) Если онъ въ этотъ періодъ и не проявлялъ прямого интереса къ наукамъ, то во всякомъ случаѣ обнаруживалъ склонности незауряднаго характера; онъ любилъ подсмѣиваться надъ суевѣріемъ и невѣжествомъ своихъ односельчанъ; пускалъ, напримѣръ, по ночамъ воздушные змѣи съ привязаннымъ къ хвосту фонаремъ и увѣрялъ ихъ, что появилась комета; изобрѣлъ мельницу, которую приводилъ въ движеніе силами спеціально для того посаженной мыши.

Прим. переводч.

передъ тѣмъ основаннаго Королевскаго Общества. За вычетомъ нѣсколькихъ поѣздокъ домой, въ Линькольншайръ, почти весь этотъ періодъ онъ провелъ, повидимому, въ спокойныхъ занятіяхъ въ Кембриджѣ, и исторія его жизни почти всецѣло исчерпывается исторіей его открытій.

167. Научные труды его можно разбить на три главныя группы—астрономію (съ динамикой), оптику и чистую математику. Онъ посвящалъ немало времени и химическимъ опытамъ, и теплотѣ, и другимъ отдѣламъ физики, а вторую половину жизни удѣлялъ много вниманія вопросамъ хронологіи и теологіи, но ни въ одной этой области онъ не получилъ цѣнныхъ результатовъ.

168. Производя оцѣнку генія Ньютона, необходимо, разумѣется, имѣть въ виду обширность предметовъ, которыми онъ занимался; съ нашей точки зрѣнія математика Ньютона представляетъ, впрочемъ, интересъ лишь какъ орудіе, которымъ приходится оперировать въ астрономіи, точно такъ же мы упомянемъ здѣсь лишь о тѣхъ его оптическихъ открытіяхъ, которыя представляютъ астрономическую цѣнность. Въ 1668 году онъ построилъ **отражательный телескопъ**, т.-е. такой, въ которомъ идущіе отъ объекта лучи свѣта собираются при помощи кривого зеркала, а не линзы, какъ въ **преломляющихъ телескопахъ** Галилея и Кеплера. Телескопъ такого рода, отличный, впрочемъ, въ нѣкоторыхъ важныхъ отношеніяхъ отъ ньютоновскаго, былъ описанъ еще въ 1663 году *Джемсомъ Грегори* (1638—1675), съ идеями котораго Ньютонъ былъ знакомъ; но Грегори, кажется, и не подумалъ соорудить инструментъ на самомъ дѣлѣ. Благодаря

механическимъ трудностямъ приготовленія, отражательные телескопы только черезъ полвѣка смогли соперничать съ лучшими рефракторами своего времени, и до эпохи Вильяма Гершеля—сто слишкомъ лѣтъ послѣ изобрѣтенія—при помощи ихъ не было сдѣлано ни одного важнаго астрономическаго открытія.

Открытое Ньютономъ свойство призмы разлагать пучокъ бѣлаго свѣта на различные цвѣта составляетъ существенную основу спектральнаго анализа (гл. XIII, § 299), которому мы обязаны массой астрономическихъ открытій за послѣднія 40 лѣтъ.

169. Идеи, нашедшія себѣ выраженія въ трехъ величайшихъ и наиболѣе популярныхъ открытіяхъ Ньютона—теоріи тяготѣнія, теоріи цвѣтовъ и теоріи флюксій,—повидимому, пришли ему въ голову и были отчасти продуманы въ теченіе первыхъ двухъ лѣтъ по полученіи имъ степени, т.-е. раньше, чѣмъ ему исполнилось 24 года. Онъ самъ нѣсколькими годами позже рисуетъ живыми красками свою необычайную умственную дѣятельность въ этотъ періодъ.

«Въ началѣ 1665 года я нашелъ методъ приближенныхъ рядовъ и правило превращенія любой степени двучлена въ такой рядъ. Въ маѣ того же года я нашелъ методъ касательныхъ Грегори и Слузія, въ ноябрѣ получилъ прямой методъ флюксій; въ январѣ слѣдующаго года я получилъ теорію цвѣтовъ, а въ маѣ приступилъ къ обратному методу флюксій. Въ томъ же году я началъ размышлять о дѣйствіи тяжести, простирающейся до орбиты луны, и, найдя, какъ вычислить силу, съ которой тѣло, обращающееся внутри сферы, давитъ на поверхность этой сферы, я вывелъ изъ закона Кеплера, по которому періоды обращенія планетъ находятся въ полуторной пропорціи съ разстояніями ихъ отъ центровъ орбитъ, что сила, удерживающая планеты въ ихъ орбитахъ, обратно пропорціональна квадратамъ ихъ разстояній отъ центровъ обращенія; при этомъ я сравнилъ

величину силы, потребной для удержанія луны въ ея орбитѣ съ силой тяжести на поверхности земли и нашелъ между ними приблизительное равенство. Все это имѣло мѣсто во время чумы 1665—1666 года; въ это время я переживалъ лучшую пору своей юности и больше интересовался математикой и философіей, чѣмъ когда бы то ни было впослѣдствіи»[1]).

170. Большую часть этого времени (1665—1666) онъ провелъ въ Вульсторпѣ, по причинѣ свирѣпствовавшей чумы.

Извѣстный разсказъ о томъ, что паденіе яблока съ дерева, росшаго въ его саду, навело его на размышленія о тяжести, основанъ на заслуживающемъ довѣрія авторитетѣ и вполнѣ правдоподобенъ въ томъ смыслѣ, что паденіе яблока напомнило ему въ данный моментъ о нѣкоторыхъ проблемахъ, связанныхъ съ тяжестью. Совершенно невѣроятно, однако, чтобы яблоко внушило ему самую мысль о существованіи подобныхъ проблемъ или ключъ къ разрѣшенію ихъ.

Не мало астрономовъ задумывалось о «причинѣ» извѣстныхъ движеній планетъ и спутниковъ; другими словами — они пытались представить эти движенія, какъ слѣдствія основныхъ и болѣе общихъ законовъ. Какъ мы видѣли, Кеплеръ (гл. VII, § 150) указывалъ, что эти движенія невозможно приписывать вліянію чисто-геометрическихъ точекъ, каковы, напримѣръ, центры древнихъ эпицикловъ, но вліянію другихъ тѣлъ, и въ частности пытался объяснить движеніе планетъ особаго рода силой, исходящей изъ солнца. Онъ, однако, сдѣлалъ громадную ошибку въ томъ, что искалъ силы, подтал-

---

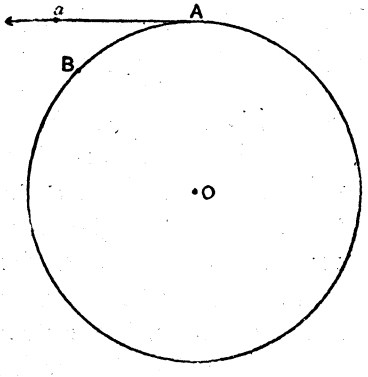
[1]) Съ подлинной рукописи Ньютона, изъ Портсмутскаго собранія.

кивающей планеты. Галилеево открытіе, что движеніе тѣла продолжается безконечно, если его не прекращаетъ или не измѣняетъ какая-нибудь причина, пролило новый свѣтъ на эти и другія механическія проблемы; но самъ онъ не далъ своей идеѣ развитія въ этомъ частномъ направленіи. *Джіованни Альфонсо Борелли* (1608—1679), въ книгѣ о спутникахъ Юпитера, изданной въ 1666 году, значитъ, въ эпоху первыхъ трудовъ Ньютона, указалъ, что тѣло, обращающееся по кругу (или аналогичной кривой), стремится удалиться отъ центра и что въ случаѣ планетъ можно предположить, что это стремленіе уравновѣшивается нѣкотораго рода притяженіемъ къ солнцу. Здѣсь мы встрѣчаемся съ идеей,—правда, очень неясной,—что движеніе планеты нельзя объяснять силой, дѣйствующей въ направленіи движенія, но силой, направленной къ солнцу, т.-е. почти подъ прямымъ угломъ къ направленію движенія планеты. Гюйгенсъ полнѣе развилъ эту мысль — хотя и безъ спеціальнаго отношенія къ астрономіи — и получилъ (гл. VIII, § 158) численное выраженіе для стремленія тѣла, движущагося по кругу, удалиться отъ центра,— стремленія, которое должно чѣмъ-нибудь уравновѣшиваться, иначе тѣло отлетѣло бы прочь. Гюйгенсъ напечаталъ свою работу въ 1673 году, черезъ нѣсколько лѣтъ послѣ того, какъ и Ньютонъ получилъ соотвѣтствующіе результаты, но не успѣлъ еще ничего обнародовать; нѣтъ сомнѣнія, что они трудились совершенно независимо другъ отъ друга.

171. Если смотрѣть съ общей точки зрѣнія, независимо отъ того приложенія, какое она имѣетъ въ астрономіи, то рѣшенная ими задача предста-

вляется въ такомъ видѣ: изслѣдовать условія, при которыхъ тѣло можетъ обращаться по кругу съ равномѣрной скоростью.

Пусть A изображаетъ для даннаго момента положеніе тѣла, обращающагося съ равномѣрной скоростью по кругу, центръ котораго находится въ O. Въ этотъ моментъ тѣло движется по касательной



Фиг. 70. Круговое движеніе.

A*a*, къ кругу. По первому закону Галилея (гл. VI, §§ 130, 133) это тѣло, если его предоставить самому себѣ и уединить отъ вліянія другихъ тѣлъ, продолжало бы двигаться съ той же скоростью и въ томъ же направленіи, т.-е. по прямой A*a*, и, слѣдовательно, по истеченіи нѣкотораго промежутка времени пришло бы, скажемъ, въ точку *a*. Въ дѣйствительности же оно оказывается въ точкѣ B на кругѣ. Очевидно, какая-то сила перенесла его въ B, вмѣсто *a*. Но B ближе къ центру круга, нежели

a; значитъ, нѣкоторая сила непрерывно стремилась притянуть тѣло къ точкѣ O, противодѣйствуя стремленію, которымъ оно обладало въ силу перваго закона движенія, именно стремленію удалиться отъ O. Выразить численно то или иное изъ этихъ стремленій возможно лишь при помощи болѣе сложной идеи, чѣмъ скорость движенія, именно помощью **ускоренія** или величины измѣненія скорости—идея, которую Галилей ввелъ въ науку въ своемъ изслѣдованіи законовъ паденія тѣлъ (гл. VI, §§ 116, 133). Напримѣръ, падающее тѣло черезъ секунду движется со скоростью 32 футовъ (въ секунду), черезъ двѣ секунды со скоростью 64, черезъ три — со скоростью 96, и такъ далѣе; въ каждую секунду оно получаетъ приращеніе скорости въ 32 фута; другими словами это можно выразить такъ: тѣло обладаетъ ускореніемъ въ 32 фута на секунду. Дальнѣйшее изслѣдованіе кругового движенія показываетъ, что его можно вполнѣ объяснить при условіи, если движущееся тѣло, кромѣ начальной своей скорости, обладаетъ опредѣленнымъ ускореніемъ, направленнымъ къ центру круга. Далѣе легко показать, что ускореніе можно выразить численно, раздѣливъ квадратъ скорости движущагося тѣла (выраженной, скажемъ, въ футахъ) на радіусъ круга, также выраженный въ футахъ. Если, напримѣръ, тѣло движется по кругу, радіусомъ въ 4 фута, со скоростью десяти футовъ въ секунду, то ускореніе къ центру равно будетъ $\left(\frac{10\times10}{4}=\right)$ 25 футамъ на секунду.

Эти результаты и другіе того же характера были обнародованы Гюйгенсомъ—разумѣется, не въ этой

самой формѣ — въ его книгѣ о *Часахъ съ маятникомъ* (гл. VIII, § 158) и независимо отъ того открыты Ньютономъ въ 1666 году.

Итакъ, когда тѣло видимымъ образомъ движется по кругу, то движеніе его становится вполнѣ понятнымъ, если открыть тѣло, производящее ускореніе. Въ обыденныхъ случаяхъ — когда, напримѣръ, камень вращается на веревкѣ — это ускореніе производится веревкой, къ которой онъ привязанъ; во вращающемся волчкѣ ускореніе внѣшнихъ частей производится силами, связывающими ихъ съ внутренними частями, и т. п.

172. Въ астрономіи наиболѣе важнымъ случаемъ этого рода является тотъ, когда планета обращается вокругъ солнца по орбитѣ, мало отличающейся отъ круга. Если мы допустимъ, что путь ея дѣйствительно кругъ, то планета должна обладать ускореніемъ къ центру, которое можно приписать вліянію центральнаго тѣла, солнца. Такимъ путемъ возникаетъ мысль—приписать солнцу опредѣленное вліяніе на планету, обращающуюся вокругъ него, способность сообщать ей ускореніе; вслѣдъ за тѣмъ немедленно возникаетъ вопросъ — какъ измѣняется это «вліяніе» въ зависимости отъ разстоянія? Чтобы отвѣтить на него, Ньютонъ воспользовался третьимъ закономъ Кеплера (гл. VII, § 144). Мы видѣли, что по этому закону квадраты временъ обращеній двухъ планетъ пропорціональны кубамъ ихъ среднихъ разстояній отъ солнца; но скорость планеты можно найти, раздѣливъ длину орбиты, описываемой ею вокругъ солнца, на время обращенія, а эта длина, въ свою очередь, пропорціональна разстоянію планеты отъ солнца. Значитъ, скорости двухъ планетъ

пропорціональны ихъ разстояніямъ отъ солнца, дѣленнымъ на времена ихъ обращенія, а, слѣдовательно, квадраты скоростей пропорціональны квадратамъ разстояній отъ солнца, дѣленнымъ на квадраты временъ обращеній. Отсюда, по закону Кеплера, квадраты скоростей пропорціональны квадратамъ разстояній, дѣленнымъ на кубы разстояній, т.-е. квадраты скоростей обратно пропорціональны разстояніямъ; такимъ образомъ, наиболѣе удаленная планета обладаетъ наименьшей скоростью, и наоборотъ. По формулѣ Гюйгенса ускореніе измѣряется квадратомъ скорости, дѣленнымъ на радіусъ круга (въ данномъ случаѣ разстояніе планеты отъ солнца). Поэтому, ускоренія двухъ планетъ въ направленіи солнца обратно пропорціональны разстояніямъ, помноженнымъ на себя, то-есть обратно пропорціональны квадратамъ разстояній. Первый результатъ, полученный Ньютономъ, былъ такой: движенія планетъ — если считать ихъ движущимися по кругамъ, въ строгомъ согласіи съ третьимъ закономъ Кеплера — можно объяснить вліяніемъ солнца, если предположить за нимъ способность производить въ планетѣ ускореніе, обратно пропорціональное квадрату ея разстоянія отъ солнца. Иначе говоря, при двойномъ разстояніи оно равно $\frac{1}{4}$, при тройномъ — $\frac{1}{9}$, при десятерномъ — $\frac{1}{100}$ первоначальной величины и т. д.

Пояснимъ это численнымъ примѣромъ. Въ круглыхъ цифрахъ разстояніе Юпитера отъ солнца въ пять разъ больше земного, и онъ совершаетъ свой оборотъ въ теченіе 12 земныхъ годовъ. Значитъ, Юпитеръ въ 12 лѣтъ проходитъ впятеро большее пространство, чѣмъ земля въ одинъ годъ, и, слѣдовательно, скорость его составляетъ $\frac{5}{12}$ скорости зе-

мли, или отношеніе этихъ скоростей равно 5 къ 12. Квадраты ихъ относятся, какъ 5×5 къ 12×12, или 25 къ 144. Ускоренія Юпитера и земли относятся, поэтому, какъ $25:5$ къ 144, или какъ $5:144$; значитъ, ускореніе Юпитера составляетъ около $\frac{1}{28}$ ускоренія земли, а если бы мы взяли болѣе точныя цифры, то эта дробь обратилась бы приблизительно въ $\frac{1}{25}$. Значитъ, при пятерномъ разстояніи ускореніе въ 25 разъ меньше.

Этотъ **законъ обратныхъ квадратовъ**, какъ его можно назвать, есть тотъ самый законъ, по которому измѣняется сила освѣщенія, испускаемаго солнцемъ или другимъ свѣтящимся тѣломъ, и весьма возможно, что онъ прилагается ко всѣмъ вліяніямъ, исходящимъ отъ солнца.

173. Слѣдующимъ шагомъ Ньютона была попытка изслѣдовать, нельзя ли объяснить вышеописаннымъ образомъ и движеніе луны вокругъ земли. Путемъ изложенныхъ аргументовъ можно было и въ лунѣ обнаружить ускореніе въ направленіи земли. Брошенный камень падаетъ внизъ, т.-е. въ направленіи центра земли, и Галилей показалъ (гл. VI, § 133), что это — равномѣрно-ускоренное движеніе; если, согласно господствовавшему въ то время мнѣнію, движеніе это приписывать вліянію земли, то мы можемъ сказать, что земля обладаетъ способностью сообщать ускореніе къ своему центру тѣламъ, находящимся близъ ея поверхности. Ньютонъ замѣтилъ, что это вліяніе простирается, по крайней мѣрѣ, до горныхъ вершинъ, и ему пришло въ голову, что оно можетъ простираться и до луны, производя въ ней требуемое ускореніе. Хотя, впрочемъ, ускореніе падающихъ тѣлъ ученымъ того времени

казалось одинаковымъ для всѣхъ земныхъ предметовъ, гдѣ бы они ни находились, все-таки представлялось вѣроятіе, что на разстояніи луны ускореніе, вызываемое землей, гораздо меньше. Ньютонъ принялъ гипотезу, что оно уменьшается по тому же закону, къ которому онъ раньше пришелъ относительно вліянія солнца на планеты, т.-е. что ускореніе, вызываемое землей въ какомъ-нибудь тѣлѣ, обратно пропорціонально квадрату разстоянія тѣла отъ центра земли.

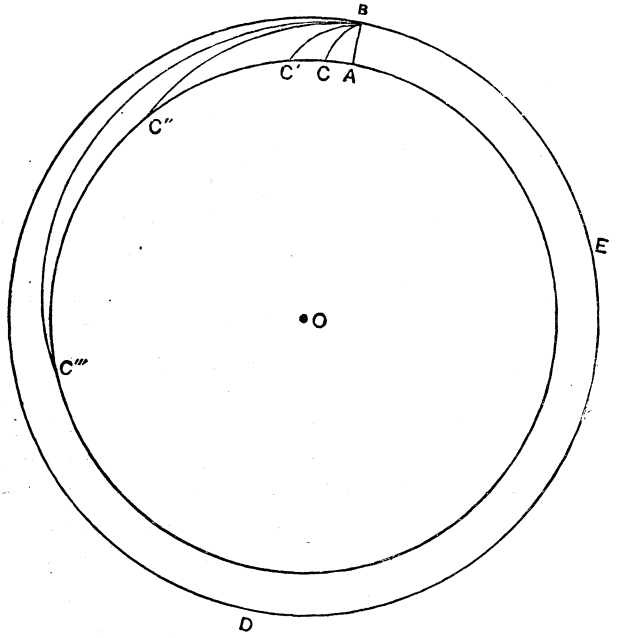
Нужно замѣтить, что здѣсь возникаетъ затрудненіе, котораго не было въ соотвѣтствующемъ случаѣ съ планетами. Такъ какъ разстоянія планетъ громадны по сравненію съ величиной солнца, то безразлично, отсчитываются ли они отъ центра солнца, или отъ другой какой-либо точки его. То же справедливо и для земли съ луной; но когда мы сравниваемъ дѣйствіе земли на луну съ дѣйствіемъ ея на камень, помѣщенный на ея поверхности или недалеко отъ нея, то является чрезвычайно важный вопросъ — измѣрять ли разстояніе камня отъ ближайшей точки земли, въ нѣсколько футовъ, отъ центра ли земли, въ 4.000 миль (6.000 верстъ), или отъ какой-нибудь другой точки? Какъ бы то ни было, Ньютонъ временно рѣшилъ измѣрять его отъ центра земли.

Ему оставалось провѣрить свои догадки относительно луны помощью вычисленій; это легко сдѣлать, если даны извѣстныя величины, напримѣръ, ускореніе тѣла, падающаго на землю, разстояніе поверхности земли отъ ея центра, разстояніе луны и время обращенія ея вокругъ земли. Первая изъ этихъ величинъ извѣстна была довольно точно; по-

слѣдняя также была хорошо измѣрена; кромѣ того, было извѣстно, что разстояніе луны составляетъ 60 земныхъ радіусовъ. Насколько точно Ньютонъ былъ освѣдомленъ въ это время насчетъ величины земного шара, мы не знаемъ. Съ приближенными числами вычисленіе выполняется весьма быстро. Въ мѣсяцъ (около 27 дней) луна проходитъ разстояніе, въ 60 разъ превосходящее окружность земли, т.-е. она проходитъ 60×24.000 миль въ 27 дней, что составляетъ около 3.300 футовъ въ секунду. Ускореніе луны измѣряется квадратомъ этой скорости, дѣленнымъ на разстояніе луны (равное 60 земнымъ радіусамъ или 20.000.000 футовъ), т.-е. оно равно $\frac{3.300 \times 3.300}{60 \times 20.000.000}$, откуда по сокращеніи получаемъ около $\frac{1}{100}$. Слѣдовательно, если законъ обратныхъ квадратовъ вѣренъ, то ускореніе падающаго тѣла на поверхности земли, отстоящей отъ центра въ 60 разъ ближе луны, равно $\frac{60 \times 60}{110}$ или 32—33 футамъ; но дѣйствительное ускореніе падающихъ тѣлъ немного больше 32. Значитъ, вычисленіе удовлетворительно, и гипотеза Ньютона провѣрена.

Указанную аналогію между движеніемъ луны вокругъ земли и движеніемъ падающаго камня можно иллюстрировать ньютоновымъ сравненіемъ луны съ ядромъ, которымъ выстрѣлили въ горизонтальномъ направленіи изъ пушки, помѣщенной высоко надъ землей. Пусть ядро выбрасывается изъ точки B (фиг. 71); двигаясь сперва горизонтально, оно опишетъ кривую траэкторію и достигнетъ земли, скажемъ, въ точкѣ C, въ нѣкоторомъ разстояніи отъ

точки A, находящейся (считая по вертикали) ниже точки отправленія. Если придать ядру большую скорость, то путь его вначалѣ будетъ болѣе плоскимъ, и оно достигнетъ земли въ точкѣ C′, за C; если скорость его еще увеличится, то оно упадетъ въ точкѣ



Фиг. 71. Луна, разсматриваемая, какъ ядро.

C″ или C‴; при небольшомъ усиліи воображенія легко понять, что если сообщить ему опредѣленную, весьма большую скорость, то оно не коснется земли, а опишетъ кругъ вокругъ нея, BDE. Именно это и происходитъ съ луной, съ той только разницей, что луна отстоитъ отъ земли гораздо дальше, чѣмъ наше воображаемое ядро, и что движеніе ея не

вызвано было пушкой или аналогичной причиной; но разъ движеніе существуетъ, то уже безразлично, какъ оно началось и началось ли когда-нибудь въ прошломъ. Мы смѣло можемъ сказать о лунѣ, что «она падающее тѣло, но только движется такъ быстро и на такомъ разстояніи, что огибаетъ землю, вмѣсто того чтобы упасть на нее, и это длится изъ вѣка въ вѣкъ» [1]).

Въ вышеупомянутомъ мемуарѣ (§ 169) Ньютонъ говоритъ о гипотезѣ, какъ о «весьма близко» отвѣчающей фактамъ; но въ письмѣ, относящемся къ болѣе раннему времени (отъ 20 іюля 1686 г.), онъ указываетъ на то, что вычисленіе не было сдѣлано съ достаточной точностью. Вѣроятно, онъ воспользовался чрезвычайно неточной оцѣнкой величины земли, не зная объ измѣреніяхъ Снелля и Норвуда (гл. VIII, § 159); извѣстно, что даже въ болѣе позднемъ возрастѣ онъ не могъ удовлетворительно справиться съ вышеупомянутымъ затрудненіемъ, именно: можно ли отождествлять землю съ ея центромъ при рѣшеніи вопроса объ ускореніи? И, разумѣется, ему было хорошо извѣстно, что путь луны значительно отклоняется отъ круга. Мнѣніе, почерпнутое будто бы изъ бесѣды съ Ньютономъ много лѣтъ спустя, именно, что онъ до такой степени былъ недоволенъ собственными результатами, что считалъ свою гипотезу существенно невѣрной, представляется вѣроятнымъ, но никоимъ образомъ не обладаетъ безусловной достовѣрностью; какъ бы то ни было, онъ отложилъ на время свою работу въ сторону и отдался изученію оптики и математики.

---

[1]) У. К. Клиффордъ: *Цѣли и средства научной мысли.*

174. Между тѣмъ вопросъ о планетныхъ движеніяхъ занялъ видное мѣсто въ числѣ множества предметовъ, интересовавшихъ группу замѣчательныхъ людей, составлявшихъ, такъ сказать, душу Королевскаго Общества, основаннаго въ 1662 году. *Робертъ Гукъ* (1635—1703), претендовавшій на большинство научныхъ открытій своего времени, не позже 1674 года высказалъ довольно ясное предположеніе, что движенія планетъ можно объяснить притяженіемъ между ними и солнцемъ, и указалъ также на возможное со стороны земли вліяніе на тѣла, измѣняющееся по закону обратныхъ квадратовъ. *Христофоръ Ренъ* (1632—1723), болѣе, впрочемъ, извѣстный за архитектора, нежели за мужа науки, обсуждалъ нѣкоторые вопросы этого рода съ Ньютономъ въ 1677 году и также, повидимому, приходилъ къ мысли о притяженіи. Письмо Гука къ Ньютону, писанное въ концѣ 1679 года и, между прочимъ, касавшееся вопроса о томъ, какую кривую описываетъ падающее тѣло, если принять въ разсчетъ движеніе земли, побудило Ньютона, заявившаго о томъ, что его «пристрастіе къ философіи» исчезло, вновь приняться за изученіе небесныхъ движеній. Въ это время повсюду распространилась вѣсть о точномъ измѣреніи земли Пикаромъ (гл. VIII, § 159), и Ньютонъ заново произвелъ свои вычисленія луннаго движенія, пользуясь улучшенной оцѣнкой величины земли; на этотъ разъ результатъ оказался болѣе удовлетворительнымъ.

175. Въ то же самое время (1679) Ньютону удалось сдѣлать еще одно открытіе величайшей важности, преодолѣвъ затрудненія, связанныя съ движеніемъ тѣла по траэкторіи, отличной отъ круга.

Онъ показалъ, что если тѣло движется вокругъ центральнаго тѣла такимъ образомъ, что линія, соединяющая ихъ, описываетъ равныя площади въ равныя времена, по второму кеплерову закону планетнаго движенія (гл. VII, § 141), то это движущееся тѣло находится подъ дѣйствіемъ притяженія, направленнаго прямо къ центральному тѣлу; и далѣе, если орбита эллипсъ, въ фокусѣ котораго находится центральное тѣло, по первому кеплерову закону планетнаго движенія, то это притяженіе измѣняется въ различныхъ частяхъ орбиты обратно пропорціонально квадрату разстояній между обоими тѣлами. Онъ показалъ, что кеплеровы законы планетныхъ движеній неизбѣжно приводятъ насъ къ заключенію, что солнце оказываетъ на планеты притягательное дѣйствіе, обратно пропорціональное квадрату разстоянія планеты отъ солнца, и что такое притяженіе вполнѣ удовлетворительно объясняетъ движеніе планеты.

Тѣмъ не менѣе, Ньютонъ продолжалъ ничего не печатать и «отложилъ свои вычисленія, будучи занятъ другимъ».

176. Приблизительно черезъ пять лѣтъ вниманіе его снова обращено было на этотъ предметъ, на этотъ разъ *Эдмундомъ Галлеемъ* (гл. X, §§ 199—205), дружба съ которымъ сыграла важную роль въ послѣдующей жизни Ньютона и который являлъ своей безкорыстной преданностью великому астроному пріятный контрастъ съ завистью и рознью, господствовавшими въ то время среди многихъ людей науки. Не зная о ньютоновой работѣ 1666 года, Галлей открылъ въ началѣ 1684 года законъ обратныхъ квадратовъ, какъ слѣдствіе изъ третьяго закона

Кеплера, а вскорѣ послѣ того принялъ участіе въ спорѣ Рена и Гука насчетъ того, какую кривую описывало бы тѣло подъ вліяніемъ притяженія, подчиняющагося этому закону; но никто изъ нихъ не могъ отвѣтить на этотъ вопросъ [1]). Въ томъ же году, но позже, Галлей навѣстилъ Ньютона въ Кембриджѣ и получилъ отъ него отвѣтъ. Ньютонъ потерялъ свои прежнія вычисленія, но съ характерной для него быстротой вновь произвелъ ихъ и прислалъ Галлею черезъ нѣсколько мѣсяцевъ. Къ счастью, его вниманіе въ это время не отвлекалось посторонними темами; онъ быстро разработалъ нѣсколько другихъ вопросовъ движенія, которымъ и посвятилъ свой обычный осенній курсъ лекцій въ университетѣ. Изъ новыхъ результатовъ всего интереснѣе былъ тотъ, что третій законъ Кеплера, изъ котораго полученъ былъ въ 1666 году законъ обратныхъ квадратовъ при условіи, что планеты обращаются только по кругамъ, оказался вполнѣ согласнымъ съ закономъ Ньютона даже и въ томъ случаѣ, если принять планетныя орбиты за эллипсы.

177. Въ концѣ 1684 года Галлей отправился въ Кембриджъ и сталъ убѣждать Ньютона опубликовать свои результаты. По его настояніямъ Ньютонъ написалъ и послалъ въ Королевское Общество трактатъ, озаглавленный *Propositiones de Motu*—«Предложенія о движеніи», 11 предложеній котораго заключали въ себѣ какъ вышеизложеные, такъ и другіе результаты, относящіеся до движенія тѣлъ подъ

---

[1]) Любопытно, что Ренъ предложилъ премію въ 40 шиллинговъ тому изъ своихъ оппонентовъ, который разрѣшилъ бы эту центральную загадку солнечной системы.

вліяніемъ тяготѣнія къ центру. Хотя положенія даны были въ абстрактной формѣ, тѣмъ не менѣе, въ трактатѣ указывается, что нѣкоторыя изъ нихъ приложимы къ планетамъ. Подъ давленіемъ Галлея Ньютонъ рѣшился, наконецъ, придать своимъ результатамъ болѣе прочную форму и изложилъ ихъ въ большой книгѣ. Какъ и слѣдовало ожидать, въ обработкѣ Ньютона сюжетъ разрастался, и громадный трактатъ, вышедшій изъ рукъ его, содержалъ въ себѣ огромное количество матеріала, не вошедшаго въ *Propositiones de Motu.* Къ серединѣ 1686 года черновая рукопись была уже закончена и часть ея приготовлена къ печати. Галлей не только взялъ на себя издержки, но и надзоръ за печатаніемъ, и помогъ Ньютону въ собираніи необходимыхъ астрономическихъ данныхъ. Послѣ нѣкотораго промедленія въ типографіи, книга, наконецъ, появилась въ началѣ іюля 1687 года, подъ заглавіемъ *Philisophiae Naturalis Principia Mathematica*—«Математическія основы естественной философіи».

178. *Principia* или *Начала,* какъ обыкновенно называютъ этотъ трактатъ, состоитъ изъ введенія и трехъ книгъ: первая трактуетъ общіе вопросы движенія, разрѣшаемые по большей части абстрактнымъ путемъ, безъ спеціальнаго отношенія къ астрономіи; вторая изслѣдуетъ движеніе тѣлъ въ срединахъ, сопротивляющихся движенію—напримѣръ, въ обыкновенныхъ жидкостяхъ—и представляетъ сравнительно мало значенія для астрономіи, если не считать нѣсколькихъ указаній на явную несостоятельность теоріи вихрей Декарта; третья книга разсматриваетъ полученные результаты въ приложеніи ихъ къ солнечной системѣ и даетъ объясненіе движеній небес-

ныхъ тѣлъ на основаніи ньютоновыхъ механическихъ принциповъ.

179. Введеніе, состоящее изъ «Опредѣленій» и «Аксіомъ или законовъ движенія», представляетъ собой цѣнный вкладъ въ динамику: это первое связное изложеніе основныхъ законовъ, по которымъ возникаютъ или измѣняются движенія тѣлъ. Самъ Ньютонъ, повидимому, не придавалъ большого значенія этой части своего труда, и заключенные въ ней важные результаты какъ бы стушевывались передъ болѣе поразительными открытіями, изложенными въ другихъ частяхъ книги, и потому обратили на себя сравнительно мало вниманія. Большую часть изъ нихъ мы должны обойти молчаніемъ, но нѣкоторые результаты, представляющіе спеціально астрономическій интересъ, заслуживаютъ упоминанія.

Галилей, какъ мы видѣли (гл. VI, §§ 130 и 133), первый обнародовалъ законъ, по которому тѣло, разъ начавшее двигаться, продолжаетъ свое движеніе въ томъ же направленіи и съ той же скоростью, если какая-нибудь причина не заставляетъ его измѣнить это движеніе. Законъ этотъ былъ выраженъ Ньютономъ въ формѣ, приведенной въ § 130, въ качествѣ перваго изъ трехъ основныхъ законовъ, который и теперь извѣстенъ подъ названіемъ перваго закона движенія.

Далѣе Галилей открылъ, что падающее тѣло движется съ непрерывно измѣняющейся скоростью, именно съ равномѣрнымъ ускореніемъ (гл. VI, § 133), и что это ускореніе одинаково для всѣхъ тѣлъ (тамъ же, § 116). Такъ какъ стремленіе тѣла падать обыкновенно приписывалось вліянію земли, то открытіе Галилея равносильно было признанію

того факта, что вліяніе одного тѣла на другое можетъ выражаться въ ускореніи, сообщаемомъ дв-и женію этого послѣдняго. Ньютонъ расширилъ эту мысль, показавъ, что земля сообщаетъ ускореніе движенію луны, а солнце—движеніямъ планетъ, и пришелъ къ общему понятію объ ускорительномъ движеніи тѣла, которое можно различнымъ образомъ объяснять вліяніемъ другихъ тѣлъ и которое съ удобствомъ можетъ быть принято за мѣру вліянія одного тѣла на другое.

180. Къ этимъ понятіямъ Ньютонъ присоединилъ очень важное и трудное понятіе **массы**.

При сравненіи двухъ тѣлъ, построенныхъ изъ одинаковаго матеріала, но неодинаковыхъ по объему, мы привыкли думать, что большее по объему тяжелѣе, т.-е. обладаетъ бо̀льшимъ вѣсомъ. Съ другой стороны, мы считаемъ, что свинцовый шаръ тяжелѣе деревянаго шара того же объема. Въ нашемъ сознаніи наиболѣе замѣтнымъ факторомъ «тяжести» или «легкости» является ощущеніе мускульнаго усилія, требуемаго для поддержанія или поднятія даннаго тѣла; напримѣръ, для удержанія свинцоваго шара требуется большее усиліе, чѣмъ для удержанія деревяннаго шара одинаковаго съ нимъ объема. Далѣе, свинцовый шаръ, подвѣшенный на эластическомъ шнуркѣ—напримѣръ, на резиновомъ—растягиваетъ его сильнѣе, нежели деревянный; если ихъ помѣстить на чашки вѣсовъ, то свинцовый шаръ опустится, а деревянный поднимется. Всѣ эти явленія мы приписываемъ «тяжести» тѣлъ и дѣйствіе земли на тѣла привыкли въ большинство случаевъ также называть тяжестью. Общеизвѣстный процессъ взвѣшиванія тѣлъ на вѣсахъ показываетъ, далѣе,

что мы привыкли считать тяжесть величиной измѣримой. Съ другой стороны, мы знаемъ изъ галилеевыхъ результатовъ, тщательно провѣренныхъ Ньютономъ посредствомъ цѣлаго ряда опытовъ надъ маятникомъ, что свинцовый и деревянный шары падаютъ съ высоты съ одинаковымъ ускореніемъ. Значитъ, если дѣйствіе, оказываемое землей на оба шара, измѣрять ихъ ускореніями, то окажется, что она вліяетъ на нихъ одинаковымъ образомъ; если же измѣрять его степенью натяженія эластическаго шнурка, или силой, съ которой приходится удерживать ихъ въ равновѣсіи на вѣсахъ, тогда вліяніе, оказываемое землей на свинцовый шаръ, окажется бо̀льшимъ, нежели вліяніе на деревянный шаръ. Въ этомъ случаѣ вліяніе земли на каждый шаръ можно выражать тяжестью, а тяжесть тѣла можно измѣрять на вѣсахъ путемъ сравненія съ тѣломъ, принятымъ за образецъ (за единицу).

Различіе между двумя тѣлами вродѣ свинцоваго и деревяннаго шара можно установить, однако, еще и другимъ путемъ. Легко видѣть, напримѣръ, что для сообщенія движенія первому шару требуется большее усиліе; или если мы каждый изъ нихъ привяжемъ къ шнурку и станемъ вращать съ опредѣленной скоростью, то въ первомъ случаѣ шнурокъ натянется туже, чѣмъ во второмъ. Въ обоихъ этихъ случаяхъ притяженіе земли не играетъ роли, но независимо отъ него различіе все-таки существуетъ. Это различіе Ньютонъ объяснялъ разницей въ количествѣ вещества или матеріала, изъ котораго построены тѣла, и этому количеству онъ далъ названіе массы. Правда, можно сомнѣваться, выиграла ли наука отъ этого особеннаго опредѣленія массы, но

ясное признаніе массы за свойство тѣлъ уже было громаднымъ шагомъ впередъ,—свойство, играющее важную роль въ вопросахъ динамики и доступное измѣренію.

Развивая мысль Галилея, Ньютонъ за мѣру дѣйствія, оказываемаго однимъ тѣломъ на другое, принималъ произведеніе массы на ускореніе, именно, особую величину, которой онъ давалъ различныя названія, теперь замѣненныя словомъ **сила**. Вѣсъ тѣла, такимъ образомъ, отождествлялся съ силой дѣйствія, оказываемаго на него землей. Такъ какъ земля въ одномъ и томъ же мѣстѣ вызываетъ одинаковое ускореніе во всѣхъ тѣлахъ, то изъ этого слѣдуетъ, что массы тѣлъ, находящихся въ одномъ мѣстѣ, пропорціональны ихъ вѣсамъ. Такъ, если два тѣла подвергаются сравненію въ одномъ и томъ же мѣстѣ и вѣсъ одного изъ нихъ (скажемъ, на вѣсахъ) оказывается въ десять разъ больше вѣса другого, то, значитъ, и масса его въ десять разъ превосходитъ количествомъ массу другого тѣла. Но эксперименты вродѣ опытовъ Рише въ Кайеннѣ (гл. VIII, § 161) показали, что ускореніе падающихъ тѣлъ на экваторѣ меньше, чѣмъ въ высокихъ широтахъ, такъ что если перенести тѣло изъ Лондона или Парижа въ Кайенну, то вѣсъ его измѣнится, хотя масса останется прежней. Ньютонова концепція о томъ, что притяженіе земли простирается до луны, придала особо важное значеніе различію между массой и вѣсомъ; если тѣло перемѣстить съ земли на луну, то масса его не измѣнится, но ускореніе, сообщаемое притяженіемъ земли, уменьшится въ 60×60 разъ, а въ такой же пропорціи уменьшится и вѣсъ.

Ньютонъ даетъ, кромѣ того, правила[1]) для отысканія результата одновременнаго дѣйствія на тѣло двухъ или болѣе силъ.

Слѣдующій весьма важный принципъ, лишь слабые слѣды котораго мы находимъ до Ньютона, былъ имъ формулированъ подъ именемъ третьяго закона движенія въ такомъ видѣ: «всякому дѣйствію соотвѣтствуетъ равное и прямо противоположное противодѣйствіе, или взаимныя дѣйствія двухъ тѣлъ всегда равны и противоположны». Здѣсь дѣйствіе и противодѣйствіе первоначально истолковываются въ смыслѣ силы. Если камень покоится на рукѣ, то сила, съ которой онъ давитъ на руку сверху внизъ, равна силѣ, съ которой рука давитъ на камень снизу вверхъ; если земля тянетъ камень книзу съ извѣстной силой, то съ такой же силой и камень тянетъ землю кверху и такъ далѣе. Нужно только помнить, что если два тѣла дѣйствуютъ другъ на друга, какъ въ послѣднемъ нашемъ примѣрѣ, то ускоренія ихъ не одинаковы; такъ какъ сила измѣряется произведеніемъ массы на ускореніе, то тѣло съ большей массой получаетъ меньшее ускореніе. Въ случаѣ камня и земли масса этой послѣдней неизмѣримо больше массы камня [2]), значитъ, и ускореніе ея неизмѣримо меньше, и потому (какъ показываетъ опытъ) совершенно неощутительно.

---

[1]) Общеизвѣстный параллелограммъ силъ, о которомъ прежніе писатели имѣли смутное представленіе, былъ ясно формулированъ и доказанъ во введеніи къ *Началамъ* и въ томъ же году, по любопытному совпаденію, обнародованъ *Вариньономъ* и *Лами*.

[2]) Она составляетъ отъ 13 до 14 билліоновъ фунтовъ (гл. X, § 219).

181. Когда Ньютонъ начиналъ писать *Principia*, онъ, вѣроятно, удовольствовался признаніемъ того факта (§ 173), что притягательная сила земли простирается до луны и что производимое ею ускореніе всякаго тѣла—будь то луна или близкій къ землѣ предметъ—обратно пропорціонально квадрату разстоянія отъ центра земли. Введя понятія силы и массы, мы получаемъ такую формулировку закона: *земля притягиваетъ всякое тѣло съ силой, обратно пропорціональной квадрату его разстоянія отъ центра и прямо пропорціональной его массѣ.*

Тѣмъ же путемъ Ньютонъ установилъ, что движенія планетъ могутъ быть объяснены ихъ тяготѣніемъ къ солнцу, сообщающему имъ ускореніе, обратно пропорціональное ихъ разстоянію отъ солнечнаго центра, не только для одной и той же планеты въ различныхъ частяхъ ея орбиты, но и для различныхъ планетъ. Отсюда вытекаетъ, что солнце притягиваетъ всякую планету съ силой, обратно пропорціональной квадрату ея разстоянія отъ центра и прямо пропорціональной ея массѣ.

По третьему закону движенія, тѣло, испытывающее тяготѣніе къ землѣ, въ свою очередь должно оказывать на нее равносильное притяженіе. Напримѣръ, если масса Венеры въ семь разъ больше массы Марса, то сила, съ которой солнце притягиваетъ Венеру, всемеро больше той силы, съ которой оно притягивало бы Марса, если бы его перенести на разстояніе Венеры. Поэтому, во всѣхъ разсмотрѣнныхъ нами до сихъ поръ случаяхъ тяготѣнія, въ которыхъ возможно сравненіе, сила пропорціональна не только массѣ притягивающаго тѣла, но и массѣ притягиваемаго, оставаясь обратно пропорціональ-

ной квадрату разстоянія. Такимъ образомъ, тяготѣніе оказывается уже не свойствомъ одного только центральнаго тѣла системы, но и присущимъ планетамъ въ такой же мѣрѣ, какъ и солнцу, лунѣ и камню, какъ и землѣ.

Мало того, то обстоятельство, что отдѣльные предметы на поверхности земли притягиваются ею и, въ свою очередь, сами ее притягиваютъ, заставляетъ думать, что свойство притягивать другія тѣла, обнаруживаемое небесными тѣлами, присуще каждому небесному тѣлу не только въ цѣломъ, но и отдѣльнымъ частицамъ, составляющимъ его, такъ что, напримѣръ, сила, съ которой Юпитеръ и солнце взаимно притягиваются, есть результатъ соединеннаго дѣйствія силъ, съ которыми отдѣльныя частицы, составляющія Юпитеръ, притягиваютъ частицы, составляющія солнце, и наоборотъ. Такимъ образомъ, мы подходимъ, наконецъ, къ формулировкѣ закона тяготѣнія въ наиболѣе общей его формѣ: *каждая частица матеріи притягиваетъ каждую другую частицу съ силой, пропорціональной массѣ каждой изъ нихъ и обратно пропорціональной квадрату разстоянія между ними* [1]).

182. Во всѣхъ приведенныхъ нами астрономическихъ примѣрахъ притяженія между различными небесными тѣлами трактовались такъ, какъ если бы они были въ точности направлены къ центру, а разстоянія между тѣлами принимались за разстоянія

---

[1]) Насколько намъ извѣстно, Ньютонъ не даетъ краткой формулировки закона въ совершенно законченномъ и общемъ видѣ; отдѣльныя части его излагаются въ различныхъ мѣстахъ *Principia*.

между ихъ центрами. О сомнѣніяхъ Ньютона въ этомъ пунктѣ по поводу притяженія тѣлъ землей мы уже говорили (§ 173); но въ началѣ 1685 года ему удалось оправдать свое предположеніе. Помощью необычайно изящнаго и простого разсужденія онъ показалъ (*Начала,* книга I, предложенія 70, 71), что если тѣло обладаетъ шарообразной формой и равномѣрной плотностью, то оно притягиваетъ всякую внѣшнюю частицу точно такъ, какъ если бы вся масса его сосредоточивалась въ центрѣ. Далѣе, онъ показалъ, что это справедливо и для шара неодинаковой плотности, если только его можно разсматривать, какъ состоящій изъ ряда сферическихъ матеріальныхъ оболочекъ—на манеръ скорлупокъ, имѣющихъ общій центръ, причемъ на протяженіи всей оболочки плотность одинакова, но въ одной оболочкѣ она можетъ быть иная, чѣмъ въ другой. Такимъ образомъ, выводъ Ньютона приложимъ къ полому резиновому шару въ такой же мѣрѣ, какъ и къ литому (т.-е. сплошь резиновому), но не примѣнимъ къ шару, склепанному изъ деревяннаго и желѣзнаго полушарія.

183. Послѣ того, какъ Ньютонъ установилъ законъ тяготѣнія, передъ нимъ возникла трудная задача, которой онъ посвятилъ большую часть первой и третью книгу *Началъ,*—вывести изъ закона тяготѣнія и трехъ своихъ «законовъ движенія» свойства движенія различныхъ членовъ солнечной системы и показать, если возможно, что вычисленныя такимъ образомъ движенія согласуются съ наблюдаемыми. Если бы это удалось, то получилось бы самое тонкое и строгое доказательство справедливости ньютоновыхъ принциповъ.

Понятіе о солнечной системѣ какъ о механизмѣ, каждый членъ котораго вліяетъ на движеніе каждаго другого члена по всеобщему закону тяготѣнія, какъ ни просто само по себѣ, все-таки порождаетъ, въ чемъ легко убѣдиться, весьма серьезныя затрудненія, если мы попытаемся фактически приложить его къ вычисленію различныхъ движеній. Если бы при изслѣдованіи движенія планеты, вродѣ Марса, возможно было считать Марсъ находящимся подъ вліяніемъ притяженія одного только солнца, а вліяніями другихъ планетъ пренебречь, тогда задача получила бы полное разрѣшеніе изъ предложеній, установленныхъ Ньютономъ въ 1679 году (§ 175); при помощи ихъ положеніе Марса въ любой моментъ можно было бы вычислить съ желаемой степенью точности. На самомъ же дѣлѣ движеніе Марса зависитъ еще и отъ притяженій, оказываемыхъ на него всѣми остальными планетами (и спутниками), а эти послѣднія въ свою очередь связаны съ положеніемъ Марса (какъ и другихъ планетъ), а, значитъ, и съ его движеніями. Такого рода задача вообще превосходитъ силы любого изъ существующихъ математическихъ методовъ. Къ счастью, однако, масса даже величайшей изъ планетъ настолько меньше массы солнца, что на движеніе какой-либо планеты, сосѣдки ея, оказываетъ лишь слабое вліяніе; поэтому, ее можно считать движущейся почти такъ, какъ если бы другихъ планетъ и не существовало; вліяніе этихъ послѣднихъ впослѣдствіи, однако, сказалось въ возмущеніяхъ или **пертурбаціяхъ**, т.-е. уклоненіяхъ орбиты изслѣдуемаго тѣла отъ своей нормы. Хотя и въ этой упрощенной формѣ задача планетныхъ движеній представляется одной изъ

труднѣйшихъ (гл. XI, § 228) и Ньютонъ не могъ рѣшить ея болѣе или менѣе полнымъ образомъ, однако, ему удалось получить нѣкоторые общіе результаты, вытекающіе изъ взаимодѣйствія планетъ; интереснѣе всего медленное поступательное движеніе апсидъ земной орбиты, давно уже подмѣченное наблюдательными астрономами (гл. III, § 59). Онъ указалъ, кромѣ того, что Юпитеръ, благодаря своей огромной массѣ, долженъ вызывать значительныя пертурбаціи въ движеніи своего сосѣда, Сатурна; этимъ онъ объяснилъ до нѣкоторой степени неправильность, впервые замѣченную Горроксомъ (гл. VIII, § 156).

184. Движеніе луны представляетъ особенныя трудности, но Ньютону, сильно, повидимому, интересовавшемуся лунной теоріей, удалось преодолѣть ихъ гораздо полнѣе, нежели соотвѣтственныя затрудненія въ вопросѣ о кометахъ.

Движеніе луны вокругъ земли, прежде всего, зависитъ отъ притяженія этой послѣдней; пертурбаціи, вызываемыя другими планетами, незначительны; солнце же, хотя и находится на большомъ разстояніи, зато обладаетъ массой, неизмѣримо превосходящей земную, и потому оказываетъ чувствительное пертурбирующее, т.-е. возмущающее вліяніе на движеніе луны. Какъ мы уже говорили, нѣкоторыя неправильности (гл. II, §§ 40, 48; гл. V, § 111) были обнаружены путемъ наблюденія. Ньютонъ съумѣлъ показать, что вліяніе солнца необходимо должно порождать пертурбаціи того же общаго характера, какъ и наблюдаемыя, а въ вопросѣ о движеніи лунныхъ узловъ и ея апогея онъ даже въ состояніи былъ придти къ очень точнымъ числен-

нымъ результатамъ [1]); онъ открылъ, кромѣ того, еще нѣсколько другихъ, по большей части очень малыхъ неправильностей, до него никѣмъ не замѣченныхъ. Онъ указалъ также на существованіе извѣстныхъ неправильностей въ движеніяхъ Юпитера и Сатурна, аналогичныхъ неравенствамъ луннаго движенія.

185. Изъ ньютоновой теоріи тяготѣнія вытекаетъ группа слѣдствій совершенно особеннаго характера. Здѣсь впервые представилась возможность оцѣнивать массы нѣкоторыхъ небесныхъ тѣлъ черезъ сравненіе притяженій, оказываемыхъ ими на другія тѣла, съ притяженіемъ земли.

Иллюстрируемъ это примѣромъ Юпитера. Время обращенія крайняго спутника Юпитера составляетъ около 16 дней 16 часовъ, а разстояніе его отъ планеты оцѣнено было Ньютономъ (не совсѣмъ точно) приблизительно въ четверное разстояніе луны отъ земли. Вычисленіе, вполнѣ сходное съ тѣмъ, какое изложено въ § 172 или § 173, показываетъ, что ускореніе, сообщаемое спутнику притяженіемъ Юпитера, почти въ десять разъ превосходитъ ускореніе луны къ землѣ, а такъ какъ разстояніе его въ четыре раза больше луннаго, то Юпитеръ притягиваетъ тѣла съ силой, въ $10 \times 4 \times 4$ раза большей той, съ какой земля ихъ притягиваетъ на томъ же

---

[1]) Обыкновенно утверждаютъ, что ньютонова оцѣнка движенія лунныхъ апсидъ составляетъ лишь половину истинной величины. Въ примѣчаніи къ 35-му предложенію третьей книги, находящемуся въ первомъ изданіи *Началъ*, но опущенному впослѣдствіи, онъ оцѣнилъ годичное перемѣщеніе въ 40°, тогда какъ изъ наблюденій оказалось около 41°. Въ одной изъ неизданныхъ своихъ бумагъ, хранящихся въ Портсмутскомъ собраніи, онъ даетъ оцѣнку въ 39°, полученную изъ вычисленія, которое онъ самъ, повидимому, считалъ вполнѣ удовлетворительнымъ.

разстояніи; слѣдовательно, масса Юпитера въ 160 разъ превосходитъ земную. Это разсужденіе прилагается и къ Сатурну, и такимъ же точно образомъ сопоставленіе движенія планеты, напримѣръ, Венеры, вокругъ солнца съ движеніемъ луны вокругъ земли даетъ соотношеніе между массами солнца и земли. Такимъ путемъ Ньютонъ нашелъ, что масса солнца въ 1067, 3021 и 169.282 раза соотвѣтственно больше массы Юпитера, Сатурна и земли. Въ настоящее время приняты цифры: 1047, 3530, 324.439. Громадная ошибка въ ньютоновомъ опредѣленіи послѣдней цифры произошла отъ невѣрной оцѣнки разстоянія солнца,— въ то время не совсѣмъ точно извѣстнаго, — отъ котораго зависятъ оцѣнки другихъ разстояній солнечной системы (кромѣ разстояній земно-лунной системы). Такъ какъ для пользованія этимъ методомъ необходимо было наблюденіе движеній тѣла, притягиваемаго изслѣдуемой планетой, то онъ не могъ быть приложенъ къ остальнымъ тремъ планетамъ (Марсу, Венерѣ и Меркурію), за которыми не числилось спутниковъ.

186. Изъ равенства дѣйствія и противодѣйствія слѣдуетъ, что если солнце притягиваетъ планеты, то и онѣ притягиваютъ солнце, и, значитъ, солнце находится въ движеніи, правда, весьма ничтожномъ, благодаря сравнительной малости планетъ. Отсюда вытекаетъ, что третій законъ Кеплера не совсѣмъ точенъ; уклоненія отъ него, впрочемъ, замѣтны лишь для большихъ планетъ, Юпитера и Сатурна (гл. VII, § 144). Ньютонъ, однако, доказалъ, что во всякой системѣ тѣлъ вродѣ солнечной, движущихся подъ вліяніемъ взаимныхъ притяженій, есть особая точка, называемая **центромъ тя-**

жести, которую всегда можно считать неподвижной; солнце перемѣщается относительно этой точки, но такъ мало, что разстояніе между центромъ солнца и центромъ тяжести немногимъ превосходитъ діаметръ солнца.

Можно отчасти удивляться тому, что за этотъ результатъ не ухватились нѣкоторые церковники, принимавшіе участіе въ осужденіи Галилея, со времени котораго прошло около полувѣка; если онъ и далеко не подтвердилъ мнѣнія, что земля находится въ центрѣ міра, то во всякомъ случаѣ опровергъ ту часть доктрины Коперника и Галилея, по которой солнце покоится неподвижно въ центрѣ міра. Вѣроятно, ни одинъ изъ тѣхъ, кому доступна была книга Ньютона, не могъ серьезно поддерживать какой бы то ни было анти-коперниканской системы, хотя нѣкоторые наружно и продолжали подчиняться папскимъ декретамъ [1]).

---

[1]) До Ньютона какъ коперниканцы, такъ и ихъ противники обыкновенно признавали, что «движеніе» и «покой» тѣла имѣютъ нѣкоторый смыслъ и безъ отношенія къ другому тѣлу. Но въ дѣйствительности мы можемъ наблюдать лишь движеніе тѣла относительно другого или нѣсколькихъ другихъ тѣлъ. Астрономическія наблюденія, напримѣръ, говорятъ намъ объ извѣстномъ относительномъ движеніи земли и солнца; это движеніе выражается двумя совершенно различными способами Птоломеемъ и Коперникомъ. Съ современной точки зрѣнія конечный вопросъ здѣсь таковъ: какъ будетъ проще выразить движенія различныхъ тѣлъ солнечной системы, относительно ли земли, или относительно солнца? Оказалось болѣе удобнымъ выразить ихъ— какъ сдѣлали Коперникъ и Галилей—относительно солнца; выраженіе это еще болѣе выиграетъ въ простотѣ, если мы будемъ говорить о солнцѣ, какъ о «неподвижномъ», и опускать опредѣленіе «относительно солнца», говоря о всякомъ другомъ тѣлѣ. Тѣ же движенія можно выразить и относительно другого, произвольно выбраннаго тѣла, напримѣръ, относительно одной изъ стрѣлокъ часовъ, лежащихъ въ карманѣ человѣка, прогуливаю-

187. Фактъ различія времени качанія маятника въ различныхъ частяхъ земного шара, обнаруженный Ришеромъ въ 1672 году (гл. VIII, § 161), навелъ на мысль, что земля не обладаетъ геометрически правильной шарообразностью. Ньютонъ показалъ, что это уклоненіе отъ шаровидной формы является общимъ слѣдствіемъ взаимнаго притяженія составляющихъ землю частицъ и суточнаго ея вращенія. Онъ мысленно прорылъ каналъ отъ полюса къ центру земли, оттуда — къ нѣкоторой точкѣ на экваторѣ, наполнилъ ихъ водой (ВОaА на фиг. 72) и вычислилъ условія, при которыхъ водяные столбы ОВ, ОА, притягиваемые къ центру земли, могли бы находиться въ равновѣсіи. Этотъ методъ требовалъ нѣкоторыхъ допущеній относительно внутренняго состоянія земли, о которомъ мы и понынѣ очень мало знаемъ, вслѣдствіе чего найденное Ньютономъ числовое выраженіе оказалось не достаточно точнымъ,

---

щагося взадъ и впередъ по палубѣ корабля во время качки; ясно, что въ этомъ послѣднемъ случаѣ движенія остальныхъ тѣлъ солнечной системы относительно этого тѣла окажутся неимовѣрно сложными; и было бы весьма неудобно, хотя и возможно, трактовать это послѣднее тѣло, т.-е. часовую стрѣлку, какъ «неподвижное».

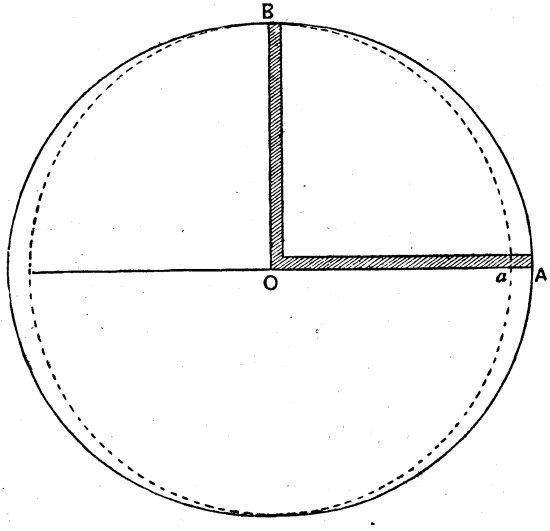
Иной видъ принимаетъ задача, если мы попытаемся, подобно Ньютону, представить движенія тѣлъ солнечной системы, какъ результатъ вліяній, оказываемыхъ ими другъ на друга. Разобравшись, примѣрно, въ первомъ ньютоновомъ законѣ движенія (гл. VI, § 130), мы увидимъ, что онъ не имѣетъ смысла, если намъ неизвѣстно, каково то тѣло или тѣла, къ которымъ мы относимъ движеніе; тѣло, находящееся въ покоѣ относительно земли, движется относительно солнца или неподвижныхъ звѣздъ, и приложимость къ нему перваго закона зависитъ, слѣдовательно, отъ того, считаемся ли мы съ его движеніемъ относительно земли, или нѣтъ. Въ большинствѣ земныхъ движеній достаточно прилагать законы движенія къ движенію относительно земли; другими словами — мы можемъ въ этихъ случаяхъ считать землю

хотя общій результатъ его изслѣдованій, именно, что земля приплюснута у полюсовъ и расширена у экватора, вполнѣ безошибоченъ. Если пунктирную линію, изображенную на рисункѣ, мы примемъ за кругъ радіуса, равнаго разстоянію полюса B отъ центра земли O, то дѣйствительная поверхность земли простирается у экватора за предѣлы этого круга до A, изъ чего слѣдуетъ, по Ньютону, что *a*A составляетъ около $\frac{1}{230}$, а по современной оцѣнкѣ, основанной какъ на фактическомъ измѣреніи земли, такъ и на теоретическихъ вычисленіяхъ (гл. X, § 221), около $\frac{1}{293}$ OA. И ньютонова, и современная дробь, выражающая приплюснутость земли, такъ мала, что изобразить это сжатіе на рисункѣ нѣтъ возможности; на фиг. 72 отрѣзокъ *a*A мы увеличили, для ясности, чуть не въ 30 разъ противъ истинной его величины.

Приблизительно такимъ же образомъ Ньютонъ

«неподвижной». Но если мы тщательнѣе изслѣдуемъ нѣкоторыя земныя движенія, то найдемъ, что такое толкованіе законовъ движенія не совсѣмъ правильно; но что наблюдаемыя явленія получаютъ болѣе точное объясненіе, если законы движенія мы станемъ относить къ движенію относительно солнечнаго центра и линій, проведенныхъ отъ него къ звѣздамъ; или, другими словами, мы сочтемъ центръ солнца за «неподвижную» точку, а эти линіи за «неподвижныя» направленія. Но, съ другой стороны, когда мы имѣемъ дѣло съ солнечной системой, то эта интерпретація обыкновенно оказывается нѣсколько неточной, и намъ приходится считать «неподвижнымъ» центръ тяжести солнечной системы, вмѣсто солнца. Съ такой точки зрѣнія мы можемъ сказать, что въ *Началахъ* Ньютонъ имѣлъ цѣлью показать возможность выбора нѣкоторой точки (центра тяжести солнечной системы) и направленій (линіи, соединяющія эту точку съ неподвижными звѣздами) за основу сравненія, къ которой можно относить всѣ движенія; такимъ-то образомъ законы движенія и тяготѣнія даютъ удовлетворительное объясненіе движеніямъ тѣлъ солнечной системы.

опредѣлилъ и сжатіе Юпитера, благодаря своему быстрому вращенію сплюснутаго гораздо въ большей степени, нежели земля; это обстоятельство было подмѣчено Доминикомъ Кассини, помощью телескопа, четыре года спустя послѣ изданія *Principia*.



Фиг. 72. Сфероидальная форма земли.

188. Опредѣленіе фигуры земли повело къ объясненію предваренія равноденствій—явленія, открытаго за 1800 лѣтъ передъ тѣмъ (гл. II, § 42), но всегда составлявшаго загадку для астрономовъ.

Если земля правильный шаръ, то притяженіе, оказываемое ею на какое-либо другое тѣло, таково, какъ если бы вся масса ея была сосредоточена въ центрѣ (§ 182), и, поэтому, притяженіе, оказываемое на нее какимъ либо тѣломъ вродѣ солнца или луны, эквивалентно силѣ, направленіе которой проходитъ черезъ центръ O земли; все это не прило-

жимо, однако, къ землѣ, если она не вполнѣ шарообразна. Въ самомъ дѣлѣ, дѣйствіе луны или солнца на шарообразную часть земли, внутри отмѣченнаго пунктиромъ круга на фиг. 72, выражается силой, проходящей черезъ O и не проявляющей стремленія повернуть землю въ какомъ-нибудь направленіи около ея центра; но притяженіе, оказываемое на остальную часть ея, носитъ уже иной характеръ, и Ньютонъ показалъ, что оно порождаетъ движеніе земной оси въ общемъ такого же свойства, какъ и прецессія. И дѣйствительно, вычисленная Ньютономъ величина прецессіи оказалась весьма близкой къ наблюдаемой, что произошло, впрочемъ, отъ компенсаціи двухъ погрѣшностей, коренившихся въ несовершенномъ знаніи формы и состава земли, равно какъ и въ ошибочной оцѣнкѣ разстоянія солнца и массы луны, такъ какъ изъ этихъ двухъ величинъ Ньютонъ ни одной не могъ измѣрить съ достаточной точностью [1]). Далѣе онъ показалъ, что разсматриваемое движеніе не можетъ быть вполнѣ равномѣрнымъ, но что ось земная, благодаря неодинаковому дѣйствію солнца въ различныхъ положеніяхъ его, колеблется то въ одну, то въ другую сторону черезъ каждые шесть мѣсяцевъ, правда, на крайне незначительную величину.

189. Ньютонъ далъ общее объясненіе приливамъ, своимъ существованіемъ обязаннымъ возмущающему

---

[1]) Годичную прецессію, порождаемую солнцемъ, онъ считалъ въ 9", а лунную—приблизительно въ четыре съ половиной раза большей, такъ что въ суммѣ получалось около 50", что согласуется съ наблюденіемъ до дробныхъ долей секунды; теперь мы знаемъ, однако, что лунная прецессія немногимъ больше чѣмъ въ два раза превосходитъ солнечную.

дѣйствію луны и солнца, изъ коихъ первое важнѣе. Если мы предположимъ землю состоящей изъ твердаго шарообразнаго ядра, покрытаго океаномъ, то луна будетъ притягивать различныя части ея неодинаково, и въ частности притяженіе, измѣряемое ускореніемъ, сообщеннымъ ближайшей къ лунѣ части воды, будетъ больше притяженія, оказываемаго на твердую землю, которое, въ свою очередь, превзойдетъ притяженіе, оказываемое луной на наиболѣе удаленную часть океана. Слѣдовательно, вода двинется по поверхности земли, и общій характеръ движенія будетъ таковъ, какъ если бы обращенная къ лунѣ часть океана притягивалась ею, а противоположная отталкивалась. Благодаря вращенію земли и собственному движенію луны, она возвращается въ прежнее положеніе относительно какого-нибудь пункта на землѣ черезъ сутки и 50 минутъ (въ среднемъ); значитъ, изъ разсужденій Ньютона слѣдуетъ, что приливы (или отливы), производимые луной, смѣняютъ другъ друга въ данномъ мѣстѣ черезъ промежутки, приблизительно равные половинѣ вышесказаннаго періода; другими словами, что каждый день происходятъ два прилива, но что какая-нибудь частная фаза прилива ежедневно запаздываетъ на 50 минутъ сравнительно съ предыдущимъ днемъ; этотъ теоретическій результатъ согласуется съ наблюденіемъ. Аналогичнымъ разсужденіемъ Ньютонъ показалъ, что и солнце порождаетъ сходные, но только меньшіе приливы, такъ что всякій приливъ, въ сущности, представляетъ собой комбинацію двухъ приливовъ. Онъ показалъ еще, что въ новолуніе и полнолуніе лунный и солнечный приливы складываются, а въ квадрату-

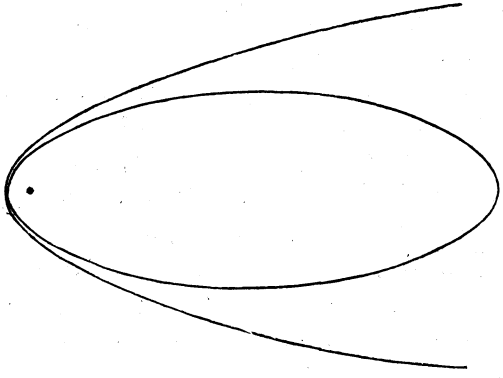
рахъ (первая и послѣдняя четверть) они имѣютъ тенденцію противодѣйствовать другъ другу; такимъ образомъ получилъ объясненіе тотъ фактъ, что наибольшіе приливы наблюдаются черезъ двухнедѣльные промежутки. Изъ этихъ же принциповъ онъ объяснилъ и множество другихъ особенностей приливныхъ явленій.

Ньютонъ искусно пользовался наблюденіями надъ высотой прилива въ эпохи соединеннаго дѣйствія луны и солнца и въ эпохи ихъ противодѣйствія, имѣя въ виду сравнить приливо-возбудительныя силы луны и солнца, а затѣмъ выразить массу луны въ доляхъ массы солнца, и, слѣдовательно, массы земли (§ 185). Въ результатѣ этихъ изслѣдованій масса луны оказалась почти вдвое больше современной оцѣнки, но такъ какъ до Ньютона никто не подозрѣвалъ возможности измѣрить массу луны хотя бы въ самой грубой формѣ и самый этотъ результатъ пришлось исторгнуть изъ хаоса безчисленныхъ усложненій, связанныхъ съ теоріей и наблюденіями приливовъ, то мы не можемъ не признать его весьма замѣчательнымъ шагомъ впередъ. Ньютонова теорія приливовъ основана на нѣкоторыхъ гипотезахъ, которыя необходимо было создать для того, чтобы можно было приступить къ рѣшенію задачи, но которыя, разумѣется, были неправильны; онъ зналъ объ этомъ и, слѣдовательно, долженъ былъ внести важныя измѣненія, если хотѣлъ привести свои результаты въ согласіе съ наличными фактами. Уже одно существованіе суши, непокрытой водою, само по себѣ способно, напримѣръ, внести важныя измѣненія въ приливныя явленія въ различныхъ мѣстахъ. Такимъ образомъ, теорія Ньютона никоимъ

образомъ не могла, напримѣръ, предсказывать наступленія приливовъ въ желаемомъ мѣстѣ или высоту даннаго прилива, хотя и давала удовлетворительное объясненіе многимъ изъ приливныхъ явленій въ общихъ чертахъ.

190. Какъ мы видѣли (гл. V, § 103; гл. VII, § 146), кометы до недавняго сравнительно времени обыкновенно считались земными тѣлами, порожденіемъ высшихъ слоевъ нашей атмосферы, и даже наиболѣе просвѣщенные астрономы, которые, подобно Тихо, Кеплеру и Галилею, причисляли ихъ къ небеснымъ тѣламъ, не были въ состояніи дать какое-нибудь объясненіе ихъ движеніямъ и вполнѣ, какъ казалось, неправильнымъ появленіямъ и исчезновеніямъ, Ньютонъ задался вопросомъ, нельзя ли движеніе кометы объяснить, подобно планетнымъ движеніямъ, тяготѣніемъ къ солнцу. Если это такъ, то путь ея, какъ онъ доказалъ въ началѣ *Principia*, долженъ представлять или эллипсъ, или одну изъ двухъ другихъ родственныхъ кривыхъ, **параболу** или **гиперболу**. Если бы комета двигалась по эллипсу, лишь слегка уклоняющемуся отъ круга, то она никогда не могла бы удалиться на большое разстояніе отъ центра солнечной системы и регулярно появлялась бы на нашемъ горизонтѣ; наблюденія, однако, этого не показываютъ. Если же эллипсъ сильно растянутъ, какъ на фиг. 73, то періодъ обращенія можетъ быть очень великъ, и большую часть его комета можетъ находиться въ такомъ удаленіи отъ солнца и, слѣдовательно, отъ земли, что наблюдать ее нѣтъ возможности. Въ этомъ случаѣ комета становилась бы видимой лишь на короткій срокъ и затѣмъ исчезала бы изъ виду, чтобы вновь по-

явиться черезъ очень большой промежутокъ времени, когда ее естественно примутъ за новую комету. Если путь кометы—парабола (которую можно принять за безконечно удлиненный эллипсъ), то она совсѣмъ не вернется и будетъ видима лишь въ ближайшей къ солнцу части своей орбиты. Но когда комета движется по параболѣ, имѣя солнце въ фокусѣ, то положенія, занимаемыя ею не въ очень большомъ отъ него разстояніи, почти такія же,



Фиг. 73. Удлиненный эллипсъ и парабола.

какія она занимала бы, если бы двигалась по растянутому эллипсу (фиг. 73), и, слѣдовательно, трудно въ этомъ случаѣ распознать истинный характеръ орбиты. Ньютонъ, поэтому, разработалъ болѣе простой въ математическомъ смыслѣ случай движенія по параболѣ и нашелъ, что кометѣ, обратившей на себя всеобщее вниманіе зимой 1680—81 года, вполнѣ соотвѣтствуетъ параболическая орбита, такъ какъ вычисленныя въ этомъ предположеніи мѣста кометы близко согласовались съ наблюден-

ными ея положеніями. Въ позднѣйшихъ изданіяхъ *Principia* изслѣдованы движенія нѣсколькихъ другихъ кометъ съ тѣмъ же результатомъ. Такимъ образомъ, установлено было, что во многихъ случаяхъ путь кометы представляетъ собой или параболу, или растянутый эллипсъ и что подобныхъ результатовъ слѣдуетъ ожидать и впредь. Это подчиненіе порядку произвольныхъ, повидимому, кометныхъ движеній и включеніе ихъ на ряду съ планетами въ одинъ и тотъ же классъ тѣлъ, движущихся около солнца подъ дѣйствіемъ притяженія, можно смѣло отнести къ числу поразительнѣйшихъ изъ множества открытій, содержащихся въ *Principia*.

Въ томъ же отдѣлѣ Ньютонъ обсуждаетъ до нѣкоторой степени природу кометъ, въ особенности же строеніе ихъ хвостовъ, и приходитъ къ выводу, въ общемъ согласному съ современными теоріями (гл. XIII, § 304), что хвостъ образованъ потокомъ чрезвычайно разрѣженной матеріи вродѣ дыма, истекающей изъ тѣла кометы и освѣщаемой лучами солнца, когда комета настолько приблизится къ нему, что вступаетъ въ періодъ видимости.

191. *Principia*, какъ мы видѣли, изданы были въ 1687 году. Напечатано было, кажется, весьма небольшое количество экземпляровъ, разошедшихся въ теченіе трехъ или четырехъ лѣтъ. Послѣ первыхъ открытій Ньютона и представленнаго имъ въ Королевское Общество трактата *De Motu* (§ 177) ученый міръ ожидалъ найти въ *Principia* новые важные результаты, и книга была, повидимому, прочитана выдающимися математиками и астрономами континента, не говоря уже о чрезвычайно тепломъ пріемѣ, оказанномъ ей въ Англіи. Однако,

картезіанская философія еще крѣпко стояла на ногахъ, и ее нелегко было пошатнуть; основной принципъ Ньютона, включавшій въ себѣ идею взаимодѣйствія между двумя тѣлами, раздѣленными промежуткомъ пустого пространства, былъ едва ли доступенъ уму мыслителей, не вполнѣ еще оцѣнившихъ возможность доказательства научной теоріи степенью согласія ея выводовъ съ наблюденными фактами. Вотъ почему даже такой человѣкъ, какъ Гюйгенсъ (гл. VIII, §§ 154, 157, 158), считалъ идею тяготѣнія «абсурдомъ» и выражалъ свое изумленіе по поводу того, что Ньютонъ предпринялъ столь необъятную массу трудныхъ вычисленій, не имѣя въ основѣ ничего, кромѣ упомянутаго принципа,—замѣчаніе, показывающее, что Гюйгенсу недоступно было понятіе о томъ, что согласіе результатовъ этихъ вычисленій съ наблюденными фактами является доказательствомъ прочности принципа. Непріязнь ученыхъ континента къ теоріи Ньютона отчасти объясняется причинами личнаго свойства, каковъ, напримѣръ, знаменитый споръ Ньютона и Лейбница изъ-за правъ на открытіе того, что Ньютонъ называлъ флюксіями, а Лейбницъ дифференціальнымъ методомъ (изъ котораго развилось дифференціальное и интегральное счисленіе); споръ этотъ разгорался все сильнѣе и привлекъ новыхъ участниковъ на ту и другую сторону. Полвѣка протекло, прежде чѣмъ воззрѣнія Ньютона сдѣлали существенные успѣхи на континентѣ (гл. XI, § 229). Въ Англіи же дѣло обстояло иначе; тамъ не только *Principia* были съ восторгомъ прочитаны тѣми немногими, кто могъ понять книгу, но даже ученые, вродѣ Бентли, философы, вродѣ Локка,

и царедворцы, вродѣ Галифакса, пытались усвоить общія идеи Ньютона, хотя подробности его математическихъ доказательствъ и были имъ не по силамъ. Вскорѣ было замѣчено, кромѣ того, что его научными идеями можно съ выгодой пользоваться въ качествѣ теологическихъ аргументовъ.

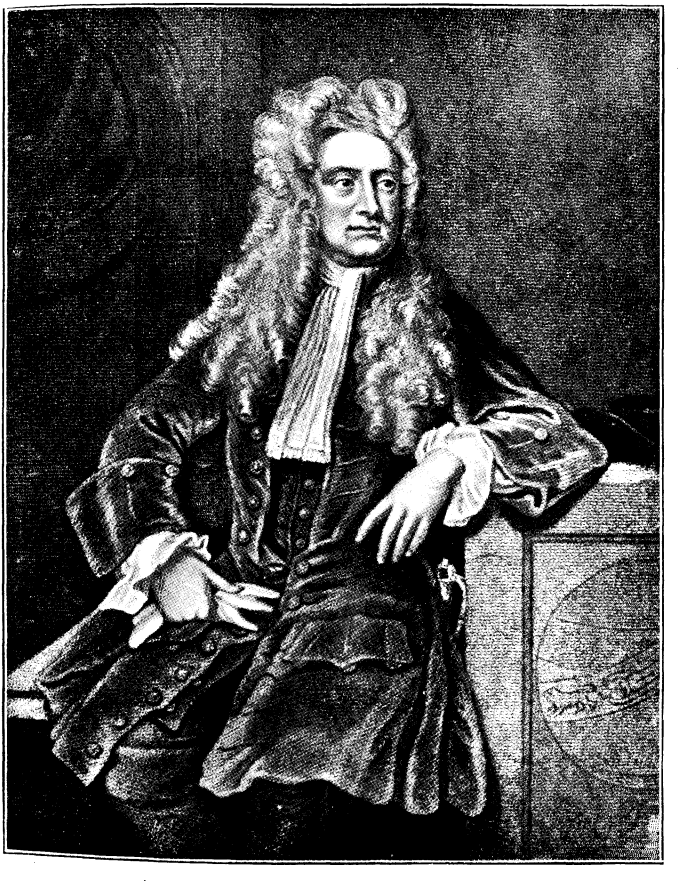
192. Нежелательнымъ результатомъ громаднаго успѣха *Началъ* въ Англіи было то, что Ньютонъ изъ скромнаго кембриджскаго профессора, обладавшаго массой досуга и ничтожнымъ окладомъ, превратился въ персону съ виднымъ общественнымъ положеніемъ, которой приходилось удѣлять все бо̀льшую и бо̀льшую часть своего времени общественнымъ обязанностямъ того или иного рода.

Какъ разъ передъ опубликованіемъ *Principia* онъ былъ назначенъ однимъ изъ представителей отъ университета для защиты правъ его отъ поползновеній Якова II, а два года спустя засѣдалъ въ качествѣ члена университета въ парламентскомъ съѣздѣ, хотя удалился послѣ закрытія его.

Невзирая на эти и многія другія помѣхи, онъ продолжалъ трудиться надъ теоріей тяготѣнія, удѣляя особенное вниманіе лунной теоріи — предметъ чрезвычайно трудный, изслѣдованіемъ котораго онъ никогда не оставался вполнѣ удовлетворенъ [1]). Къ счастью, ему удавалось иногда получать превосходныя наблюденія луны (какъ и другихъ тѣлъ) отъ королевскаго астронома Флэмстида (гл. X, §§ 197—8), хотя непрерывныя просьбы Ньютона и случайные

---

[1]) Однажды въ припадкѣ отчаянія онъ сказалъ Галлею, что «этъ лунной теоріи у него болитъ голова и что она такъ часто заставляетъ его просыпаться, что онъ хотѣлъ бы никогда не думать о ней».



Ньютонъ.

(Къ стр. 334).

отказы Флэмстида порождали иногда между ними натянутыя отношенія. Возможно, что въ это время Ньютонъ собирался написать новый трактатъ, съ болѣе полнымъ разсмотрѣніемъ вопросовъ, затронутыхъ въ *Principia;* въ 1691 году уже носились слухи о новомъ изданіи *Principia,* быть можетъ, задуманномъ кѣмъ-либо изъ молодыхъ математиковъ. Какъ бы то ни было, въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ въ этомъ направленіи не предпринималось ничего серьезнаго, вѣроятно, вслѣдствіе тяжелаго недуга,— кажется, сильнаго нервнаго разстройства, — поразившаго Ньютона въ 1692 году и продолжавшагося около двухъ лѣтъ. Во время этой болѣзни, по собственнымъ его словамъ, «онъ не пользовался обычнымъ состояніемъ своего ума», и до сихъ поръ не удостовѣрено, возвращалась ли къ нему когда-либо его прежняя умственная сила и дѣятельность въ полномъ объемѣ.

Вскорѣ по выздоровленіи отъ этого недуга онъ взялся за приготовленія къ новому изданію *Principia,* кромѣ того, что возобновилъ занятія лунной теоріей, но работа его снова была прервана въ 1695 году, когда онъ получилъ почетное назначеніе хранителя монетнаго двора, изъ каковаго достоинства повышенъ былъ въ управляющіе четыре года спустя. Ему пришлось переселиться въ Лондонъ (1696) и посвятить значительную часть своего времени оффиціальнымъ обязанностямъ. Въ 1701 онъ отказался отъ своей каѳедры въ Кембриджѣ и въ томъ же году вторично избранъ былъ представителемъ отъ университета въ парламентъ. Въ 1703 г. онъ былъ избранъ президентомъ Королевскаго Общества, которымъ и состоялъ до своей смерти, а въ 1705 г. воз-

веденъ въ рыцарское достоинство по случаю монаршаго посѣщенія Кембриджа.

Въ этотъ періодъ онъ напечаталъ (1704) свой трактатъ по оптикѣ, большая часть котораго была, вѣроятно, написана гораздо раньше, а въ 1709 совершенно отказался отъ мысли объ изданіи *Principia* собственными силами и поручилъ это дѣло *Роджеру Котсу* (1682—1716), блестящему молодому математику, безвременная смерть котораго нѣсколькими годами позже вызвала у Ньютона извѣстную фразу: «Если бы Котсъ былъ живъ, мы узнали бы коечто». Измѣненія, которыя слѣдовало внести въ книгу, обсуждались въ долгой и оживленной перепискѣ между издателемъ и авторомъ; наиболѣе важными пунктами были улучшенія и добавленія къ лунной теоріи и къ теоріи прецессіи и кометъ, хотя и кромѣ нихъ внесена была масса мелкихъ измѣненій; новое изданіе появилось въ 1713 году. Третье изданіе, выпущенное Пембертономъ, опубликовано было въ 1726 году, но на этотъ разъ Ньютонъ, которому уже перевалило за 80, принималъ гораздо меньшее участіе, и измѣненія, внесенныя въ книгу, не представляли особенной важности. Это былъ послѣдній научный трудъ Ньютона, а въ слѣдующемъ году онъ умеръ (3 марта 1727 г.).

193. Невозможно составить себѣ полное представленіе о неизмѣримой важности научныхъ открытій Ньютона, если не пользоваться въ широкихъ размѣрахъ техническимъ языкомъ математики, на которомъ они большей частью выражены. Слова его личнаго недруга Лейбница, что «если взять математику отъ сотворенія міра до эпохи Ньютона, то онъ все же создалъ лучшую половину ея», и

замѣчаніе его великаго преемника Лагранжа (гл. XI, § 237): «Ньютонъ былъ величайшій геній изъ всѣхъ, когда-либо существовавшихъ, и самый счастливый, ибо только однажды дано человѣку открыть систему міра»,—отлично показываютъ безпредѣльное уваженіе, которое питали къ его трудамъ лица, наиболѣе способныя судить о нихъ.

Любопытно сопоставить съ этими горячими похвалами ньютоново благодарное признаніе заслугъ своихъ предшественниковъ: «Если я узрѣлъ больше другихъ, то только потому, что стоялъ на плечахъ гигантовъ», и скромную оцѣнку собственныхъ своихъ трудовъ:

«Не знаю, какъ на меня посмотритъ міръ; но самому себѣ я представляюсь мальчикомъ, играющимъ на морскомъ берегу и приходящимъ въ восхищеніе, когда ему удается порой найти болѣе гладкій нежели обыкновенно, камушекъ или красивую раковину; между тѣмъ громадный океанъ сокровенной истины простирается передо мной».

194. Желая объяснить различіе между тѣмъ, что сдѣлалъ Ньютонъ, и успѣхами, сдѣланными его предшественниками, иногда говорятъ, что они открыли, какъ движутся небесныя тѣла, а онъ показалъ, почему эти движенія таковы, а не иныя, или, другими словами, что они описали движенія, тогда какъ онъ объяснилъ ихъ или раскрылъ ихъ причину. Можно, однако, сомнѣваться, имѣетъ ли это, безусловно удобное въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ, различіе между «какъ» и «почему» какія-нибудь реальныя основанія. Птоломей, напримѣръ, представлялъ движеніе планеты опредѣленнымъ сочетаніемъ эпицикловъ; его схема соотвѣтствовала особому методу описанія движеній; но если бы его спросили, почему планета должна занимать такое-

то положеніе въ такой-то моментъ, то онъ съ полнымъ правомъ могъ бы отвѣтить, что это происходитъ потому, что планета связана со своей опредѣленной системой эпицикловъ, и мѣсто ея можно отыскать помощью строгаго вычисленія. Но если бы мы пошли дальше и спросили, почему эпициклы планеты таковы, какими мы ихъ нашли, то Птоломей не могъ бы дать отвѣта. Сверхъ того, такъ какъ система эпицикловъ разнилась для каждой планеты во многихъ важныхъ отношеніяхъ, то система Птоломея оставляла безъ отвѣта множество вопросовъ, настоятельно требовавшихъ рѣшенія. На нѣкоторые изъ этихъ вопросовъ отвѣтилъ Коперникъ. На вопросъ — почему существуютъ нѣкоторыя планетныя движенія, соотвѣтствующія извѣстнымъ эпицикламъ, онъ бы отвѣтилъ, что это происходитъ отъ извѣстныхъ движеній земли, изъ которыхъ означенныя (кажущіяся) планетныя движенія вытекаютъ, какъ необходимое слѣдствіе. Но это, въ сущности, описательное выраженіе того, что земля движется опредѣленнымъ образомъ, а планеты, въ свою очередь, обладаютъ опредѣленными движеніями. Далѣе, если бы Коперника спросили, почему земля вращается на своей оси или почему планеты обращаются вокругъ солнца, то онъ не могъ бы дать отвѣта; еще меньше того могъ бы онъ сказать, почему планеты проявляютъ въ своихъ движеніяхъ нѣкоторыя неправильности, изображаемыя его эпициклами.

Кеплеръ, съ своей стороны, описалъ еще проще и короче эти самыя движенія при помощи своихъ трехъ законовъ; но если бы его спросили, почему движеніе планеты измѣняется извѣстнымъ обра-

зомъ, то онъ могъ бы отвѣтить, что это совершается потому, что всѣ планеты движутся по эллипсамъ, описывая равныя площади въ равныя времена. А почему это такъ, Кеплеръ не могъ бы отвѣтить, хотя потратилъ много времени на размышленія объ этомъ предметѣ. На этотъ вопросъ, однако, отвѣтилъ Ньютонъ, показавшій, что планетныя движенія являются необходимыми слѣдствіями его закона тяготѣнія и законовъ движенія. Кромѣ того, изъ этихъ самыхъ законовъ, чрезвычайно простыхъ въ формулировкѣ и весьма немногочисленныхъ, вытекало въ качествѣ необходимаго слѣдствія движеніе луны и многія другія астрономическія явленія, равно какъ и нѣкоторыя общеизвѣстныя земныя явленія вродѣ паденія тѣлъ; такимъ образомъ, множество группъ наблюдаемыхъ фактовъ, доселѣ не имѣвшихъ, повидимому, между собой ничего общаго, были приведены въ связь, какъ необходимыя слѣдствія изъ опредѣленныхъ основныхъ законовъ. Но опять-таки воззрѣнія Ньютона на солнечную систему можно съ неменьшимъ правомъ считать за описательное выраженіе того обстоятельства, что планеты и т. п. движутся съ опредѣленными ускореніями одна къ другой. Впрочемъ, такъ какъ истинное положеніе или скорость движенія планеты въ данное время можно получить изъ законовъ Ньютона только помощью весьма сложныхъ вычисленій, то они не вполнѣ наглядно иллюстрируютъ наблюдаемыя небесныя движенія, и потому ихъ не такъ легко счесть за описаніе.

Въ свою очередь, и законы Ньютона необходимо предполагаютъ вопросъ, почему тѣла притягиваютъ другъ друга вышеописаннымъ образомъ; и на

этотъ вопросъ, законность котораго Ньютонъ вполнѣ признавалъ, онъ не былъ въ состояніи отвѣтить. Мы можемъ, далѣе, спросить, почему планеты обладаютъ такими-то размѣрами, находятся на такихъ-то разстояніяхъ отъ солнца и т. п., и на эти вопросы Ньютонъ опять-таки не могъ бы дать отвѣта.

Но въ то время, какъ вопросы, оставленные безъ отвѣта Птоломеемъ, Коперникомъ и Кеплеромъ, были полностью или отчасти разрѣшены ихъ преемниками, причемъ необъясненные прежними астрономами факты оказались необходимыми слѣдствіями иныхъ, болѣе простыхъ и общихъ законовъ, на вопросы, оставленные безъ отвѣта Ньютономъ до настоящаго дня никто не съумѣлъ дать болѣе или менѣе удовлетворительнаго отвѣта. Въ этомъ особенномъ смыслѣ законы Ньютона отмѣчаютъ, слѣдовательно, границу нашего современнаго знанія. Но если бы въ текущемъ году или болѣе отдаленномъ будущемъ кому-нибудь удалось показать, что тяготѣніе является слѣдствіемъ нѣкотораго еще болѣе общаго закона, то этотъ новый законъ принесъ бы съ собой новое «почему».

Однако, если законы Ньютона нельзя считать конечнымъ объясненіемъ явленій солнечной системы иначе, какъ въ томъ историческомъ смыслѣ, что не была еще обнаружена зависимость ихъ отъ другихъ болѣе основныхъ законовъ, то успѣхъ, съ которымъ они довольно точно «объясняли» огромную массу наблюденныхъ фактовъ во всѣхъ частяхъ солнечной системы, и ихъ всеобщій характеръ дали могущественный толчокъ развитію идеи о возможности объясненія наблюдаемыхъ фактовъ въ другихъ

отрасляхъ науки, какъ, напримѣръ, химіи и физикѣ, аналогичнымъ же образомъ, именно, какъ слѣдствія силъ, дѣйствующихъ между тѣлами; отсюда уже одинъ шагъ къ представленію о матеріальной вселенной, какъ о состоящей изъ извѣстнаго числа тѣлъ, дѣйствующихъ другъ на друга съ опредѣленными силами такимъ образомъ, что всѣ наблюдаемыя перемѣны являются необходимыми слѣдствіями этихъ силъ и могутъ быть предсказываемы тѣмъ, кто обладаетъ достаточнымъ знаніемъ этихъ силъ и достаточнымъ математическимъ искусствомъ для того, чтобы развить ихъ слѣдствія.

Вѣрна ли эта концепція матеріальной вселенной, или нѣтъ, она во всякомъ случаѣ оказала несомнѣнно важное вліяніе на ходъ научныхъ открытій, равно какъ и на философское мышленіе, и хотя она никогда не была формулирована Ньютономъ, а нѣкоторыя стороны ея онъ бы, вѣроятно, отвергъ, однако, есть указанія, что въ головѣ его носились подобныя мысли, и тѣ, кто крѣпче всего держался за эту концепцію, несомнѣнно отъ него заимствовали свои идеи, прямо или косвенно.

195. Научный методъ Ньютона не представляетъ существенныхъ отличій отъ галилеевскаго (гл. VI, § 134), который называютъ либо **полной индукціей**, либо **обратно-дедуктивнымъ методомъ**, причемъ разница названій сооотвѣтствуетъ различію усилій, направляемыхъ то на одну, то на другую часть одного и того же, въ общемъ, процесса. Изъ наблюденій или опытовъ получаются факты; для объясненія ихъ изобрѣтаются гипотезы или временныя теоріи; изъ такой теоріи получаютъ, если возможно, путемъ стараго процесса дедуктивнаго су-

жденія опредѣленныя слѣдствія, которыя можно сопоставить съ дѣйствительными фактами, и затѣмъ производятъ сравненіе. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ первый процессъ оказывается наиболѣе важнымъ, но въ теоріи Ньютона самая убѣдительная часть доказательства справедливости его результатовъ заключается въ послѣднихъ двухъ процедурахъ. Это обстоятельство, быть можетъ, до нѣкоторой степени затемнено его знаменитой фразой: *Hypotheses non fingo* — «я не строю гипотезъ», смыслъ которой не вяжется съ остальнымъ текстомъ. Эти слова встрѣчаются въ заключеніи его *Principia,* послѣ тѣхъ строкъ, гдѣ онъ говоритъ о всемірномъ тяготѣніи:

«Я еще не былъ въ состояніи вывести *(deducere)* изъ явленій причину означенныхъ свойствъ тяготѣнія и не строю гипотезъ. Ибо все, чего нельзя вывести изъ явленій, должно называть гипотезой».

У Ньютона, по всей вѣроятности, носились въ умѣ представленія вродѣ декартовыхъ вихрей, которыя невозможно было вывести прямо изъ наблюденій и которыхъ слѣдствія или не поддавались разработкѣ и сопоставленію съ дѣйствительными фактами, или оказывались несостоятельными. Ньютонъ, правда, отбрасывалъ гипотезы, не выдерживавшія провѣрки, но онъ постоянно строилъ гипотезы, подсказанныя наблюденными фактами и подтверждаемыя согласіемъ ихъ слѣдствій съ новыми фактами наблюденія. Прекраснымъ тому примѣромъ является случай, когда онъ распространилъ дѣйствіе тяжести на луну (§ 173): онъ знакомъ былъ съ нѣкоторыми фактами относительно движенія падающихъ тѣлъ и движенія луны; ему пришло въ голову, что притяженіе земли можетъ прости-

раться до луны, а нѣкоторые другіе факты, связанные съ третьимъ закономъ Кеплера, подсказали ему законъ обратныхъ квадратовъ. Если это вѣрно, то ускореніе луны къ землѣ имѣетъ опредѣленную величину, которую можно найти посредствомъ вычисленія. Вычисленіе было сдѣлано и оказалось приблизительно въ согласіи съ дѣйствительнымъ движеніемъ луны.

Прекрасно иллюстрируетъ огромную важность процесса провѣрки то обстоятельство, что основные законы Ньютона были имъ установлены не во всей строгости, но что недостатки его доказательствъ были впослѣдствіи въ значительной мѣрѣ восполнены тщательной процедурой провѣрки его преемниками. Движенія солнечной системы, выведенныя Ньютономъ изъ тяготѣнія и законовъ движенія, только грубо согласовались съ наблюденіями; оставалось безъ разрѣшенія много разногласій, и хотя ученые твердо были убѣждены, что они произошли отъ естественнаго несовершенства ньютонова метода вычисленія, однако, потребовалась масса труда и искусства со стороны цѣлаго ряда математиковъ, чтобы устранить мало-по-малу эти разногласія, а нѣкоторыя незначительныя неравенства остались и по сей день неразгаданными (гл. XIII, § 290).

ГЛАВА X.

Наблюдательная астрономія въ XVIII вѣкѣ.

«Съ Ньютономъ теорія сдѣлала громадные успѣхи и стала впереди наблюденія; теперь послѣднее дѣлаетъ усилія стать на одинъ уровень съ теоріей».

Бессель.

196. Ньютонъ, въ сущности, создалъ новую область астрономіи, **астрономію тяготѣнія**, какъ ее часто называютъ, и завѣщалъ своимъ послѣдователямъ проблему — вывести полнѣе, чѣмъ это ему удалось, движенія небесныхъ тѣлъ изъ ихъ взаимныхъ тяготѣній.

Въ XVIII вѣкѣ соотечественники Ньютона почти ничего не сдѣлали для рѣшенія этой задачи, и истинными его послѣдователями оказалась группа математиковъ континента, приступившихъ къ работѣ вскорѣ послѣ его смерти, хотя не раньше полувѣка послѣ перваго изданія *Principia*.

Эта неспособность англійскихъ математиковъ сообщить дальнѣйшее развитіе открытіямъ Ньютона отчасти объясняется отсутствіемъ или малочисленностью истинныхъ талантовъ, отчасти же особенностями математической формы, въ которой Ньютонъ излагалъ свои открытія. *Principia* почти всецѣло изложены языкомъ геометріи, видоизмѣненнымъ спеціальнымъ образомъ соотвѣтственно надобности; почти всѣмъ послѣдующимъ своимъ успѣ-

хомъ астрономія тяготѣнія обязана математическому методу, извѣстному подъ именемъ **анализа.** Хотя различіе между этими двумя методами въ состояніи вполнѣ оцѣнить только тотъ, кто пользовался ими обоими, однако, мы дадимъ о немъ, можетъ быть, нѣкоторое понятіе, если скажемъ, что въ геометрическомъ трактованіи астрономической задачи каждая ступень аргументаціи выражается такъ, чтобы ее можно было перевести на языкъ первоначальнаго условія, тогда какъ въ аналитическомъ трактованіи задача сперва выражается помощью алгебраическихъ символовъ; этими символами оперируютъ по опредѣленнымъ, чисто-формальнымъ, правиламъ, совершенно не озабочиваясь интерпретаціей промежуточныхъ ступеней, и конечный алгебраическій результатъ, если его можно получить, даетъ послѣ интерпретаціи рѣшеніе первоначальной задачи. Геометрическое рѣшеніе задачи, если оно возможно, бываетъ обыкновенно короче, яснѣе и изящнѣе; но, съ другой стороны, каждый спеціальный вопросъ или частную задачу приходится разсматривать въ отдѣльности, тогда какъ аналитическое рѣшеніе въ значительной мѣрѣ отыскивается по неизмѣннымъ правиламъ, приложимымъ къ большому числу случаевъ. Въ эпоху Ньютона современный анализъ только зарождался; нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ частей этого метода были созданы Лейбницемъ и имъ самимъ, и хотя онъ самъ иногда пользовался анализомъ для рѣшенія астрономической задачи, однако, имѣлъ обыкновеніе переводить свои результаты передъ обнародованіемъ на языкъ геометріи; къ этому, по всей вѣроятности, его побуждало въ значительной мѣрѣ личное пристрастіе къ изящ-

нымъ геометрическимъ доказательствамъ, а отчасти нежеланіе усугублять многочисленныя трудности *Началъ* введеніемъ сравнительно малоизвѣстныхъ математическихъ методовъ. Но если въ рукахъ такого мастера, какъ Ньютонъ, геометрическіе методы могли дать поразительные результаты, то младшіе его послѣдователи едва ли въ состояніи были достигнуть новыхъ результатовъ при пользованіи этими методами. Необычайное благоговѣніе передъ Ньютономъ и его пріемами, вмѣстѣ съ рознью, долго не прекращавшейся между англійскими и континентальными математиками (результатъ спора о флюксіяхъ, гл. IX, § 191), мѣшали первымъ воспользоваться аналитическими методами, которые быстро совершенствовались трудами учениковъ Лейбница и другихъ математиковъ континента. Такимъ образомъ, англійскіе математики были почти изолированы отъ иностранныхъ въ теченіе всего XVIII вѣка, и если не считать превосходнаго труда *Колэна Маклорена* (1698—1746), подвинувшаго на одну ступень ньютонову теорію фигуры земли, то для развитія теоріи тяготѣнія далѣе той точки, на которой ее оставилъ авторъ *Principia,* въ Англіи не было сдѣлано ничего существеннаго въ теченіе почти столѣтія по смерти Ньютона.

Зато въ другихъ отдѣлахъ астрономіи были сдѣланы важные успѣхи какъ при жизни Ньютона, такъ и въ послѣдующую эпоху, и, по курьезному совпаденію, въ то время, какъ идеи Ньютона развивались, главнымъ образомъ, французскими математиками, Парижская обсерваторія, на которой Пикаръ и другіе совершали столько превосходныхъ трудовъ (гл. VIII, §§ 160—2), въ послѣдующее

столѣтіе дала очень мало цѣнныхъ результатовъ, и большая часть лучшей наблюдательной работы XVIII вѣка выпала на долю соотечественниковъ Ньютона. Для удобства мы разграничимъ эти двѣ области астрономической науки, и о развитіи теоріи тяготѣнія поговоримъ въ слѣдующей главѣ.

197. Первымъ изъ великихъ англійскихъ наблюдателей мы отмѣтимъ современника Ньютона *Джона Флэмстида*, родившагося близъ Дерби въ 1646 и умершаго въ Гринвичѣ въ 1720 году [1]). Къ сожалѣнію, труды его, не давъ ни одного блестящаго открытія, носили такой характеръ, что изложить ихъ въ болѣе или менѣе увлекательной формѣ или дать вѣрное представленіе объ ихъ обширности и значеніи было бы весьма трудно. Это былъ одинъ изъ тѣхъ трудолюбивыхъ и добросовѣстныхъ изслѣдователей, результаты которыхъ драгоцѣнны въ смыслѣ матеріала для будущихъ изысканій, но въ самихъ себѣ не заключаютъ ничего поразительнаго.

Еще мальчикомъ онъ произвелъ нѣсколько астрономическихъ наблюденій и написалъ нѣсколько работъ по астрономіи техническаго содержанія, которыя были замѣчены. Въ 1675 г. онъ былъ членомъ комитета по составленію доклада о методѣ нахожденія долготы на морѣ, предложенномъ правительству нѣкіимъ французомъ, по имени *Сенъ-Пьеромъ*. Комитетъ, трудившійся, главнымъ образомъ, въ направленіи, указанномъ Флэмстидомъ, неблагопріятно отозвался о вышесказанномъ методѣ и обратился къ Карлу II съ ходатайствомъ объ учрежденіи національной обсерваторіи въ тѣхъ ви-

[1]) 31 декабря 1719 года по старому стилю, которымъ тогда пользовались въ Англіи.

дахъ, что лучшее знакомство съ небесными тѣлами поведетъ къ нахожденію удовлетворительнаго метода опредѣленія долготы, — проблема, представлявшая огромную практическую важность при быстромъ развитіи англійскаго мореплаванія. Король согласился, и Флэмстидъ въ томъ же году былъ назначенъ на новую должность королевскаго астронома, съ ежегоднымъ окладомъ въ 100 фунтовъ (600 рублей по тогдашнему курсу), а 12 іюня 1675 года былъ подписанъ указъ о постройкѣ обсерваторіи въ Гринвичѣ. Постройка заняла около года времени; Флэмстидъ поселился въ Гринвичѣ и приступилъ къ работѣ въ іюлѣ 1676 года, пять лѣтъ спустя послѣ того, какъ Кассини вступилъ въ отправленіе своихъ обязанностей на Парижской обсерваторіи (гл. VIII, § 160). Гринвичская обсерваторія во многомъ, однако, отличалась отъ своей пышной сестры. Король, правда, снабдилъ Флэмстида зданіемъ и очень небольшимъ окладомъ, но не далъ ему ни инструментовъ, ни помощника. Нѣкоторые инструменты у него уже имѣлись, еще нѣсколько ему подарили богатые друзья, и онъ постепенно пріобрѣталъ на свой счетъ всѣ нужныя приспособленія. Черезъ нѣсколько лѣтъ послѣ его назначенія правительство прислало ему «глупаго и грубаго рабочаго», обязаннаго помогать ему въ исполненіи черной работы, но ему пришлось обзавестись болѣе опытнымъ помощникомъ на собственный счетъ, а это послѣднее обстоятельство заставило его удѣлять нѣкоторую долю своего драгоцѣннаго времени частнымъ урокамъ.

198. Главной заслугой Флэмстида было составленіе болѣе точнаго и болѣе обширнаго звѣзднаго

каталога, чѣмъ всѣ, до него существовавшіе; кромѣ того, онъ произвелъ массу наблюденій луны, солнца, а отчасти и другихъ тѣлъ. Подобно Тихо, создателю послѣдняго большого звѣзднаго каталога (гл. V, § 107), онъ находилъ все новыя задачи, постоянно возникавшія въ процессѣ его работы и требовавшія разрѣшенія прежде окончанія имъ главнаго труда, а потому мы обязаны ему изобрѣтеніемъ многихъ улучшеній въ практической астрономіи; наибольшей извѣстностью пользуется его методъ опредѣленія мѣста первой точки Овна (гл. II, § 42), одной изъ основныхъ точекъ, къ которой относятъ всѣ положенія тѣлъ на небесной сферѣ. Онъ былъ первый астрономъ, систематически пользовавшійся часами для нахожденія одной изъ двухъ основныхъ величинъ (прямого восхожденія), необходимыхъ при опредѣленіи положенія звѣзды; этотъ методъ впервые придумалъ и отчасти примѣнялъ Пикаръ (гл. VIII, § 157). По полученіи необходимыхъ инструментовъ, Флэмстидъ сейчасъ же ввелъ въ постоянное употребленіе телескопическія перекрестныя нити Гаскойня и Озу (гл. VIII, § 155), вмѣсто наблюденій невооруженнымъ глазомъ. Итакъ, въ то время какъ Гевелій (гл. VIII, § 153) былъ послѣднимъ и самымъ точнымъ наблюдателемъ старой школы, пользовавшимся методами, существенно не отличавшимися отъ тѣхъ, какіе были въ употребленіи въ теченіе цѣлыхъ столѣтій, Флэмстидъ принадлежитъ къ новой школѣ, и методы его скорѣе въ деталяхъ, чѣмъ въ принципѣ, отличаются отъ тѣхъ, которыми пользуются теперь для аналогичныхъ работъ въ Гринвичѣ, Парижѣ или Вашингтонѣ. Эти новые методы въ связи съ рѣдкой добро-

совѣстностью въ выполненіи мелочей сдѣлали наблюденія Флэмстида значительно болѣе точными, чѣмъ современныя ему или прежнія наблюденія, и рѣшительный шагъ впередъ по сравненію съ ними былъ сдѣланъ только Брадлеемъ (§ 218).

Флэмстидъ стоитъ выше многихъ наблюдателей, ибо онъ не только производилъ и записывалъ наблюденія, но и выполнялъ скучную процедуру, извѣстную подъ названіемъ редукціи (§ 218), благодаря которой результаты наблюденій облекаются въ форму, облегчающую пользованіе ими для другихъ астрономовъ; на современныхъ обсерваторіяхъ эта процедура выполняется обыкновенно ассистентами, но Флэмстиду приходилось самому возиться съ нею. По этой и по другимъ причинамъ онъ крайне неохотно публиковалъ свои наблюденія; мы уже упоминали (гл. XI, § 192) о томъ, съ какими затрудненіями Ньютонъ получалъ отъ него наблюденія луны. Съ теченіемъ времени среди астрономовъ распространилась увѣренность, что цѣль, ради которой была основана обсерваторія, не выполняется. Флэмстидъ вѣчно страдалъ отъ нездоровья, равно какъ и отъ денежныхъ и другихъ затрудненій, о которыхъ мы говорили выше; сверхъ того, онъ въ гораздо большей мѣрѣ предпочиталъ задерживать у себя наблюденія до тѣхъ поръ, пока они не пріобрѣтутъ возможной степени точности, чѣмъ публиковать ихъ въ менѣе совершенной формѣ, чтобы ими пользовались для изслѣдованій, которыя онъ однажды назвалъ «причудами мистера Ньютона»; разумѣется, его чрезвычайно раздражали упреки въ промедленіи съ обнародованіемъ наблюденій. Между Флэмстидомъ, съ одной стороны, и

Ньютономъ и Галлеемъ — съ другой, происходили непріятныя ссоры. Послѣдней каплей, переполнившей чашу, было самовольное изданіе Галлеемъ, въ 1712 году, тома наблюденій Флэмстида, въ отвѣтъ на что Флэмстидъ не безъ основаній обозвалъ Галлея «злонамѣреннымъ похитителемъ». Три года спустя, ему удалось завладѣть всѣми непроданными экземплярами и уничтожить ихъ, но, къ счастью, онъ догадался приготовить къ печати подлинное изданіе. *Historia Coelestis Britannica,* какъ онъ назвалъ свою книгу, содержала въ себѣ огромный рядъ наблюденій, сдѣланныхъ до и во время его жизни въ Гринвичѣ, но самой вѣчной и вѣчно драгоцѣнной частью ея остается каталогъ положеній почти 3.000 звѣздъ [1]).

Самъ Флэмстидъ дожилъ только до окончанія второго изъ трехъ томовъ: третій былъ изданъ его ассистентами *Авраамомъ Шарпомъ* (1651—1742) и *Іосифомъ Кростуэтомъ;* все сочиненіе издано было въ 1725 году. Четыре года спустя, появился его прекрасный звѣдный атласъ, долго остававшійся во всеобщемъ употребленіи.

Каталогъ не только въ три раза превосходилъ размѣрами каталогъ Тихо, не говоря уже о болѣе высокомъ внутреннемъ достоинствѣ, но и былъ гораздо точнѣе его. По оцѣнкѣ [2]) оказалось, что въ то время какъ тиховы положенія звѣздъ отличались отъ истинныхъ въ общемъ на 1′, соотвѣтственныя погрѣшности Флэмстида едва достигали 10″. Эта величина соотвѣтствуетъ видимому діаметру шиллинга съ разстоянія въ 500 ярдовъ (приблизительно

---

[1]) Ихъ указано 2.935, но изъ нихъ 12 дубликатовъ.

[2]) Бесселя (гл. XIII, § 277).

четвертакъ съ разстоянія 200 саженей); такъ что если на концахъ діаметра этой монеты сдѣлать двѣ мѣтки и отнести ее на разстояніе 500 ярдовъ, то одна изъ этихъ мѣтокъ изобразитъ собой истинное направленіе средней звѣзды, а другая—направленіе, показанное въ каталогѣ Флэмстида. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, разумѣется, ошибка могла быть гораздо больше, а въ другихъ значительно меньше.

Флэмстидъ не внесъ въ астрономію ни одной идеи первостепенной важности; онъ не обладалъ искусствомъ Пикара или Ремера въ изобрѣтеніи техническихъ улучшеній и мало интересовался теоретической работой Ньютона [1]); зато, благодаря неослабной энергіи и рѣдкой добросовѣстности, ему удалось завѣщать своимъ преемникамъ настоящую сокровищницу наблюденій, выполненныхъ со всей точностью, какую допускали его инструменты.

199. Въ званіи королевскаго астронома Флэмстиду наслѣдовалъ Эдмундъ Галлей, о которомъ мы уже упоминали (глава IX, § 176), какъ о другѣ и помощникѣ Ньютона.

Родившись въ 1656 г., десятью годами позже Флэмстида, онъ изучалъ астрономію въ школьные годы, и уже въ 1676 году напечаталъ работу о планетныхъ орбитахъ. Въ томъ же году онъ отправился на островъ Святой Елены (16° южной широты) съ цѣлью запастись наблюденіями звѣздъ, невидимыхъ въ Европѣ, вслѣдствіе своей близости къ южному полюсу. Кли-

---

[1]) Взаимное отношеніе между трудами Флэмстида и Ньютона выражено съ большей точностью, нежели вѣжливостью, самими астрономами во время ссоры изъ-за лунной теоріи: «сэръ Исаакъ разработалъ руду, которую я откопалъ».—«Если онъ откопалъ руду, то я смастерилъ золотое кольцо».

матъ заставилъ его вскорѣ вернуться оттуда, и ему удалось только издать (1678) каталогъ положеній 341 южной звѣзды, составлявшій, однако, немаловажное дополненіе къ точнымъ знаніямъ о звѣздахъ. Каталогъ этотъ былъ замѣчателенъ еще тѣмъ, что положенія, данныя въ немъ, впервые основывались на телескопическихъ наблюденіяхъ, производившихся, впрочемъ, не со всей точностью, какую допускали его инструменты. Во время пребыванія своего на островѣ Святой Елены онъ произвелъ нѣсколько наблюденій надъ маятникомъ, подтвердившихъ результаты, полученные нѣсколькими годами раньше Ришеромъ въ Кайеннѣ (гл. VIII, § 161), и наблюдалъ, кромѣ того, прохожденіе ~~Венеры~~ по диску солнца, случившееся въ ноябрѣ 1677 года. —Меркурія

По возвращеніи въ Англію, онъ принималъ дѣятельное участіе въ текущихъ научныхъ вопросахъ, особенно въ соприкасавшихся съ астрономіей, и отчасти способствовалъ ихъ разрѣшенію. Въ 1684 году, какъ мы видѣли, онъ въ первый разъ пришелъ въ тѣсное соприкосновеніе съ Ньютономъ и въ слѣдующія нѣсколько лѣтъ удѣлялъ значительную часть своего времени на содѣйствіе Ньютону въ изготовленіи его *Principia*.

200. Изъ многочисленныхъ услугъ, оказанныхъ имъ астрономіи и затрогивавшихъ почти всѣ ея отрасли, наиболѣе извѣстной и, быть можетъ, важной является его трудъ о кометахъ. Онъ наблюдалъ кометы 1680 и 1682 года; онъ опредѣлилъ орбиты и этихъ, и нѣсколькихъ другихъ, значившихся въ лѣтописяхъ, кометъ, слѣдуя принципамъ Ньютона, и доставилъ много матеріала для тѣхъ отдѣловъ *Principia*, въ которыхъ говорится о кометахъ,

особенно въ позднѣйшихъ изданіяхъ. Въ 1705 году онъ издалъ *Очеркъ кометной астрономіи*, въ которомъ было вычислено не менѣе 24 кометныхъ орбитъ. Пораженный сходствомъ между орбитами кометъ 1531, 1607 и 1682 года и приблизительнымъ равенствомъ промежутковъ между ихъ послѣдовательными появленіями и появленіемъ еще одной кометы, наблюдавшейся въ 1456 году, онъ со свойственной ему проницательностью догадался, что три послѣднія кометы, если не всѣ четыре, въ сущности, были различными появленіями одной и той же кометы, обращающейся около солнца по удлиненному эллипсу съ періодомъ около 75—76 лѣтъ. Различіе между 76-тилѣтнимъ промежуткомъ, отдѣляющимъ появленіе кометы въ 1607 году отъ предыдущаго появленія въ 1531 году, и болѣе короткимъ промежуткомъ между 1607 и 1682 годами онъ объяснялъ предположительными пертурбаціями, причиняемыми планетами, мимо которыхъ проходила комета; и, наконецъ, отважился предсказать появленіе этой кометы (по справедливости носящей его имя) черезъ 76 лѣтъ послѣ послѣдняго ея появленія, т.-е. около 1758 года, хотя онъ допускалъ, что планетныя пертурбаціи могутъ измѣнить время ея появленія; дѣйствительное появленіе кометы въ назначенное время (гл. XI, § 231) отмѣтило собой важный моментъ въ прогрессѣ нашихъ знаній объ этихъ загадочныхъ блуждающихъ свѣтилахъ.

201. Въ 1693 году Галлей прочелъ въ Королевскомъ Обществѣ докладъ, въ которомъ обратилъ вниманіе на трудность согласованія нѣкоторыхъ древнихъ затменій съ извѣстными тогда особенностями движенія луны и указалъ на возможность

незначительнаго возрастанія средней скорости движенія луны вокругъ земли.

Эта неправильность, нынѣ извѣстная подъ названіемъ **вѣкового ускоренія средняго движенія луны**, впослѣдствіи была болѣе прочно установлена прямымъ наблюденіемъ; а затрудненія, которыя встрѣтились при попыткѣ объяснить ее тяготѣніемъ, сдѣлали ее однимъ изъ самыхъ интересныхъ среди многочисленныхъ лунныхъ неравенствъ (гл. XI, § 240, и гл. XIII, § 287).

202. Галлей оказалъ астрономіи цѣнную услугу, указавъ на важность ожидаемыхъ въ 1761 и 1769 гг. прохожденій Венеры по диску солнца, какъ средства опредѣленія разстоянія солнца. Этотъ методъ въ очень смутной формѣ предложенъ былъ Кеплеромъ и болѣе опредѣленно Джемсомъ Грегори въ его *Оптикѣ*, напечатанной въ 1663 году. Галлею эта мысль пришла впервые при наблюденіи прохожденія Меркурія въ 1677 г. Въ трехъ докладахъ, напечатанныхъ Королевскимъ Обществомъ, онъ горячо защищаетъ преимущества этого метода и подробно разсматриваетъ вопросъ о наиболѣе удобномъ мѣстѣ и средствахъ для наблюденія прохожденія 1761 года. Онъ указываетъ, что желаемый результатъ можно вывести изъ сравненія продолжительности прохожденія Венеры, наблюдаемаго съ различныхъ пунктовъ земного шара, т.-е. промежутковъ между первымъ появленіемъ Венеры на солнечномъ дискѣ и ея исчезновеніемъ съ него, наблюдаемымъ съ двухъ или болѣе различныхъ станцій. Сверхъ того, онъ разсчиталъ, что этотъ промежутокъ времени, продолжительностью въ нѣсколько часовъ, можно будетъ измѣрить съ погрѣш-

ностью не болѣе двухъ секундъ и что, поэтому, рекомендуемый методъ можетъ дать разстояніе солнца съ ошибкой до $\frac{1}{500}$ истинной его величины. Такъ какъ ходячія оцѣнки того времени отличались между собой на 20 или 30 процентовъ, то весьма естественно, что новый методъ, предложенный Галлеемъ съ обычной его ясностью и энтузіазмомъ, побудилъ астрономовъ заняться самыми ревностными приготовленіями по указаніямъ Галлея. Результаты, однако, какъ мы увидимъ (§ 227), никоимъ образомъ не соотвѣтствовали ожиданіямъ Галлея.

203. Въ 1718 году Галлей обратилъ вниманіе на тотъ фактъ, что три общеизвѣстныхъ звѣзды, Сиріусъ, Прокіонъ и Арктуръ, со времени грековъ измѣнили свои угловыя разстоянія отъ эклиптики, а Сиріусъ замѣтно измѣнилъ свое положеніе даже со времени Тихо Браге. Кромѣ того, сравненіе положеній другихъ звѣздъ показало, что эти перемѣны нельзя удовлетворительно объяснить какимъ бы то ни было движеніемъ эклиптики, и, хотя онъ хорошо зналъ, что погрѣшности наблюденія сообщаютъ значительную неопредѣленность этимъ величинамъ, онъ былъ все-таки увѣренъ, что эти погрѣшности не могутъ вполнѣ объяснить замѣчаемыхъ разногласій, а что упомянутыя звѣзды дѣйствительно измѣнили свои положенія относительно остальныхъ; и онъ, естественно, пришелъ къ выводу, что подобныя **собственныя движенія** (какъ ихъ теперь называютъ) могутъ быть замѣчены и у другихъ такъ-называемыхъ «неподвижныхъ» звѣздъ.

204. Немало времени онъ посвятилъ назрѣвшему астрономическому вопросу — объ улучшеніи лунныхъ и планетныхъ таблицъ, особенно первыхъ.

Уже въ 1683 году онъ дѣлалъ наблюденія надъ луной, при помощи которыхъ произвелъ нѣкоторыя улучшенія въ таблицахъ. Еще въ 1676 году онъ уже замѣтилъ ошибки въ существовавшихъ таблицахъ Юпитера и Сатурна, и, наконецъ, удостовѣрился въ существованіи нѣкоторыхъ неправильностей въ движеніи этихъ двухъ планетъ, — неправильностей, давно уже заподозрѣнныхъ Горроксомъ (гл. VIII, § 156); эти неправильности онъ справедливо приписалъ взаимнымъ возмущеніямъ означенныхъ планетъ, хотя и не обладалъ достаточными математическими познаніями для того, чтобы разработать свою теорію; изъ наблюденій, однако, онъ смогъ довольно точно измѣрить упомянутыя неправильности и, введя въ нихъ поправку, исправить планетныя таблицы. Но ни лунныя, ни планетныя таблицы не были закончены въ той формѣ, какая ему представлялась удовлетворительной. Около 1719 года онѣ были отпечатаны, но не выпущены въ продажу, въ чаяніи дальнѣйшихъ улучшеній. Наслѣдовавъ Флэмстиду въ званіи королевскаго астронома (1720), онъ для этой цѣли обратилъ особенное вниманіе на производство новыхъ наблюденій, но засталъ обсерваторію почти безъ инструментовъ, такъ какъ тѣ, которыми пользовался Флэмстидъ, составляли его частную собственность и въ качествѣ таковой были увезены его наслѣдниками или кредиторами. Хотя Галлей обзавелся нѣкоторыми инструментами, при помощи которыхъ произвелъ много наблюденій, главнымъ образомъ, надъ луной, однако, возрастъ (63 года), въ которомъ онъ вступилъ въ свою новую должность, удерживалъ его отъ многихъ предпріятій и отъ слишкомъ дѣя-

тельнаго выполненія своихъ обязанностей, и потому сдѣланныя имъ наблюденія оказались второстепенной важности, такъ что таблицы, для улучшенія которыхъ они спеціально передназначались, были окончательно изданы лишь въ 1752 г., черезъ десять лѣтъ послѣ смерти своего составителя. И хотя онѣ, такимъ образомъ, появились гораздо позже той эпохи, для которой ихъ собственно изготовляли, и мало чѣмъ обязаны были успѣхамъ науки, совершившимся въ этомъ промежуткѣ, однако, онѣ сразу пріобрѣли значеніе и нѣкоторое время не переставали считаться образцомъ для таблицъ лунныхъ и планетныхъ движеній (§ 226 и гл. XI, § 247).

205. Замѣчательныя способности Галлея къ научной дѣятельности иллюстрируются, между прочимъ, усердіемъ, которое онъ обнаружилъ при изданіи сочиненій великаго греческаго геометра Аполлонія (гл. II, § 38) и звѣзднаго каталога Птоломея (гл. II, § 50). Онъ же первый изъ астрономовъ современной эпохи обратилъ тщательное вниманіе на явленія, наблюдаемыя при полномъ затменіи солнца; въ живомъ описаніи наблюдавшагося имъ затменія 1715 года онъ не только упоминаетъ о загадочной коронѣ, которую еще раньше замѣчали Кеплеръ и другіе (гл. VII, § 145), но и обращаетъ вниманіе на очень узкую полоску темнаго, но густого краснаго цвѣта, очевидно, представлявшую собой часть замѣчательной оболочки солнца, столь ревностно изучаемой въ наше время (гл. XIII, § 301) подъ названіемъ хромосферы.

Для иллюстраціи безкорыстнаго энтузіазма Галлея въ вопросахъ науки и его прозорливости небезынтересно замѣтить, что два главныхъ труда,

которыми онъ больше всего извѣстенъ въ настоящее время, при жизни его не получили должной оцѣнки, и только послѣ его смерти (1742) принесли плоды, ибо его комета возвратилась въ 1759 г., когда онъ уже 17-й годъ лежалъ въ могилѣ, а первое изъ двухъ прохожденій Венеры, отъ которыхъ онъ ожидалъ получить разстояніе солнца, случилось еще двумя годами позже (§ 227).

206. Третій королевскій астрономъ, *Джемсъ Брадлей,* больше всего извѣстенъ двумя замѣчательными открытіями — аберраціи свѣта и нутаціи земной оси. Открытія эти столько же замѣчательны сами по себѣ, сколько и по тому остроумному и деликатному методу разсужденія и кропотливо-точнымъ наблюденіямъ, помощью которыхъ они были сдѣланы; однако, они были чисто-случайными обстоятельствами въ долгой и интенсивной дѣятельности, потребовавшей массы драгоцѣннаго труда.

Внѣшнія событія жизни Брадлея можно обрисовать въ двухъ словахъ. Родившись въ 1693 г., онъ окончилъ въ надлежащее время Оксфордскій университетъ (баккалавръ въ 1714, магистръ словесности въ 1717 году), но первыя свѣдѣнія изъ астрономіи и положительную склонность къ этому предмету онъ получилъ отъ своего дяди *Джемса Паунда,* въ теченіе многихъ лѣтъ состоявшаго ректоромъ Уанстеда въ Эссексѣ и считавшагося лучшимъ наблюдателемъ своего времени. По окончаніи Оксфордскаго университета, Брадлей жилъ нѣсколько лѣтъ вмѣстѣ со своимъ дядей, съ которымъ и произвелъ много наблюденій. Первое изъ зарегистрированныхъ наблюденій Брадлея относится къ 1715 году, а къ 1718 году онъ уже успѣлъ заслужить такую извѣст-

ность въ ученомъ мірѣ, что удостоился избранія въ члены Королевскаго Общества. Но, какъ замѣчаетъ его біографъ, «отъ астрономическихъ трудовъ его ничего не предвидѣлось для обезпеченія жизни, и потому онъ очутился въ необходимости искать профессіи». Онъ принялся за дѣло, и въ скоромъ времени ему посчастливилось найти двѣ должности, съ которыми соединялись обязанности, повидимому, очень мало препятствовавшія продолженію его астрономическихъ занятій въ Уанстедѣ.

Въ 1721 году онъ былъ назначенъ профессоромъ астрономіи на Севиліанскую каѳедру Оксфордскаго университета. Профессура, повидимому, оказалась очень легкой, и онъ больше десяти лѣтъ подъ рядъ проживалъ, главнымъ образомъ, въ Уанстедѣ, даже послѣ смерти своего дяди, послѣдовавшей въ 1724 г. Въ 1732 году онъ нанялъ домъ въ Оксфордѣ, куда перевезъ большую часть своихъ инструментовъ, оставивъ, однако, самый важный въ Уанстедѣ, именно, «зенитный секторъ», при помощи котораго онъ сдѣлалъ свои два знаменитыхъ открытія. Десять лѣтъ спустя, за смертью Галлея, освободился постъ королевскаго астронома, который и былъ предложенъ Брадлею.

За послѣднія нѣсколько лѣтъ жизни Галлея работы на обсерваторіи были сильно запущены, и первой заботой Брадлея было произвести необходимый ремонтъ инструментовъ. Хотя снабженіе обсерваторіи инструментами, достойными ея положенія и состоянія науки того времени, было дѣломъ нѣсколькихъ лѣтъ, однако, уже черезъ нѣсколько мѣсяцевъ по назначеніи Брадлея нѣкоторые изъ наиболѣе важныхъ инструментовъ были приведены

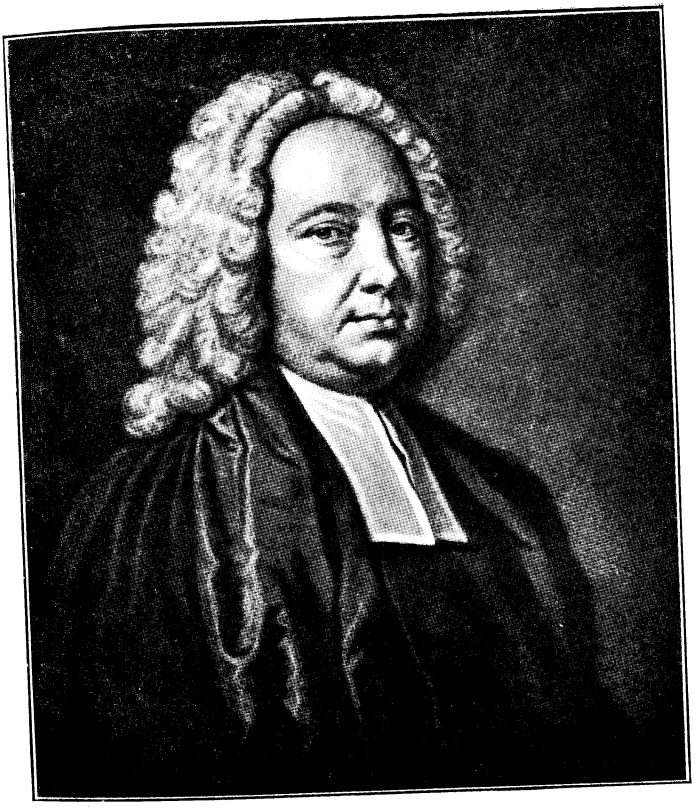
въ полный порядокъ, и начались систематическія наблюденія. Хотя остальныя 20 лѣтъ своей жизни (1742—1762) онъ провелъ, главнымъ образомъ, въ Гринвичѣ, въ отправленіи своихъ служебныхъ обязанностей и въ производствѣ связанныхъ съ ними изысканій, однако, сохранилъ за собой профессуру въ Оксфордѣ и продолжалъ дѣлать наблюденія въ Уанстедѣ по меньшей мѣрѣ до 1747 года.

207. Открытіе аберраціи явилось слѣдствіемъ попытки обнаружить параллактическое перемѣщеніе звѣздъ, которое должно бы происходить отъ годичнаго движенія земли. Со времени Коперника эта важная проблема (гл. IV, § 92, и гл. VI, § 129), естественно, озабочивала астрономовъ-наблюдателей, изъ которыхъ многіе пытались обнаружить это перемѣщеніе, а нѣкоторые (не исключая «всемірнаго претендента» Гука) претендовали даже на успѣхъ въ этой попыткѣ. Въ дѣйствительности же всѣ эти попытки оказывались безплодными, а Брадлею не больше повезло въ упомянутомъ предпріятіи, чѣмъ его предшественникамъ, но зато ему удалось получить изъ своихъ наблюденій два результата огромнаго интереса и важности и совершенно неожиданнаго свойства.

Задача, которую Брадлей себѣ поставилъ, заключалась въ томъ, чтобы опредѣлить, обнаруживаетъ ли какая-нибудь звѣзда въ теченіе года легкое перемѣщеніе относительно другихъ звѣздъ или неподвижныхъ точекъ небесной сферы вродѣ полюса. Заранѣе было извѣстно, что такое движеніе, если оно существуетъ, должно быть крайне ничтожнымъ, и для рѣшенія задачи требовались, поэтому, чрезвычайно тонкія техническія приспособленія и вели-

чайшая тщательность наблюденій. Сперва Брадлей работалъ въ сотрудничествѣ своего пріятеля *Самуэля Молинё* (1689—1728), построившаго въ Кью телескопъ. Слѣдуя методу, употреблявшемуся въ аналогичномъ изысканіи Гукомъ, результаты котораго желательно было провѣрить, они укрѣпили телескопъ почти въ вертикальномъ положеніи, такъ что одна изъ звѣздъ Дракона (γ Draconis) вступала въ поле его всякій разъ при прохожденіи черезъ меридіанъ; приняты были самыя тщательныя мѣры къ тому, чтобы телескопъ не измѣнялъ своего положенія въ теченіе года. Если бы изслѣдуемая звѣзда обладала какимъ-нибудь движеніемъ, измѣняющимъ ея разстояніе отъ полюса, то оно сопровождалось бы соотвѣтственнымъ измѣненіемъ положенія ея въ полѣ телескопа. Первыя наблюденія сдѣланы были 14 декабря 1725 года (нов. ст.), а 28 декабря Брадлею уже показалось, что онъ замѣтилъ легкое перемѣщеніе звѣзды къ югу, 1 января существованіе этого движенія подтвердилось, и съ тѣхъ поръ его продолжали наблюдать; въ мартѣ звѣзда достигла крайняго своего положенія, послѣ чего начала отступать къ сѣверу. Въ сентябрѣ она снова измѣнила направленіе своего движенія и къ концу года завершила циклъ своихъ перемѣнъ и вернулась въ первоначальное свое положеніе; въ максимумѣ измѣненія его доходили до 40″.

Такимъ образомъ, звѣзда оказалась подверженной нѣкоторому годичному перемѣщенію. Однако, Брадлею сейчасъ же стало ясно, что это не то параллактическое движеніе, котораго онъ искалъ, ибо положеніе звѣзды было таково, что параллаксъ относилъ бы ее къ югу въ декабрѣ и къ сѣверу —



Брадлей.

(Къ стр. 362).

въ іюнѣ, словомъ, она испытывала бы каждую перемѣну своего положенія тремя мѣсяцами раньше того времени, какое давалось наблюденіемъ. Ему представилось другое объясненіе, именно, что земная ось обладаетъ колебательнымъ движеніемъ или нутаціей, измѣняющей положеніе небеснаго полюса и, вслѣдствіе этого, производящей соотвѣтственное измѣненіе въ положеніи звѣзды. Такое движеніе небеснаго полюса должно, очевидно, давать противоположные результаты для звѣздъ, расположенныхъ по обѣ стороны отъ него, такъ какъ, придвигаясь къ одной изъ звѣздъ такой пары, онъ удаляется отъ другой. Черезъ двѣ недѣли послѣ имѣвшаго рѣшающее значеніе наблюденія 1 января была избрана звѣзда [1]) для провѣрки его предположенія; результатъ этой провѣрки лучше всего передается словами самого Брадлея:

«Первое, что пришло мнѣ въ голову, была нутація земной оси, но это предположеніе вскорѣ оказалось недостаточнымъ; хотя имъ можно было объяснить перемѣны въ склоненіи γ Дракона, однако, оно не соотвѣтствовало явленіямъ, происходившимъ съ другими звѣздами; особенно это замѣтно было на одной звѣздочкѣ, почти противоположной γ Дракона въ прямомъ восхожденіи, и приблизительно на такомъ же разстояніи отъ сѣвернаго полюса экватора; ибо хотя эта звѣзда кажущимся образомъ перемѣщалась такъ, какъ того требовала бы нутація земной оси, однако, то обстоятельство, что она перемѣстилась въ склоненіи лишь на половину того, что γ Дракона за то же время (какъ оказалось изъ сравненія наблюденій, сдѣланныхъ надъ обѣими звѣздами въ одни и тѣ же дни, въ различныя времена года), ясно показываетъ, что кажущееся перемѣщеніе звѣздъ въ дѣйствительности не происходитъ отъ нутаціи, такъ какъ въ этомъ случаѣ смѣщенія обѣихъ звѣздъ должны были бы выйти приблизительно одинаковыми (по абсолютной величинѣ)».

---

[1]) Телескопическая звѣздочка, такъ-называемая 37 Камелопарда (жирафа) каталога Флэмстида.

Испытаны были еще одно или два объясненія, но оказались несостоятельными, и въ результатѣ цѣлаго ряда наблюденій, обнимавшихъ слишкомъ два года, изслѣдуемое явленіе, будучи вполнѣ установлено, оставалось почти безъ всякаго объясненія.

Тѣмъ временемъ Брадлей установилъ въ Уанстедѣ собственный инструментъ, расположивъ его такъ, что въ него можно было наблюдать движенія не только γ Дракона, но и другихъ звѣздъ.

Нѣсколько звѣздъ тщательно наблюдалось въ теченіе года, и полученныя такимъ образомъ наблюденія дали Брадлею полное представленіе о геометрическихъ законахъ, по которымъ движенія измѣнялись въ зависимости отъ положенія звѣзды и времени года.

208. Вѣрное объясненіе **аберраціи**, какъ впослѣдствіи назвали разсматриваемое нами явленіе, пришло ему въ голову, кажется, въ сентябрѣ 1728 года и послѣ должной провѣрки сообщено было Королевскому Обществу въ началѣ слѣдующаго года. По распространенному разсказу [1]), онъ однажды замѣтилъ, плывя по Темзѣ, что вымпелъ на верхушкѣ мачты измѣнялъ свое видимое направленіе всякій разъ, когда судно мѣняло курсъ; отъ матросовъ онъ узналъ, что это происходитъ не отъ перемѣны направленія вѣтра, но отъ перемѣны курса судна.

---

[1]) Этотъ разсказъ приводится въ *Исторіи Королевскаго Общества* Т. Томсона, изданной слишкомъ 80 годами позже (1812), но мы не могли найти болѣе ранняго свидѣтельства о немъ. Собственный отчетъ Брадлея о своемъ открытіи заключаетъ въ себѣ массу подробностей, но ни малѣйшаго намека на это событіе.

Въ самомъ дѣлѣ, направленіе, показываемое вымпеломъ, не было истиннымъ направленіемъ вѣтра, но являлось результатомъ комбинаціи движеній вѣтра и судна; точнѣе сказать, вымпелъ показывалъ направленіе движенія вѣтра относительно судна. Замѣнивъ въ воображеніи вѣтеръ свѣтомъ отъ звѣзды, а мѣняющее свой курсъ судно землей, обращающейся вокругъ солнца и непрерывно измѣняющей направленіе своего движенія, Брадлей нашелъ объясненіе, которое, будучи разработано въ деталяхъ, весьма удовлетворительно прилагалось къ кажущимся перемѣнамъ въ положеніи изучавшейся имъ звѣзды. Приведемъ его собственныя слова:

«Наконецъ, я догадался, что всѣ упомянутыя явленія происходятъ отъ постепеннаго распространенія свѣта и годичнаго движенія земли по своей орбитѣ. Ибо я видѣлъ, что если свѣтъ распространяется во времени, то кажущееся положеніе неподвижнаго предмета, когда глазъ находится въ покоѣ, будетъ иное, чѣмъ когда онъ движется въ направленіи, уклоняющемся отъ линіи, соединяющей предметъ съ глазомъ, и что когда глазъ движется въ различныхъ направленіяхъ, то и кажущіяся положенія объекта будутъ различны.

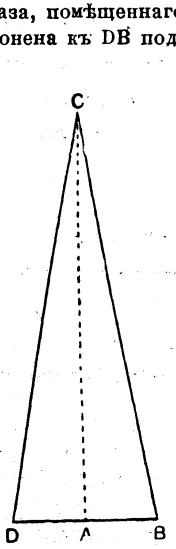
Я разсмотрѣлъ это обстоятельство слѣдующимъ образомъ. Я принялъ CA за лучъ свѣта, перпендикулярно падающій на линію BD; тогда, если глазъ покоится въ A, онъ долженъ видѣть предметъ въ направленіи AC, будетъ ли свѣтъ распространяться во времени, или передаваться мгновенно. Но если глазъ движется отъ B къ A, а свѣтъ распространяется во времени со скоростью, относящейся къ скорости движенія глаза, какъ CA къ BA, то, когда свѣтъ движется отъ C къ A, въ то время какъ глазъ перемѣщается изъ B въ A, та частица [1]) его, по которой будетъ распознанъ предметъ, когда глазъ придетъ въ A, находится еще въ C, когда глазъ помѣщается въ B. Соединивъ точки B и и C, я вообразилъ на мѣсто линіи CB трубку (наклоненную къ линіи BD подъ угломъ DBC) такого діаметра, который пропускалъ бы

---

[1]) Это слово читатель можетъ замѣнить современнымъ понятіемъ «волна».

Прим. переводч.

только одну свѣтовую частицу; тогда легко понять, что свѣтовая частица C (по которой предметъ воспринимается глазомъ по прибытіи его въ A) пройдетъ черезъ трубку BC, если она наклонена къ BD подъ угломъ DBC, и будетъ сопровождать глазъ въ его движеніи изъ B въ A; ясно также, что она не достигнетъ глаза, помѣщеннаго позади такой трубки, если она будетъ наклонена къ DB подъ инымъ угломъ...

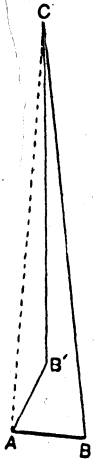


Фиг. 74. Аберрація свѣта. Изъ статьи Брадлея въ *Phil. Trans.*

Хотя, такимъ образомъ, истинное или дѣйствительное направленіе объекта перпендикулярно къ линіи, по которой движется глазъ, однако, видимое направленіе окажется инымъ, такъ какъ оно, безъ сомнѣнія, будетъ совпадать съ направленіемъ трубки; но различіе между истиннымъ и кажущимся положеніями, при равенствѣ прочихъ условій, будетъ больше или меньше въ зависимости отъ различнаго отношенія между скоростью свѣта и глаза. Такъ что если бы свѣтъ распространялся мгновенно, то между истиннымъ и кажущимся положеніемъ объекта не было бы разницы, хотя бы глазъ даже и находился въ движеніи; такъ какъ въ этомъ случаѣ AC безконечно велико по сравненію съ AB, и уголъ ACB (различіе между истиннымъ и кажущимся положеніями) превращается въ нуль. Но если свѣтъ распространяется во времени (что, надѣюсь, охотно допускаютъ многіе философы нашего вѣка), тогда изъ предыдущихъ разсужденій очевидно, что всегда будетъ существовать разница между истиннымъ и кажущимся положеніемъ объекта, если только глазъ не будетъ двигаться прямо къ нему или отъ него».

Объясненіе Брадлея показываетъ, что кажущееся положеніе звѣзды опредѣляется движеніемъ ея свѣта относительно земли, такъ что звѣзда кажется ближе къ той точкѣ небесной сферы, къ которой въ данное время движется земля. Для иллюстраціи приведемъ общеизвѣстный примѣръ. Всякій гуляющій подъ дождемъ въ безвѣтренный день съ

наибольшимъ успѣхомъ защищается отъ дождя держа зонтикъ не прямо надъ головой, но наклонивъ его немного впередъ, точь въ точь, какъ если бы онъ находился въ покоѣ, а легкій вѣтеръ дулъ бы ему въ лицо. И дѣйствительно, если бы онъ забылъ о собственномъ движеніи и обращалъ бы вниманіе только на направленіе, въ которомъ ему всего удобнѣе наклонить зонтикъ, то ему показалось бы, что легкій вѣтеръ задуваетъ ему дождь въ лицо.

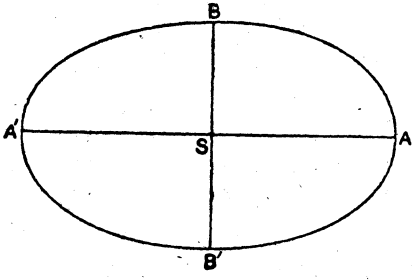


Фиг. 75. Аберрація свѣта.

209. Въ вышеприведенномъ нами отрывкѣ изъ статьи Брадлея разсмотрѣнъ лишь простѣйшій случай, когда направленіе звѣзды составляетъ прямой уголъ съ направленіемъ движенія земли. Въ другомъ мѣстѣ онъ показываетъ, что въ какомъ бы направленіи звѣзда ни лежала эффектъ въ общемъ получится одинаковый, только меньшей величины. На рисункѣ Брадлея (фиг. 74) величина уклоненія звѣзды отъ истиннаго своего положенія выражается угломъ BCA, зависящимъ отъ величины соотношенія между линіями AC и AB; но если (фиг. 75) земля движется (съ той же скоростью) въ направленіи B′A, вмѣсто BA, наклонно къ направленію звѣзды, то уже изъ рисунка видно, что уклоненіе звѣзды, выражающееся угломъ ACB′, окажется меньше, чѣмъ въ первомъ случаѣ; величина его измѣняется по простому математическому закону [1]) въ связи съ измѣненіемъ упомянутаго угла. Изъ

[1]) Оно равно $k \, Sin \, CAB$, гдѣ k есть постоянная аберраціи.

этого слѣдуетъ, что разсматриваемое перемѣщеніе неодинаково для различныхъ звѣздъ, какъ и показали уже наблюденія Брадлея, а вдобавокъ, оно неодинаково и для одной и той же звѣзды въ различныя времена года, такъ что звѣзда кажущимся образомъ описываетъ кривую, весьма близко подходящую къ эллипсу (фиг. 76), центръ котораго (S) соотвѣтствуетъ положенію, которое она занимала бы, если бы аберраціи вовсе не существовало. Не-



Фиг. 76. Аберраціонный эллипсъ.

трудно видѣть, что, какъ бы звѣзда ни была расположена, движеніе земли все-таки два раза въ годъ, черезъ шестимѣсячные промежутки, бываетъ перпендикулярно къ направленію звѣзды и что въ эти моменты звѣзда обнаруживаетъ наибольшее уклоненіе отъ средняго своего положенія, и, слѣдовательно, находится въ концахъ большой оси описываемаго ею эллипса, какъ въ A и A′, тогда какъ въ промежуточныя эпохи претерпѣваетъ наименьшее уклоненіе, какъ въ B и B′. Наибольшее перемѣщеніе, SA, т.-е. половина AA′, одинаковое для всѣхъ звѣздъ, извѣстно подъ названіемъ **постоянной**

аберраціи и установлено было Брадлеемъ въ 20″—20½″, въ настоящее же время принята величина 20″.47. Съ другой стороны, наименьшее перемѣщеніе, SB, т.-е. половина BB′, зависитъ, какъ показано было, просто отъ разстоянія звѣзды отъ эклиптики и будетъ тѣмъ больше, чѣмъ звѣзда отъ эклиптики дальше.

210. Постоянная аберраціи, выражающаяся угломъ ACB на фиг. 74, зависитъ только отъ отношенія между прямыми AC и AB, въ свою очередь пропорціональными скоростямъ свѣта и земли. Наблюденія аберраціи даютъ отношенія этихъ двухъ скоростей. Изъ оцѣнки Брадлея постоянной аберраціи можно путемъ легкаго вычисленія убѣдиться, что скорость свѣта почти въ 10.000 разъ превосходитъ скорость движенія земли; Брадлей выразилъ этотъ результатъ въ той формѣ, что свѣтъ пробѣгаетъ разстояніе между солнцемъ и землей въ теченіе 8 минутъ 13 секундъ. Изъ наблюденій надъ затменіями спутниковъ Юпитера Ремеръ и другіе вывели этотъ промежутокъ въ 8—11 минутъ (гл. VIII, § 162); и, такимъ образомъ, Брадлей получилъ въ свое распоряженіе удовлетворительное доказательство истинности своего открытія. Разъ навсегда установивъ аберрацію, этимъ вычисленіемъ можно было пользоваться для точнѣйшаго измѣренія скорости свѣта въ радіусахъ земной орбиты, такъ какъ опредѣленіе аберраціи возможно выполнить съ гораздо большей точностью, чѣмъ соотвѣтственныя измѣренія, требуемыя методомъ Ремера.

211. Необходимо упомянуть объ одной изъ трудностей, связанныхъ съ теоріей аберраціи. Въ вышеприведенномъ объясненіи Брадлей, какъ мы видѣли

принимаетъ свѣтъ за матеріальную субстанцію, истекающую изъ звѣзды или другого свѣтящагося тѣла. Это было въ согласіи съ теоріей истеченія свѣта, поддерживавшейся вѣскимъ авторитетомъ Ньютона и пользовавшейся всеобщимъ признаніемъ въ XVIII вѣкѣ. Современные физики, однако, совершенно оставили теорію истеченія и считаютъ свѣтъ особой формой волнообразнаго движенія, передающагося черезъ эѳиръ. Съ этой точки зрѣнія объясненіе Брадлея и иллюстраціи изъ области физики теряютъ значительную долю своей убѣдительности; вопросъ оказывается гораздо болѣе труднымъ, и даже самыя тщательныя и добросовѣстныя современныя изслѣдованія нельзя признать за вполнѣ удовлетворительныя рѣшенія его. Отмѣтимъ то любопытное обстоятельство, что если бы въ эпоху Брадлея господствовали современныя, болѣе точныя воззрѣнія на природу свѣта, то ему было бы гораздо труднѣе, чтобы не сказать невозможно, придти къ объясненію изучавшихся имъ звѣздныхъ движеній; такимъ образомъ, ошибочная теорія привела къ чрезвычайно важному открытію.

212. Брадлей, разумѣется, не упускалъ изъ виду первоначальной цѣли своихъ изслѣдованій. Онъ удовольствовался, впрочемъ, тѣмъ, что согласіе между наблюденными положеніями γ Дракона и вычисленными изъ аберраціи было столь велико, что всякое перемѣщеніе звѣзды въ силу параллакса, если бы таковой существовалъ, могло бы быть никакъ не больше $2''$, а по всей вѣроятности — не больше $\frac{1}{2}''$; такъ что огромный параллаксъ почти въ $30''$, на открытіе котораго претендовалъ Гукъ, слѣдовало отвергнуть, какъ безусловно ошибочный.

Съ точки зрѣнія коперникова ученія открытіе Брадлея было, однако, столь же важно и ничѣмъ не хуже открытія параллакса; вѣдь если бы земля находилась въ покоѣ, то ужъ никакого объясненія аберраціи нельзя было бы дать.

213. Столь тѣсное согласіе теоріи съ наблюденіемъ удовлетворило бы менѣе аккуратнаго и требовательнаго астронома.

Въ докладѣ Брадлея объ аберраціи (1729) мы, однако, читаемъ:

«Равнымъ образомъ мнѣ пришлось столкнуться съ нѣкоторыми малыми измѣненіями въ склоненіи другихъ звѣздъ въ различные годы, повидимому, не коренящимися въ той же причинѣ. . . . . Но происходятъ ли эти малыя уклоненія отъ какой-либо постоянной причины, или же зависятъ отъ несовершенства или измѣненій въ веществѣ и т. п. моего инструмента, я еще не въ состояніи рѣшить съ увѣренностью».

Получивъ эту тонкую путеводную нить, онъ осторожно шелъ за нею и пришелъ ко второму поразительному открытію, являющемуся одной изъ прекраснѣйшихъ иллюстрацій того, какъ при изученіи «побочныхъ явленій» получаются важные результаты. Въ силу аберраціи звѣзда претерпѣваетъ циклъ перемѣнъ въ теченіе года; поэтому, если звѣзда по истеченіи года не возвращается въ первоначальное положеніе, то надо поискать иное объясненіе ея движенія. Одна изъ причинъ такого уклоненія была извѣстна, именно, прецессія; но въ концѣ перваго года своихъ наблюденій въ Уанстедѣ Брадлей нашелъ, что положенія различныхъ звѣздъ отличаются на незначительный уголъ (не превышающій 2″) отъ тѣхъ, которыя онѣ занимали бы вліяніемъ прецессіи, какъ она въ то время была извѣстна; и что хотя постоянная поправка въ величинѣ прецес-

сіи и могла бы объяснить движенія нѣкоторыхъ изъ этихъ звѣздъ, но зато усилились бы неправильности, замѣчаемыя въ другихъ звѣздахъ. Какъ мы видѣли (§ 207), ему уже приходила въ голову мысль о нутаціи или колебаніи земной оси; и хотя она не могла объяснить главнаго явленія—вытекавшаго изъ аберраціи — тѣмъ не менѣе она давала удовлетворительное объясненіе гораздо болѣе мелкимъ побочнымъ движеніямъ. Брадлей въ скоромъ времени напалъ на мысль, что такая нутація могла бы существовать въ силу вліянія луны, на что указывали и наблюденія, и ньютоново объясненіе прецессіи.

«Я заподозрилъ, что эти явленія могли быть вызваны вліяніемъ луны на экваторіальныя части земного шара: ибо если предвареніе равноденствій причиняется, по принципамъ сэра Исаака Ньютона, вліяніемъ солнца и луны на эти части, причемъ плоскость лунной орбиты въ одно время бываетъ на десять слишкомъ градусовъ болѣе наклонена къ плоскости экватора, чѣмъ въ другое, то отсюда есть основаніе заключить, что та часть годичной прецессіи, которая обязана своимъ существованіемъ дѣйствію луны, въ различные годы бываетъ неодинаковой величины; между тѣмъ какъ плоскость эклиптики, въ которой пребываетъ солнце, всегда сохраняетъ почти одно и то же наклоненіе къ экватору, и, слѣдовательно, часть прецессіи, возникающая отъ дѣйствія солнца, изъ года въ годъ одинакова. Отсюда слѣдуетъ, что хотя средняя годичная прецессія, проистекающая отъ соединеннаго дѣйствія луны и солнца, равна 50″, однако, наблюдаемая годичная прецессія можетъ быть иногда больше, иногда меньше этой средней величины, соотвѣтственно различнымъ положеніямъ узловъ лунной орбиты».

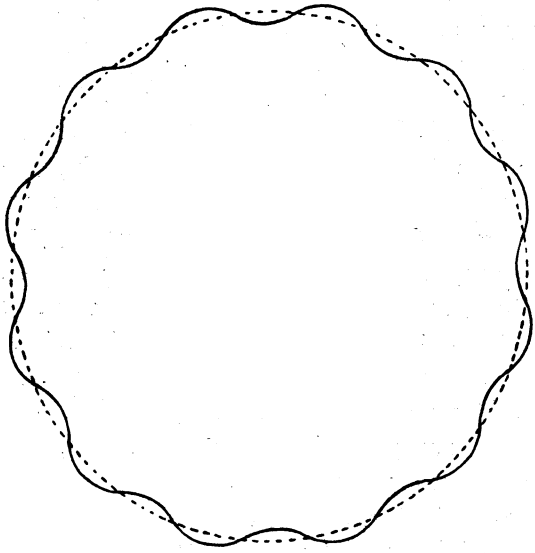
Ньютонъ при разсмотрѣніи прецессіи (гл. IX, § 188; *Начала,* книга III, предложеніе 21) указалъ на существованіе небольшаго неравенства съ шестимѣсячнымъ періодомъ. Но если мы приглядимся къ его изслѣдованію вліяній солнечнаго и луннаго

притяженія на выпуклыя части земли, то намъ станетъ ясно, что различныя перемѣны въ положеніи солнца и луны относительно земли могутъ вызывать неправильности и что равномѣрное движеніе прецессіи, обнаруженное наблюденіемъ и выведенное изъ тяготѣнія Ньютономъ, является, такъ сказать, только приближеніемъ движенія гораздо болѣе сложнаго свойства. Кромѣ вышеприведеннаго замѣчанія, Ньютонъ не пытался обсуждать эти неправильности, и ни одна изъ нихъ пока еще не была открыта при помощи наблюденія.

Изъ многочисленныхъ неправильностей этого рода, извѣстныхъ въ настоящее время и носящихъ общее названіе **нутацій**, отмѣченная Брадлеемъ въ вышеприведенномъ отрывкѣ является едва ли не важнѣйшей. Какъ только у него мелькнула мысль о неправильностяхъ, зависящихъ отъ положенія лунныхъ узловъ, онъ сейчасъ же увидѣлъ, что необходимо было бы прослѣдить движенія нѣсколькихъ звѣздъ въ теченіе всего 19-тилѣтняго періода, обнимающаго перемѣщенія лунныхъ узловъ вдоль эклиптики до возвращенія къ первоначальному мѣсту. Онъ успѣшно произвелъ это изслѣдованіе между 1726 и 1747 годами, при помощи телескопа въ Уанстедѣ. Когда лунные узлы совершили половину обращенія, спустя девять лѣтъ послѣ начала работъ, то соотвѣтствіе между перемѣщеніемъ звѣздъ и перемѣнами въ лунной орбитѣ оказалось столь разительнымъ, что Брадлей удовлетворился общей правильностью своей теоріи и въ 1737 году сообщилъ частнымъ образомъ свои результаты Мопертюи (§ 221), съ которымъ поддерживалъ ученую переписку. Мопертюи, вѣроятно, сообщилъ ихъ

другимъ, но самъ Брадлей терпѣливо дожидался окончанія періода, который онъ полагалъ необходимымъ для удовлетворительной повѣрки своей теоріи, и окончательно обнародовалъ свои результаты лишь въ началѣ 1748 года.

214. Наблюденіями Брадлея установлено было существованіе извѣстныхъ измѣненій въ положеніи



Фиг. 77. Прецессія и нутація.

различныхъ звѣздъ, которыя можно было объяснить предположеніемъ, что, съ одной стороны, измѣняется разстояніе полюса отъ эклиптики, а съ другой — прецессіонное перемѣщеніе полюса неравномѣрно, но совершается съ большими колебаніями скорости. *Джонъ Мэчинъ* (?—1751), одинъ изъ лучшихъ ан-

глійскихъ математиковъ того времени, указалъ, что всѣ эти явленія поддаются объясненію, если предположить, что полюсъ описываетъ на небесной сферѣ небольшой кружокъ съ періодомъ немного меньше 19 лѣтъ, соотвѣтствующимъ времени обращенія узловъ лунной орбиты вокругъ точки, въ которой бы онъ находился, если бы существовала только (равномѣрная) прецессія и не было бы нутаціи. Брадлей нашелъ, что эта теорія отвѣчаетъ его наблюденіямъ, но что было бы лучше замѣнить кругъ слегка приплюснутымъ эллипсомъ, большую и малую оси котораго онъ опредѣлялъ приблизительно въ 18″ и 16″ соотвѣтственно [1]). Этотъ эллипсъ для глаза имѣетъ такую же величину, какъ шиллингъ, помѣщенный въ слегка наклонномъ положеніи на разстояніи 300 ярдовъ (приблизительно четвертакъ на разстояніи 400 аршинъ). Оказалось, такимъ образомъ, что полюсъ обладаетъ двоякимъ движеніемъ; въ результатѣ комбинированнаго вліянія нутаціи и прецессіи онъ описываетъ около полюса эклиптики «слегка волнообразное кольцо» (фиг. 77), на которомъ, однако, размѣры колебаній, порождаемыхъ нутаціей, сильно преувеличены.

215. Хотя Брадлей и зналъ, что нутація вызвана вліяніемъ луны, но предоставилъ теоретическое изслѣдованіе причинъ ея болѣе искуснымъ математикамъ.

Въ слѣдующемъ году (1749) французскій математикъ Даламберъ (гл. XI, § 232) напечаталъ трак-

---

[1]) Наблюденія его даютъ нѣсколько большую величину, чѣмъ 18″, но онъ предпочиталъ круглыя цифры. Въ настоящее время приняты цифры 18″.42 и 13″.75, такъ что его эллипсъ былъ гораздо меньше сплющенъ, чѣмъ бы слѣдовало.

татъ[1]), въ которомъ доказалъ, путемъ строгаго математическаго анализа, что не только прецессія, но и нѣкоторая нутація, весьма близко сходная съ той, которую наблюдалъ Брадлей, обязана своимъ существованіемъ притяженію, оказываемому луной на выпуклыя части земли у экватора (гл. IX, § 187), и, съ другой стороны, подтвердилъ ньютоново объясненіе прецессіи. Вскорѣ послѣ того Эйлеръ (гл. XI, § 236) обнародовалъ свое изслѣдованіе объ этомъ же предметѣ; съ тѣхъ поръ этотъ вопросъ заново изучался многими астрономами-математиками, съ тѣмъ результатомъ, что только брадлеева нутація представляетъ наиболѣе важную часть длиннаго ряда мельчайшихъ неправильностей движенія земной оси.

216. Мы, прежде всего, занялись аберраціей и нутаціей, какъ наиболѣе важными изъ открытій Брадлея, но и до нихъ, и послѣ онъ производилъ цѣнныя изслѣдованія иного рода.

Первая важная его работа касалась спутниковъ Юпитера. Дядя его удѣлялъ много вниманія этому предмету и составилъ таблицы движеній перваго спутника, основанныя на таблицахъ Доминика Кассини, но содержавшія въ себѣ много улучшеній. Брадлей за нѣсколько лѣтъ составилъ себѣ, повидимому, привычку часто наблюдать затменія юпитеровыхъ спутниковъ и отмѣчать разногласія между наблюденіями и таблицами; благодаря этому, онъ въ состояніи былъ открыть нѣсколько до него незамѣченныхъ особенностей движенія и, пользуясь ими, составить улучшенныя таблицы. Наиболѣе интереснымъ ока-

---

[1]) *Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la terre.*

залось открытіе 437-дневнаго періода, по истеченіи котораго движенія трехъ внутреннихъ спутниковъ возобновлялись съ прежними неправильностями. Брадлей, какъ и Паундъ, пользовался Ремеровой теоріей (гл. VIII, § 162), что свѣтъ затрачиваетъ опредѣленный промежутокъ времени на прохожденіе отъ Юпитера къ землѣ, каковую теорію Кассини и его школа долго отвергали. Брадлеевы таблицы спутниковъ Юпитера вошли въ галлеевы планетныя и лунныя таблицы, напечатанныя въ 1719 году, но обнародованныя лишь 30 слишкомъ лѣтъ спустя (§ 204). Раньше этого шведскій астрономъ *Перъ Вильгельмъ Варгентинъ* (1717—1783) самостоятельно открылъ періодъ въ 437 дней, которымъ воспользовался для составленія изданныхъ въ 1746 году чрезвычайно точныхъ таблицъ для спутниковъ.

Въ этомъ случаѣ, какъ и въ примѣрѣ съ нутаціей, Брадлей сознавалъ, что его математическихъ силъ недостаточно для объясненія открытыхъ имъ неравенствъ изъ принциповъ тяготѣнія, хотя онъ прекрасно понималъ всю важность подобнаго предпріятія и опредѣленно высказывалъ надежду, что «какой-нибудь геометръ [1]), въ подражаніе великому Ньютону, отдастся изслѣдованію этихъ неправильностей, на основаніи вѣрныхъ и очевидныхъ принциповъ тяжести».

Съ другой стороны, онъ нашелъ въ 1726 году интересное практическое приложеніе своимъ превосходнымъ изслѣдованіямъ надъ спутниками Юпитера именно, опредѣлилъ, по методу Галилея

[1]) Слово «геометръ» первоначально употреблялось въ Англіи, какъ и понынѣ еще во Франціи, въ болѣе широкомъ смыслѣ «математика».

(гл. VI, § 127), долготы Лиссабона и Нью-Іорка съ замѣчательной точностью.

217. Изъ работъ меньшей важности слѣдуетъ упомянуть еще о наблюденіяхъ Брадлея нѣкоторыхъ кометъ и произведенномъ имъ вычисленіи ихъ орбитъ по методу Ньютона; объ улучшенныхъ таблицахъ преломленія, которыми пользовались почти цѣлое столѣтіе; объ участіи его въ производствѣ опытовъ съ маятникомъ, предпринятыхъ въ Англіи и Ямайкѣ съ цѣлью провѣрки измѣнчивости тяжести подъ различными широтами земного шара; о тщательной провѣркѣ лунныхъ таблицъ Майера (§ 226) и произведенныхъ въ нихъ улучшеніяхъ и, наконецъ, о нѣкоторыхъ работахъ, имѣвшихъ отношеніе къ календарной реформѣ 1752 года (гл. II, § 22).

218. Намъ остается разсказать о великолѣпномъ рядѣ наблюденій, сдѣланныхъ за время управленія Брадлея Гринвичской обсерваторіей.

Эти наблюденія подраздѣляются на двѣ группы неравнаго достоинства, такъ какъ тѣ, которыя производились послѣ 1749 года, сдѣланы были при помощи болѣе точныхъ инструментовъ, пріобрѣтенныхъ имъ, благодаря щедрому дару правительства.

При Брадлеѣ главную задачу обсерваторіи составляли наблюденія надъ неподвижными звѣздами и въ меньшей степени — надъ другими тѣлами, въ моменты ихъ прохожденія черезъ меридіанъ, такъ какъ употреблявшіеся инструменты («стѣнной квадрантъ» и «пассажный инструментъ») могли двигаться только въ плоскости меридіана, были, поэтому, устойчивѣе и обладали большей точностью, чѣмъ

инструменты съ болѣе свободнымъ движеніемъ. Самыя важныя наблюденія, числомъ до 60.000, сдѣланныя между 1750—1762 годами, опубликованы долгое время спустя послѣ смерти Брадлея, въ двухъ большихъ томахъ, вышедшихъ въ 1798 и 1805 году. Болѣе раннее извлеченіе изъ нихъ послужило основаніемъ небольшого звѣзднаго каталога, напечатаннаго въ *Nautical Almanac* (Морскомъ Альманахѣ) за 1773 годъ; но не раньше 1818 года, когда изданы были *Fundamenta Astronomiae* (Основанія астрономіи) Бесселя (гл. XIII, § 277), т.-е. каталогъ свыше 3.000 звѣздъ, основанный на наблюденіяхъ Брадлея; эти наблюденія приняли форму, вполнѣ пригодную для астрономическихъ работъ. Одна изъ причинъ этого, повидимому, чрезмѣрнаго замедленія заключается въ особенностяхъ рабочихъ пріемовъ Брадлея. Мы уже упоминали о различныхъ обстоятельствахъ, благодаря которымъ положеніе звѣзды, наблюденное въ телескопъ и своевременно отмѣченное, не представляетъ еще точнаго положенія звѣзды на небѣ. Существуютъ разнообразныя погрѣшности инструментовъ и погрѣшности, проистекающія отъ атмосферной рефракціи; далѣе, при сравненіи положеній звѣзды въ двѣ различныя эпохи надо принимать въ соображеніе прецессію; и самъ Брадлей въ аберраціи и нутаціи открылъ два новыхъ источника погрѣшностей. Значитъ, для того, чтобы ряду звѣздныхъ наблюденій придать форму, пригодную для справокъ во всякое время, необходимо внести поправки, имѣющія цѣлью уничтожить вліяніе всѣхъ этихъ источниковъ погрѣшности. Эта процедура — «**редукція**», какъ ее технически называютъ, требуетъ извѣстнаго количества чрезвычайно

скучныхъ вычисленій, и хотя на современныхъ обсерваторіяхъ она до того упрощена, что ее могутъ производить чуть ли не по неизмѣннымъ правиламъ даже малоопытные ассистенты, въ эпоху Брадлея она требовала нѣкотораго соображенія, и сомнительно, чтобы его ассистенты могли удовлетворительно справиться съ задачей, хотя бы даже время ихъ и не поглощалось цѣликомъ другими обязанностями. Вѣроятно, Брадлей и самъ тяготился докучными вычисленіями и предпочиталъ жертвовать свою энергію работѣ болѣе высокаго порядка. Правда, Деламбръ, знаменитый французскій историкъ астрономіи, увѣряетъ своихъ читателей, что процессъ редукціи никогда не казался ему скучнымъ, если онъ производилъ его въ тотъ же день, какъ и самое наблюденіе; но достаточно заглянуть въ одну изъ его книгъ, чтобы убѣдиться въ необычайномъ пристрастіи его къ длиннымъ вычисленіямъ довольно элементарнаго свойства, и, разумѣется, Брадлей не единственный астрономъ, вкусы котораго въ данномъ отношеніи кореннымъ образомъ отличались отъ деламбровыхъ. Кромѣ того, редукція наблюденій—это такая обязанность, которая, какъ необходимость отвѣчать на письма, становится все труднѣе выполнимой, чѣмъ больше ее запускаешь; и для всякаго астронома не только менѣе интересно, но и гораздо труднѣе раздѣлаться болѣе или менѣе удовлетворительнымъ образомъ съ чужими наблюденіями, чѣмъ со своими собственными. Неудивительно, поэтому, что послѣ смерти Брадлея протекъ значительный промежутокъ времени, прежде чѣмъ нашелся астрономъ, обладавшій въ равной мѣрѣ искусствомъ и терпѣніемъ, необходимыми для

редукціи 60.000 наблюденій Брадлея. Благодаря счастливому сочетанію различныхъ обстоятельствъ, наблюденія Брадлея оказались значительно выше наблюденій его предшественниковъ. Судьба наградила его лучшими природными дарами, образующими первокласснаго наблюдателя, — хорошимъ глазомъ и соображеніемъ; инструменты его были монтированы наивыгоднѣйшимъ способомъ, обезпечивающимъ значительную точность, и вышли изъ рукъ искуснѣйшихъ мастеровъ; онъ самымъ тщательнымъ образомъ изучалъ недостатки своихъ инструментовъ и вносилъ необходимыя поправки на эти погрѣшности; открытіе аберраціи и нутаціи дало ему возможность устранять соотвѣтственныя ошибки, достигавшія значительнаго числа секундъ, которыхъ его предшественники могли избѣгнуть лишь въ слабой мѣрѣ тѣмъ, что брали средину изъ многихъ наблюденій; а усовершенствованныя таблицы преломленія сообщали еще бо́льшую точность его результатамъ.

Бессель считаетъ, что въ брадлеевыхъ наблюденіяхъ данныя склоненія уклонялись обыкновенно отъ истинныхъ менѣе чѣмъ на 4″, тогда какъ соотвѣтствующія погрѣшности въ прямомъ восхожденіи — величина, въ концѣ-концовъ, зависящая отъ правильнаго измѣренія времени — были меньше 15″ или одной секунды времени. Такимъ образомъ, его наблюденія въ смыслѣ точности значительно опередили, напримѣръ, наблюденія Флэмстида (§ 198), считавшіяся лучшими изъ всѣхъ, ранѣе существовавшихъ.

219. Послѣ Брадлея постъ королевскаго астронома занялъ *Натаніэль Блиссъ* (1700 — 1764), скончавшійся два года спустя. Его смѣнилъ *Невиль*

Маскелайнъ (1732—1811), въ теченіе почти полувѣка поддерживавшій славныя традиціи точнаго наблюденія, завѣщанныя Брадлеемъ Гринвичской обсерваторіи, и внесшій нѣкоторыя улучшенія въ методы.

Ему наука обязана первой серьезной попыткой измѣрить плотность, а затѣмъ массу земли. Сравнивая притяженіе, оказываемое землей, съ притяженіями солнца и другихъ тѣлъ, Ньютонъ, какъ мы видѣли (гл. IX, § 185), нашелъ возможнымъ связать массы нѣкоторыхъ небесныхъ тѣлъ съ массой земли. Но совсѣмъ иное дѣло — связать массу всего земного шара съ массой даннаго земного предмета и выразить ее въ фунтахъ или тоннахъ. Возможно, разумѣется, изслѣдовать части земной поверхности и сравнивать ихъ плотность съ плотностью, скажемъ, воды; затѣмъ, на основаніи грубыхъ наблюденій въ шахтахъ и т. п., строить догадки относительно скорости возрастанія плотности по мѣрѣ углубленія къ центру земли, а отсюда вывести среднюю плотность земли. Такимъ путемъ массу всей земли можно сравнить съ массой водяного шара такихъ же размѣровъ и, зная объемъ, выразить ее въ фунтахъ или тоннахъ.

Помощью такой процедуры Ньютонъ, дѣйствительно, съ необычайной проницательностью опредѣлилъ, что плотность земли въ пять - шесть разъ превосходитъ плотность воды [1]).

Было, однако, безусловно желательно рѣшить эту задачу менѣе гадательными способами, путемъ прямого сравненія притяженія, оказываемаго землей, и

---

[1]) *Начала*, книга III, предложеніе 10.

притяженія, оказываемаго какой-либо извѣстной массой, — методъ, въ то же время могущій дать цѣнное подтвержденіе теоріи Ньютона о притягательныхъ свойствахъ частей земли, разсматриваемыхъ отдѣльно отъ всей массы земного шара. Въ Перуанскую экспедицію (§ 221) Бугеръ и Лакондаминъ замѣтили небольшое отклоненіе отвѣса отъ истиннаго направленія, что указывало на притяженіе горы Чимборазо, близъ которой они работали; но наблюденія ихъ были столь ненадежны, что на нихъ нельзя было положиться. Для подобной же цѣли Маскелайнъ избралъ Шегалліенъ въ Пертшайрѣ, узкій горный хребетъ, тянущійся съ востока на западъ. Направленіе отвѣса наблюдалось (1774) по каждую сторону хребта, и оказалось, что притяженіе горы отклоняетъ отвѣсную линію почти на 12″. Такъ какъ направленіе отвѣса въ этомъ мѣстѣ опредѣлялось притяженіемъ всего земного шара, съ одной стороны, и горы — съ другой, то сразу же оказалось возможнымъ сравнить между собой эти два притяженія. Весьма запутанное вычисленіе, исполненное *Чарльзомъ Геттономъ* (1737 — 1823), повело къ сравненію среднихъ плотностей земли и горы, а отсюда — къ конечному выводу (опубликованъ въ 1778 году), что плотность земли приблизительно въ $4^1/_2$ раза превосходитъ плотность воды. Такъ какъ геттонова оцѣнка плотности горы была все-таки гадательна, то, разумѣется, и результатъ получился соотвѣтственно неточный.

Нѣсколькими годами позже *Джонъ Мичелль* (1724—1793) придумалъ, а знаменитый химикъ и знатокъ электричества *Генри Кэвендишъ* (1731—1810) выполнилъ (въ 1798 году) экспериментъ, въ кото-

ромъ гора замѣнена была парой тяжелыхъ шаровъ, и притяженіе, оказываемое ими на постороннее тѣло, подвергнуто сравненію съ притяженіемъ земли; въ результатѣ получилось, что плотность земли въ $5^1/_2$ разъ превосходитъ плотность воды.

Опытъ Кэвендиша, какъ его называютъ, съ тѣхъ поръ неоднократно повторялся въ видоизмѣненной различными способами формѣ, а, кромѣ того, примѣнялись и другихъ два метода, ознакомленіе съ которыми требуетъ спеціальныхъ техническихъ знаній. Лучшія современныя экспериментальныя изслѣдованія даютъ для плотности земли цифры, весьма близкія къ $5^1/_2$, подтверждая самымъ блестящимъ образомъ догадку Ньютона и первоначальный опытъ Кэвендиша.

При такой оцѣнкѣ плотности масса земли измѣряется немногимъ больше, чѣмъ 13 билліоновъ билліоновъ фунтовъ или точнѣе —
13. 136. 000. 000. 000. 000. 000. 000. 000 фунтовъ.

220. Въ то время какъ Гринвичская обсерваторія снабжала астрономическій міръ цѣлыми рядами цѣнныхъ наблюденій, Парижская не оправдывала возложенныхъ на нее надеждъ. Подобно англійскимъ математикамъ, она испытывала на себѣ дурныя послѣдствія неумѣреннаго преклоненія передъ методами и мнѣніями знаменитостей. Доминикъ Кассини придерживался нѣкоторыхъ заблужденій по важнымъ астрономическимъ вопросамъ; онъ былъ слишкомъ добрымъ католикомъ, чтобы быть настоящимъ коперниканцемъ, онъ не признавалъ тяготѣнія, онъ питалъ твердую увѣренность, что земля приплюснута у экватора, а не у полюсовъ, и отвергалъ открытіе скорости свѣта Ремера. Послѣ

смерти его, послѣдовавшей въ 1712 году, управленіе обсерваторіей поочередно переходило къ тремъ его потомкамъ, изъ которыхъ послѣдній отказался отъ должности въ 1793 году; нѣкоторые члены семейства Маральди, въ которое вошла послѣ замужества его сестра, работали въ сотрудничествѣ со своими кузенами. Къ сожалѣнію, они потратили массу энергіи, сперва на защиту, а затѣмъ на постепенное освобожденіе отъ заблужденій своего знаменитаго главы. *Жакъ Кассини,* напримѣръ, второй въ родѣ (1677—1756), былъ еще очень робкимъ коперниканцемъ и отвергалъ Кеплеровъ законъ площадей; сынъ его, обыкновенно извѣстный подъ именемъ *Кассини де Тюри* (1714—1784), защищалъ еще заблужденія своего предка относительно фигуры земли, тогда какъ четвертый членъ фамиліи, *графъ Кассини* (1748—1845), былъ первымъ въ родѣ, усвоившимъ идеи Ньютона о тяготѣніи [1]).

Школой Кассини-Маральди произведены нѣкоторыя цѣнныя наблюденія надъ планетами и другими тѣлами, но не оставлено трудовъ первостепенной важности.

221. Въ XVIII вѣкѣ произведенъ былъ рядъ важныхъ измѣреній земли (въ которыхъ Кассини принималъ немалое участіе) почти исключительно

---

[1]) Въ фамиліи Кассини мы видимъ яркій и поразительный примѣръ наслѣдственности таланта. Это была какъ бы астрономическая династія, царствовавшая на Парижской обсерваторіи. Французы ихъ такъ и называли: Кассини I, Кассини II, Кассини III, Кассини IV. Какъ видно изъ вышеприведенныхъ данныхъ, всѣ они отличались долголѣтіемъ. Въ исторіи математическихъ наукъ это, впрочемъ, не единственный примѣръ. Напомнимъ Бернулли, Гершелей—имена, небезызвѣстныя всякому образованному читателю.

Прим. переводч.

французами, въ результатѣ получившими довольно точныя данныя относительно объема и формы земли.

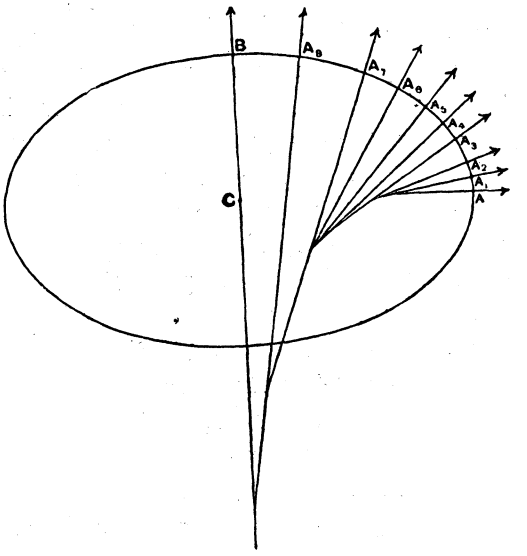
Измѣнчивость длины секунднаго маятника, наблюдавшаяся Рише во время экспедиціи въ Кайенну (гл. VIII, § 161), послужила первымъ указаніемъ на уклоненіе земли отъ шарообразной формы. Изъ наблюденій надъ маятникомъ и собственныхъ теоретическихъ изысканій (гл. IX, § 187) Ньютонъ заключилъ, что земля сфероидальна и приплюснута у полюсовъ; взгляды его подтвердились удачнымъ объясненіемъ прецессіи, къ которому они привели (гл. IX, § 188).

Съ другой стороны, сравненіе измѣреній дуги меридіана, сдѣланныхъ подъ различными широтами, указывало, повидимому, что земля удлинена по направленію къ полюсамъ и приплюснута у экватора,— взглядъ, съ большой настойчивостью защищавшійся школой Кассини. Ясно было, что для рѣшенія вопроса требуются болѣе обширныя и тщательныя измѣренія земли.

Существенную часть обыкновенной процедуры измѣренія земли составляетъ нахожденіе въ миляхъ (либо верстахъ) разстоянія между двумя мѣстами, лежащими на одномъ меридіанѣ, но различающимися по широтѣ на извѣстную величину. Изъ этихъ двухъ данныхъ легко получить длину дуги меридіана, соотвѣтствующей разницѣ въ широтѣ на 1°. **Широта** мѣста есть уголъ, образуемый вертикалью этого мѣста съ плоскостью экватора, или, другими словами, угловое разстояніе зенита отъ небеснаго экватора. **Вертикаль** даннаго мѣста можно опредѣлить какъ направленіе, перпендикулярное къ поверхности воды или ртути въ спокойномъ ея

состоянiи или перпендикулярное къ истинной поверхности земли, причемъ случайныя неправильности ея формы вродѣ горъ и долинъ не берутся въ разсчетъ [1]).

Слѣдовательно, разница въ широтѣ двухъ мѣстъ, изъ которыхъ одно южнѣе или сѣвернѣе другого,



Фиг. 78. Измѣнчивая кривизна земли.

измѣряется угломъ между ихъ вертикалями. На фиг. 78 показаны вертикали, отмѣченныя стрѣлками, въ различныхъ мѣстахъ одного и того же меридiана, взятыхъ на разстоянiи 10° одно отъ другого, такъ что двѣ рядомъ стоящiя вертикали наклонены одна къ другой подъ угломъ въ 10°.

---

[1]) Здѣсь важно замѣтить, что вертикаль не есть линiя, проведенная изъ центра земли къ мѣсту наблюденiя.

Если, какъ на фиг. 78, нарисовать землю по плану Ньютона, то изъ рисунка сразу можно убѣдиться, что дуги AA_1, A_1A_2 и т. д., изъ которыхъ каждая соотвѣтствуетъ 10° широты, непрерывно увеличиваются по мѣрѣ удаленія отъ точки A экватора и приближенія къ полюсу B. По обратной гипотезѣ, которая иллюстрируется той же фигурой, если A мы примемъ за полюсъ, а B за точку на экваторѣ, дуги уменьшаются отъ экватора къ полюсу. Сравненіе измѣреній Эратосѳена въ Египтѣ (гл. II, § 36) съ нѣкоторыми европейскими измѣреніями (гл. VIII, § 159) указываетъ, повидимому, что градусъ меридіана у экватора длиннѣе, чѣмъ въ высокихъ широтахъ; къ такому же выводу привело сравненіе различныхъ участковъ огромной дуги, около 9° длиной, простиравшейся отъ Дюнкирхена къ Пиренеямъ и измѣренной французами подъ руководствомъ Кассини для продолженія дуги Пикара; результатъ этихъ изслѣдованій былъ обнародованъ Ж. Кассини въ 1720 году. Ни въ одномъ, однако, случаѣ данныя не были настолько точны, чтобы оправдать сдѣланный изъ нихъ выводъ; и первыя рѣшительныя данныя получены были лишь при измѣреніи дугъ въ такихъ мѣстахъ, которыя разнились по широтѣ на гораздо бо̀льшую величину, чѣмъ всѣ, ранѣе измѣренныя. Французская академія снарядила экспедицію въ Перу, подъ руководствомъ трехъ академиковъ, *Пьера Бугэра* (1698—1758), *Шарля Мари - де - ла - Кондамина* (1701—1774) и *Луи Годена* (1704—1760), и при участіи двухъ испанскихъ морскихъ офицеровъ.

Экспедиція отправилась въ 1735 году, но, благодаря различнымъ помѣхамъ, дѣло затянулось чуть

не на десять лѣтъ. Наиболѣе важнымъ результатомъ экспедиціи было весьма точное измѣреніе дуги почти въ 3° длиной, вблизи экватора; кромѣ того, произведено было много цѣнныхъ наблюденій надъ маятникомъ, и сдѣлана масса другихъ завоеваній въ различныхъ областяхъ знанія.

Но въ то время какъ Перуанская экспедиція еще производила свои работы, подобная же экспедиція, отправленная въ Лапландію подъ начальствомъ академика *Пьера Луи Моро-де-Мопертюи* (1698—1759), гораздо быстрѣе (1736—1737), если и не столь удачно, справилась съ измѣреніемъ дуги близъ полярнаго круга, протяженіемъ въ 1°.

Изъ этихъ измѣреній оказалось, что длины градуса меридіана у 2° южной широты (Перу), у 47° и 66° сѣверной широты (Франція и Лапландія) соотвѣтственно равны 362.000, 364.900 и 367.100 футамъ[1]). Изъ сравненія любой пары изъ этихъ дугъ ясно было, что длина градуса меридіана увеличивается съ возрастаніемъ широты; такимъ образомъ доказана была правильность воззрѣній Ньютона и заблужденіе Кассини.

Величина отклоненія земли отъ шарообразной формы обыкновенно выражается дробью, извѣстной подъ названіемъ **эллиптичности** (сжатія) и представляющей собой разность между линіями CA и CB фиг. 78, раздѣленную на бо̀льшую изъ нихъ (т.-е. CA). Изъ сравненія трехъ вышеупомянутыхъ дугъ было получено нѣсколько различныхъ оцѣнокъ эллиптичности, каковая разница объясняется разли-

---

[1]) 69 миль составляютъ 364.320 футовъ, такъ что оба сѣверныхъ градуса оказались нѣсколько больше, а Перуанскій нѣсколько меньше 69 миль (104 версты).

чіемъ методовъ интерпретаціи результатовъ, а отчасти ошибками измѣренія.

И въ самомъ дѣлѣ, произведенное въ 1801—1803 году *Іэнсомъ Сванбергомъ* (1771—1851) градусное измѣреніе по близости дуги Мопертюи показало, что найденная этимъ послѣднимъ длина градуса почти на 1.000 футовъ больше истинной.

Въ различныя эпохи и въ различныхъ пунктахъ земного шара было произведено множество другихъ градусныхъ измѣреній въ теченіе XVIII и XIX вѣковъ. Всѣхъ подробностей нѣтъ надобности передавать, но, чтобы не возвращаться къ этому предмету, мы приведемъ результаты, полученные изъ сравненія этихъ различныхъ измѣреній, именно, что эллиптичность земли равна почти $\frac{1}{292}$, а наибольшій радіусъ (CA на фиг. 78) немного меньше 21.000.000 футовъ или 4.000 миль (около 6000 верстъ). Изъ этого слѣдуетъ, что на широтѣ Лондона градусъ содержитъ (употребляя удачное мнемоническое выраженіе Джона Гершеля) почти столько же тысячъ футовъ, сколько въ году заключается дней.

222. Мы уже упоминали о первенствѣ Гринвичской обсерваторіи въ области точнаго наблюденія въ теченіе XVIII вѣка. Однако, и Франція дала въ этотъ періодъ великаго астронома-наблюдателя, который многое совершилъ, а при болѣе благопріятныхъ внѣшнихъ условіяхъ могъ бы, пожалуй, соперничать съ Брадлеемъ.

Николай Луи де Лакайль родился въ 1713 году. Потративъ значительное время на занятія богословіемъ въ цѣляхъ подготовки къ духовной карьерѣ, онъ заинтересовался математикой и астрономіей. Его представили Жаку Кассини, и вскорѣ онъ

назначенъ былъ въ ассистенты Парижской обсерваторіи.

Въ 1738 и двухъ слѣдующихъ годахъ онъ принималъ дѣятельное участіе во французскомъ градусномъ измѣреніи, въ то время находившемся въ стадіи провѣрки. Во время этихъ занятій его назначили (1739) профессоромъ въ коллегію Мазарини, при которой сооружена была небольшая обсерваторія, и опредѣлили ему ничтожный окладъ. Здѣсь онъ обязанъ былъ всякую ясную ночь цѣликомъ проводить въ наблюденіяхъ, и, чтобы «съ пользой наполнить часы досуга, слишкомъ часто доставляемые наблюдателю дурной погодой», онъ предпринялъ массу обширныхъ вычисленій разнообразнаго свойства и писалъ безчисленные ученые мемуары. Неудивительно, поэтому, что онъ умеръ сравнительно рано (1762) и что смерть его молва приписывала переутомленію.

223. Однообразіе внѣшней жизни Лакайля нарушено было ученой экспедиціей на мысъ Доброй Надежды (1750—1754), организованной Академіей Наукъ и порученной его руководительству.

Самымъ важнымъ дѣломъ этой экспедиціи было систематическое обозрѣніе южнаго неба, во время котораго подвергнуто было наблюденію свыше 10.000 звѣздъ.

Эти наблюденія, вмѣстѣ съ тщательно исполненнымъ каталогомъ около 2000 звѣздъ[1]) и звѣздной картой, были обнародованы послѣ смерти Лакайля

---

[1]) Для остальныхъ 8000 звѣздъ Лакайль не сдѣлалъ «редукціи». Полный каталогъ всѣхъ 10.000 звѣздъ въ «редуцированной» формѣ былъ впервые обнародованъ Британскимъ Обществомъ въ 1845 году.

въ 1763 году подъ заглавіемъ *Coelum Australe Stelliferum* (южное звѣздное небо) и совершенно затмили собой гораздо меньшій по объему и менѣе точный каталогъ Галлея (§ 199). Лакайль нашелъ необходимымъ составить 14 новыхъ созвѣздій (названія нѣкоторыхъ были впослѣдствіи оставлены) и возвратить на старое мѣсто звѣзды, которыя Галлей помѣстилъ въ созвѣздіе Дуба короля Карла, вѣроятно, изъ вѣрноподданническаго чувства. Мимоходомъ Лакайль наблюдалъ и описалъ 42 туманности, туманныя звѣзды и звѣздныя кучи, систематическое изученіе которыхъ составляетъ одну изъ важнѣйшихъ заслугъ Гершеля (гл. XII, §§ 259—261).

Онъ произвелъ много наблюденій надъ маятникомъ на островѣ св. Маврикія и на мысѣ Доброй Надежды, съ обычной цѣлью — опредѣлить въ новомъ уголкѣ земного шара ускореніе силы тяжести, и измѣрилъ дугу меридіана протяженіемъ гораздо болѣе градуса. Кромѣ того, онъ тщательнымъ образомъ наблюдалъ положенія Марса и Венеры, желая получить параллаксъ солнца изъ сравненія этихъ наблюденій съ одновременными наблюденіями произведенными въ сѣверныхъ широтахъ (гл. VIII, § 161). Эти наблюденія Марса, будучи сравнены съ наблюденіями Брадлея и другихъ, сдѣланными въ Европѣ, равно какъ и наблюденія Венеры, дали солнечный параллаксъ немного больше 10″, — результатъ, менѣе точный, нежели Кассиніевъ (гл. VIII, § 161), хотя и добытый болѣе надежными способами.

Огромное число лунныхъ наблюденій, изъ которыхъ значительная часть была сдѣлана на мысѣ

Доброй Надежды, послужила къ болѣе точной оцѣнкѣ разстоянія луны, разумѣется, послѣ тщательной обработки вопроса, причемъ взята была въ соображеніе и сфероидальная форма земли; эта оцѣнка впервые была обнародована въ 1761 г.

Своими наблюденіями надъ неподвижными звѣздами Лакайль воспользовался еще для расширенія нашихъ свѣдѣній объ атмосферической рефракціи; онъ получилъ значительное число наблюденій солнца въ той части его орбиты, которую оно проходитъ въ наши зимніе мѣсяцы (лѣто южнаго полушарія), когда оно стоитъ слишкомъ низко надъ горизонтомъ, чтобы его можно было удовлетворительно наблюдать въ Европѣ.

Результаты этой экспедиціи — одной изъ самыхъ плодотворныхъ ученыхъ экспедицій, когда-либо предпринимавшихся — обнародованы были въ отдѣльныхъ мемуарахъ и вошли въ различныя книги, изданныя по возвращеніи Лакайля въ Парижъ.

224. Въ 1757 году появился, подъ названіемъ *Astronomiae Fundamenta*, каталогъ 400 наиболѣе яркихъ звѣздъ, наблюдавшихся и редуцированныхъ самымъ тщательнымъ образомъ, такъ что, даже несмотря на крайнюю скудость инструментовъ Лакайля, каталогъ этотъ на много превзошелъ каталоги его предшественниковъ, и только наблюденія Брадлея, по мѣрѣ ихъ постепеннаго обнародованія, оказывались лучше его. Отлично характеризуетъ безкорыстную натуру Лакайля то обстоятельство, что онъ не продавалъ, какъ обыкновенно водилось, но безплатно раздавалъ экземпляры каталога всѣмъ, кто интересовался предметомъ; а для покрытія издержекъ по его напечатанію онъ

занимался составленіемъ астрономическихъ календарей.

Послѣ его смерти изданъ былъ еще одинъ каталогъ, заключавшій въ себѣ свыше 500 звѣздъ зодіакальной области.

Въ 1758 году онъ издалъ великолѣпный рядъ солнечныхъ таблицъ, основанныхъ на массѣ наблюденій и вычисленій. Онѣ замѣчательны тѣмъ, что въ нихъ впервые взяты были въ соображеніе планетныя возмущенія.

Изъ мелкихъ услугъ, оказанныхъ Лакайлемъ астрономіи, нужно упомянуть: объ улучшенныхъ методахъ опредѣленія кометныхъ орбитъ и о фактическомъ вычисленіи орбитъ огромнаго числа кометъ, занесенныхъ въ лѣтописи астрономіи, о вычисленіи всѣхъ затменій, доступныхъ наблюденію въ Европѣ съ 1 года по Р. Х.; онъ указалъ, что прохожденіе Венеры можетъ дать гораздо менѣе точные результаты, чѣмъ ожидалъ Галлей (§ 202), наблюдалъ прохожденіе 1761 года (§ 227), внесъ нѣкоторыя улучшенія въ методы вычисленія и пользованія наблюденіями.

При оцѣнкѣ огромной массы работъ, совершенныхъ Лакайлемъ въ теченіе почти 22-лѣтней астрономической дѣятельности, необходимо помнить, что на его обсерваторіи имѣлись лишь инструменты средняго качества и ни одного ассистента и что значительную часть своего времени ему приходилось тратить на добываніе средствъ къ жизни и на обязательныя работы.

225 Въ разсматриваемый нами періодъ и Германія дала астронома, главнымъ образомъ, наблюдателя, съ большими заслугами, *Товію Майера* (1723—

1762). Въ 1751 году онъ былъ назначенъ профессоромъ математики и политической экономіи въ Геттингенъ, вѣроятно, съ оговоркой, что ему не вмѣнять въ обязанность читать послѣдній предметъ, котораго, повидимому, онъ не зналъ; три года спустя, ему поручена была обсерваторія, сооруженная 20 годами раньше. Онъ располагалъ, по крайней мѣрѣ, однимъ превосходнымъ инструментомъ [1]) и, слѣдуя примѣру Тихо, Флэмстида и Брадлея, старательно изучилъ его погрѣшности; онъ полнѣе всѣхъ своихъ предшественниковъ разработалъ теорію поправокъ, вводимыхъ въ результаты наблюденій для освобожденія ихъ отъ погрѣшностей инструментовъ [2]).

Онъ улучшилъ солнечныя таблицы Лакайля и составилъ каталогъ 998 зодіакальныхъ звѣздъ, изданный послѣ его смерти, въ 1775 году; сравнивая положенія звѣздъ, записанныя Ремеромъ (1706), съ наблюденіями Лакайля и своими собственными, онъ убѣдился въ существованіи значительнаго числа собственныхъ движеній (§ 203); кромѣ того, онъ сдѣлалъ массу другихъ, для насъ менѣе интересныхъ, дополненій къ астрономическимъ знаніямъ своего времени.

226. Но самыя важныя работы Майера касались луны. Въ началѣ своей дѣятельности онъ занялся тщательнымъ изученіемъ положенія кратеровъ и другихъ отмѣтинъ луннаго диска, благодаря чему ему удалось найти полное геометрическое объясне-

---

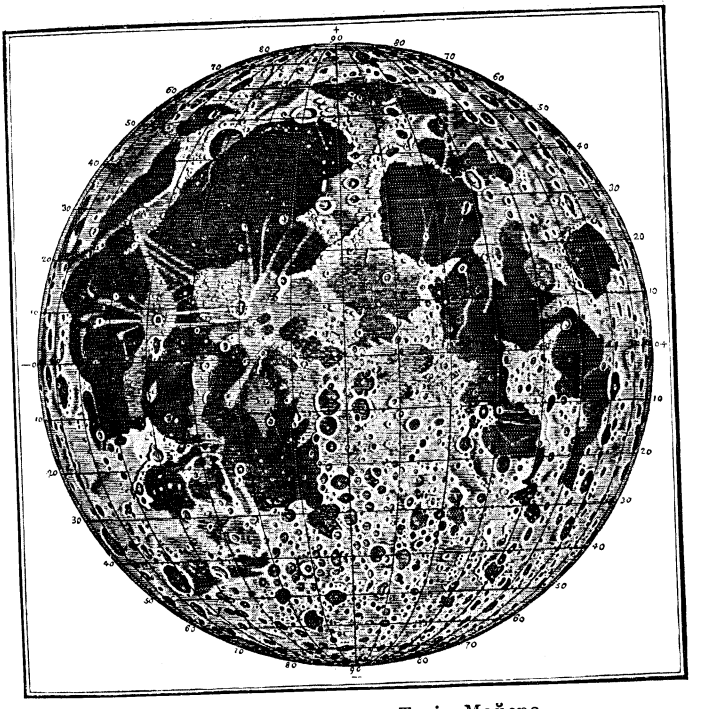
[1]) Стѣнной квадрантъ.

[2]) Ему въ существенной мѣрѣ принадлежитъ теорія погрѣшностей: коллимаціи, наклоненія и азимута пассажнаго инструмента, упоминаемая въ руководствахъ сферической и практической астрономіи.

не различнымъ либраціямъ луны (гл. VI, § 133) и въ точности установить положеніе оси, около которой луна вращается. Въ 1775 году, на ряду съ другими посмертными трудами, была издана составленная имъ на основаніи собственныхъ наблюденій карта луны.

Гораздо больше важности представляетъ, однако, его лунная теорія и основанныя на ней таблицы Глубокій математическій интересъ, представляемый проблемой движенія луны, и ея практическое значеніе для опредѣленія долготы заставляли астрономовъ XVIII вѣка съ особеннымъ вниманіемъ относиться къ этому вопросу. Далѣе, стимуломъ къ изслѣдованіямъ въ этомъ направленіи послужили, между прочимъ, преміи, предложенныя въ 1713 году британскимъ правительствомъ за методъ нахожденія долготы на морѣ, именно 20.000 фунтовъ (120.000 рублей по тогдашнему курсу) за методъ, точный до полуградуса, и меньшія суммы за методы меньшей точности.

Всѣ великіе математики этого періода пытались вывести лунныя движенія изъ принциповъ тяготѣнія. Майеръ разработалъ теорію по методамъ Эйлера (гл. XI, § 233), но гораздо самостоятельнѣе и искуснѣе пользовался наблюденіями для опредѣленія различныхъ числовыхъ данныхъ, которыхъ чистая теорія или совсѣмъ не давала, или давала результаты сомнительнаго свойства. Ему удалось вычислить лунныя таблицы (изданы вмѣстѣ съ солнечными въ 1753 году), являвшіяся значительнымъ шагомъ впередъ по сравненію съ прежними. По дальнѣйшемъ усовершенствованіи, онъ отослалъ ихъ въ Англію въ 1755 году. Брадлей, которому адми-



Фиг. 79. Карта луны Товіи Майера.

(Къ стр. 396).

ралтейство поручило просмотрѣть ихъ, съ похвалой отозвался о ихъ точности; а нѣсколько лѣтъ спустя, внеся въ таблицы нѣкоторыя измѣненія на основаніи собственныхъ наблюденій, онъ рекомендовалъ адмиралтейству методъ опредѣленія долготы, основанный на пользованіи этими таблицами; онъ считалъ, что этотъ методъ даетъ возможность опредѣлять долготу съ погрѣшностью, въ общемъ не превышающей полуградуса.

Но прежде, чѣмъ были достигнуты какіе-нибудь рѣшительные результаты, Майеръ безвременно скончался, въ возрастѣ 39 лѣтъ, оставивъ послѣ себя рядъ новыхъ таблицъ, въ свою очередь посланныхъ въ Англію. Наконецъ, въ 1765 году его вдовѣ была уплачена сумма въ 3000 фунтовъ (18.000 рублей); и его *Теорія луны* [1]), и усовершенствованныя солнечныя и лунныя таблицы были изданы въ 1770 году на счетъ Бюро долготъ. Послѣдующее изданіе, исправленное бывшимъ ассистентомъ Брадлея *Чарльзомъ Масономъ* (1730—1787), появилось въ 1787 году.

Премія была выдана и Эйлеру за теоретическую работу; 3000 и затѣмъ еще 10.000 фунтовъ было выдано *Джону Гаррисону* за усовершенствованный хронометръ, давшій возможность пользоваться совсѣмъ особеннымъ способомъ опредѣленія долготы (гл. VI, § 127).

227. Астрономы XVIII вѣка имѣли два случая воспользоваться прохожденіемъ Венеры для опредѣленія разстоянія солнца по совѣту Галлея (§ 202).

Прохожденіе Венеры по диску солнца предста-

---

[1]) Заглавная страница помѣчена 1767 годомъ; но достовѣрно извѣстно, что книга была въ дѣйствительности выпущена въ свѣтъ лишь три года спустя.

вляетъ собой явленіе такого же характера, какъ и затменіе солнца луной, съ той существенной разницей, что кажущаяся величина планеты слишкомъ ничтожна, чтобы произвести замѣтное потемнѣніе солнечнаго диска; она представляется лишь крошечнымъ чернымъ пятнышкомъ на яркой поверхности солнца.

Если бы путь Венеры лежалъ въ плоскости эклиптики, тогда при всякомъ нижнемъ соединеніи, что случается разъ въ 584 дня, она непремѣнно становилась бы между землей и солнцемъ и кажущимся образомъ проходила бы по его диску. Но такъ какъ орбиты Венеры и земли наклонены одна къ другой, то въ нижнихъ соединеніяхъ Венера обыкновенно приходится настолько «выше» или «ниже» эклиптики, что прохожденіе не можетъ имѣть мѣста. При настоящемъ наклонѣ орбитъ, измѣняющимся отъ пертурбацій лишь очень медленно и постепенно, прохожденія Венеры случаются парами съ восьмилѣтними промежутками, причемъ между послѣднимъ прохожденіемъ одной пары и первымъ прохожденіемъ слѣдующей протекаетъ попеременно $105\frac{1}{2}$ и $121\frac{1}{2}$ лѣтъ. Такимъ образомъ, прохожденія наблюдались въ декабрѣ 1631 года и 1639, въ іюнѣ 1761 и 1769, въ декабрѣ 1874 и 1882, и снова произойдутъ въ 2004, 2012, 2117 и 2125 годахъ и т. п.

Методъ нахожденія разстоянія солнца изъ прохожденій Венеры въ существенныхъ чертахъ не отличается отъ метода, основаннаго на наблюденіяхъ Марса (гл. VIII, § 161).

Въ обоихъ случаяхъ наблюдатель преслѣдуетъ одну и ту же цѣль: получить разницу въ направленіяхъ планеты, наблюдаемой съ двухъ различныхъ

пунктовъ земного шара. Венера, однако, будучи ближайшей сосѣдкой земли, обыкновенно занимаетъ въ небѣ положеніе, слишкомъ близкое къ солнцу, чтобы ее можно было подвергнуть тщательному и точному наблюденію; во время же прохожденія солнечный дискъ играетъ какъ бы роль циферблата, на которомъ можно отмѣчать положеніе планеты. Кромѣ того, измѣреніе мельчайшихъ угловъ — искусство, въ XVIII вѣкѣ мало развитое — можно въ данномъ случаѣ замѣнить измѣреніемъ времени, именно разницы между моментами вступленія (или выступленія) Венеры на край солнечнаго диска на различныхъ станціяхъ; по разницѣ въ продолжительности прохожденія на двухъ станціяхъ безъ труда можно опредѣлить и разность направленій и, такимъ образомъ, вычислить разстояніе Венеры и солнца [1]).

Къ прохожденіямъ 1761 и 1769 годовъ различныя правительства, академіи и частныя лица готовились, не жалѣя самыхъ грандіозныхъ затратъ. Для наблюденія перваго прохожденія были организованы экспедиціи въ Тобольскъ, на остр. Святой Елены, на мысъ Доброй Надежды и въ Индію; въ то же время астрономы производили свои наблюденія въ Гринвичѣ, Парижѣ, Вѣнѣ, Упсалѣ, словомъ — по всей Европѣ. Слѣдующее прохожденіе наблюдалось еще въ болѣе широкихъ размѣрахъ; станціи тянулись отъ Сибири до Калифорніи, отъ Варангеръ-Фіорда

---

[1]) Болѣе подробную теорію прохожденій Венеры можно найти въ *Популярной астрономіи* Эйри и *Астрономія въ общепонятномъ изложеніи* Ньюкомба.

Послѣдняя книга имѣется въ русскомъ переводѣ, въ изданіи Риккера, 1896 года.

Прим. переводч.

до Отаити (гдѣ находился знаменитый капитанъ Кукъ) и отъ Гудсонова залива до Мадраса [1]).

Экспедиціи, снаряженныя для этой цѣли американскимъ Философскимъ Обществомъ, можно считать первымъ вкладомъ Америки въ науку, которая столь многимъ ей обязана въ настоящее время; императрица Екатерина II доказала цивилизованность своего государства организаціей множества наблюдательныхъ станцій въ Россіи.

Результаты оказались въ гораздо большемъ согласіи съ предчувствіями Лакайля, нежели съ надеждами Галлея. Масса разнообразныхъ причинъ лишала возможности съ желаемой степенью точности отмѣтить моментъ прикосновенія дисковъ Венеры и солнца. Отбирая различныя наблюденія и внося поправки на вѣроятные источники погрѣшности, вычислители получали несогласные между собой результаты. Оцѣнки солнечнаго параллакса (гл. VIII, § 161), полученныя изъ перваго про-

---

[1]) Въ *Exposition du Système du Monde* Лапласъ сообщаетъ слѣдующій случай. Въ 1760 году изъ Франціи отправился въ Индію астрономъ Лежантиль, съ цѣлью наблюдать прохожденіе Венеры 1761 года. Въ дорогѣ корабль его (по политическимъ затрудненіямъ) замѣшкался, и онъ прибылъ въ Индію послѣ прохожденія. Лежантиль остался ждать слѣдующаго прохожденія, 1769 года, къ наблюденію котораго самымъ дѣятельнымъ образомъ готовился всѣ 8 лѣтъ. Желанный день насталъ. Тучи, не сходившія съ горизонта всѣ предыдущіе дни, начинаютъ разсѣиваться, и за нѣсколько минутъ до начала явленія небо почти все прояснилось. Но въ самый моментъ прохожденія набѣжало шальное облачко и скрыло солнце отъ глазъ злополучнаго астронома. Эта неудача столь сильно на него подѣйствовала, что онъ, какъ передаютъ, скончался вскорѣ по прибытіи во Францію, гдѣ его, какъ безвѣстно отсутствующаго, ожидала гражданская смерть.

Прим. переводч.

хожденія, колебались между 8″ и 10″; оцѣнки изъ наблюденія 1769 года, хотя и болѣе вѣроятныя, все же колебались между 8″ и 9″, что соотвѣтствуетъ разницѣ въ разстояніи солнца почти на 10.000.000 миль (15 милліоновъ верстъ).

Всѣ эти наблюденія были тщательно обработаны въ 1822—1824 годахъ, и вторично въ 1835 году *Іоганномъ Францемъ Энке* (1791—1865), который вывелъ изъ нихъ параллаксъ въ 8″,571, соотвѣтствующій разстоянію въ 95.370.000 миль — число, долго считавшееся классическимъ. Сомнительность этой данной явствуетъ, однако, изъ того обстоятельства, что другіе не менѣе компетентные астрономы получали изъ тѣхъ же наблюденій 1769 года параллаксы въ 8″,8 и 8″,9.

Мы еще ничего не говорили о Вильямѣ Гершелѣ, быть можетъ, славнѣйшемъ изъ всѣхъ наблюдателей, дѣятельность котораго падаетъ, главнымъ образомъ, на послѣднюю четверть XVIII вѣка и начало XIX. Но такъ какъ труды его существеннымъ образомъ отличаются отъ работъ всѣхъ почти астрономовъ XVIII вѣка и дали могущественный толчокъ развитію отрасли астрономіи, до того почти неизвѣстной, то мы и сочли удобнымъ отложить разсмотрѣніе ихъ до одной изъ слѣдующихъ главъ (XII).

ГЛАВА XI.

Астрономія тяготѣнія въ XVIII столѣтіи.

«Астрономія, разсматриваемая съ наиболѣе общей точки зрѣнія, есть великая проблема механики, произвольныя постоянныя которой составляютъ элементы небесныхъ движеній; рѣшеніе ея зависитъ какъ отъ точности наблюденій, такъ и отъ совершенства анализа».

Лапласъ. Предисловіе къ *Небесной механикѣ*.

228. Въ началѣ XVIII вѣка въ солнечной системѣ насчитывали 18 признанныхъ членовъ: солнце, шесть планетъ, десять спутниковъ (одинъ около земли, четыре около Юпитера и пять около Сатурна) и кольцо Сатурна.

Относительно кометъ извѣстно было, что онѣ весьма нерѣдко попадаютъ въ область, занимаемую солнечной системой, и были основанія предполагать, что, по крайней мѣрѣ, одна изъ нихъ (гл. X, § 200) правильно посѣщаетъ насъ; но едва ли ихъ признавали членами солнечной семьи; возможность же вліянія кометъ на какое-нибудь тѣло солнечной системы совершенно игнорировалась, и послѣдующія изысканія вполнѣ оправдали это пренебреженіе. Наблюдались тысячи звѣздъ и опредѣлялись ихъ положенія на небесной сферѣ; знали, что онѣ отстоятъ на громадныхъ, хотя и неизвѣстныхъ разстояніяхъ отъ солнечной системы, а вліяніе ихъ на нее считалось неощутительнымъ.

Движенія 18 членовъ солнечной системы изучены были довольно сносно; дѣйствительныя разстоянія ихъ другъ отъ друга извѣстны были приблизительно, отношенія же между многими разстояніями измѣрены съ значительной точностью. Кромѣ вполнѣ аномальнаго кольца Сатурна, которымъ мы теперь не будемъ заниматься, большинство тѣлъ системы обнаруживало при наблюденіи почти шарообразную форму, а за остальными таковая предполагалась.

Ньютонъ съ огромной степенью вѣроятности показалъ, что всѣ эти тѣла притягиваютъ другъ друга по закону тяготѣнія; и не было основанія думать, что они оказываютъ какое-нибудь иное важное вліяніе на взаимныя движенія [1]).

Назрѣвшая, такимъ образомъ, проблема, которую съ удобствомъ можно назвать проблемой Ньютона, гласила слѣдующее:

Даны 18 тѣлъ, ихъ положенія и движенія въ данное время; вывести изъ взаимныхъ притяженій помощью математическаго вычисленія ихъ положенія и движенія для любого даннаго момента и показать, что они согласуются съ дѣйствительными наблюденіями.

Въ такое вычисленіе необходимо должны войти, между прочими величинами, и массы различныхъ тѣлъ; очевидно, было бы вполнѣ законнымъ брать эти послѣднія по произволу такимъ образомъ, чтобы привести результаты вычисленія въ согласіе съ

---

[1]) Нѣкоторыя иныя вліянія извѣстны — напримѣръ, солнечная теплота производитъ различныя движенія въ нашемъ воздухѣ и водѣ и оказываетъ опредѣленное, хотя и микроскопическое вліяніе на скорость вращенія земли, и, можетъ быть, оказываетъ подобное же вліяніе и на другія тѣла.

наблюденіями. Если бы это удалось, то этимъ опредѣлились бы массы. Точно такъ же можно измѣнять по произволу ходячія оцѣнки величинъ и формы тѣлъ солнечной системы, если только это не противорѣчитъ дѣйствительнымъ наблюденіямъ.

Къ счастью, формулированную выше общую проблему можно свести на нѣсколько болѣе простыхъ.

Ньютонъ показалъ (гл. IX, § 183), что обыкновенный шаръ притягиваетъ другія тѣла и самъ ими притягивается такъ, какъ если бы вся масса его была сосредоточена въ центрѣ, и что вліяніе уклоненія тѣла отъ правильной шарообразности становится крайне ничтожнымъ на значительномъ разстояніи отъ тѣла. Значитъ, за исключеніемъ особыхъ случаевъ, тѣла солнечной системы можно принимать за правильные шары, масса которыхъ, въ свою очередь, можетъ считаться сосредоточенной въ ихъ центрахъ. Для краткости примемъ разъ навсегда, что всѣ тѣла, о которыхъ мы будемъ говорить, принадлежатъ къ этому разряду тѣлъ, если, разумѣется, не будетъ оговорено, либо подразумѣваться, обратное. Вліяніе уклоненія отъ шарообразности можно будетъ, въ случаѣ надобности, разсмотрѣть отдѣльно, какъ, напримѣръ, въ случаѣ прецессіи или другихъ движеній планеты или спутника около своего центра и соотвѣтственнаго вліянія несферической планеты на своихъ спутниковъ; къ этой группѣ задачъ относится также вопросъ о приливахъ и другихъ случаяхъ движенія частей тѣла какой бы то ни было формы относительно другихъ частей.

Съ другой стороны, солнечная система такъ устроена, что движеніе каждаго тѣла можно опре-

дѣлять первично относительно только одного изъ остальныхъ тѣлъ. Планета, напримѣръ, движется почти такъ, какъ если бы иныхъ тѣлъ, кромѣ солнца, не существовало, а движеніе луны относительно земли приблизительно таково же, какъ если бы не существовало остальныхъ тѣлъ солнечной системы.

Задача движеній двухъ взаимно притягивающихся шаровъ была вполнѣ разрѣшена Ньютономъ, получившимъ изъ нея, какъ было показано, два первыхъ закона Кеплера. Отнынѣ всякое тѣло солнечной системы можно было считать движущимся почти по эллипсу вокругъ какого-нибудь другого тѣла, при этомъ, однако, слегка возмущаемымъ вліяніями другихъ тѣлъ. Кромѣ того, по общему математическому принципу, приложимому ко всѣмъ задачамъ движенія, дѣйствіе массы мелкихъ возмущающихъ причинъ, вліяющихъ сообща, почти равно суммѣ ихъ отдѣльныхъ вліяній. Поэтому, можно безъ большой ошибки считать всякое тѣло находящимся подъ возмущающимъ вліяніемъ одного только тѣла въ извѣстный моментъ; различныя возмущающія вліянія можно впослѣдствіи сложить и произвести новое вычисленіе въ цѣляхъ дальнѣйшаго уменьшенія ошибки. Ядро ньютоновой проблемы оказывается, такимъ образомъ, частнымъ случаемъ такъ-называемой **задачи о трехъ тѣлахъ**:

Для извѣстнаго момента даны положенія и движенія трехъ взаимно притягивающихся тѣлъ; опредѣлить ихъ положенія и движенія для любого даннаго момента.

Даже и въ этой, повидимому, простой формѣ упомянутая задача въ своемъ общемъ видѣ совершенно превосходитъ силы не только математическихъ ме-

тодовъ начала XVIII вѣка, но и всѣхъ, позднѣе изобрѣтенныхъ. Были, правда, рѣшены нѣкоторые частные случаи, такъ что оказалось возможнымъ придумать такія начальныя движенія трехъ тѣлъ, что ихъ движенія на будущее время вполнѣ опредѣлялись. Но эти случаи не существуютъ въ природѣ.

Для солнечной системы задача упрощается не только вышеприведеннымъ допущеніемъ, что одно изъ трехъ тѣлъ всегда можно считать оказывающимъ лишь ничтожное вліяніе на относительныя движенія двухъ остальныхъ, но и тѣмъ обстоятельствомъ, что орбиты планетъ и спутниковъ немногимъ отличаются отъ круговъ и что плоскости ихъ орбитъ ни въ одномъ случаѣ не наклонены другъ къ другу, или къ эклиптикѣ, подъ большими углами; другими словами, что ихъ эксцентрицитеты и наклоненія суть величины малыя.

Въ этомъ упрощенномъ видѣ задача оказалась доступной весьма точнымъ рѣшеніямъ по методамъ приближенія [1].

Въ системѣ, образуемой солнцемъ, землей и луной, характерной особенностью является огромное разстояніе солнца, возмущающаго тѣла, отъ остальныхъ двухъ; въ системѣ солнца и двухъ планетъ важнымъ факторомъ является масса солнца, чрезвычайно огромная по сравненію съ возмущающей силой планетъ. Отсюда проистекаетъ различіе методовъ, примѣняемыхъ къ каждому случаю, и развиваются двѣ существенно отличныя отрасли пред-

---

[1]) Ариѳметическіе процессы полученія цифры за цифрой безконечной десятичной дроби или квадратнаго корня представляютъ собой простѣйшіе случаи метода послѣдовательнаго приближенія.

мета — **лунная теорія** и планетная георія. Задачи, поставляемыя движеніями спутниковъ Юпитера, хотя и соприкасаются съ лунной теоріей, однако, отличаются отъ нея во многихъ важныхъ отношеніяхъ и обыкновенно разсматриваются отдѣльно.

229. Какъ мы видѣли, Ньютонъ уже былъ на пути къ разрѣшенію своей проблемы, но въ Англіи ему не нашлось достойныхъ послѣдователей. Да и на континентѣ прогрессъ вначалѣ двигался очень медленнымъ шагомъ. *Начала* прочитывались и вызывали восхищеніе у большинства первоклассныхъ математиковъ того времени, но заключенные въ нихъ принципы не получили признанія, и картезіанская философія попрежнему занимала господствующее положеніе. Первымъ шагомъ впередъ былъ изданный въ 1720 году Парижской Академіей Наукъ мемуаръ *Шевалье де Лувилля* (1671—1732), въ основу котораго положены были принципы Ньютона; десять лѣтъ спустя, Академія наградила премiей работу о планетныхъ движеніяхъ, написанную *Жаномъ Бернулли* (1667—1748) по картезіанскимъ принципамъ; ньютоніанская работа осталась на второмъ планѣ. Въ 1732 году Мопертюи (гл. X, § 221) обнародовалъ трактатъ о фигурѣ земли въ духѣ Ньютона, а появившіеся шесть лѣтъ спустя *Элементы философіи Ньютона,* въ блестящемъ общепонятномъ изложеніи Вольтера, сыграли громадную роль въ популяризаціи новыхъ идей. Послѣдній актъ оффиціальнаго признанія картезіанства во Франціи относится, повидимому, къ 1740 году, когда предложенная Академіей премія за опытъ о приливахъ была подѣлена между картезіанцемъ и тремя знаменитыми ньютоніанцами (§ 230).

Быстрое развитіе астрономіи тяготѣнія въ періодъ между этой эпохой и началомъ XIX вѣка является почти всецѣло плодомъ усилій пяти великихъ математиковъ континента — Эйлера, Клеро, Даламбера, Лагранжа и Лапласа, изъ коихъ старѣйшій родился въ 1707, а самый младшій умеръ въ 1827 году, черезъ мѣсяцъ послѣ столѣтней годовщины смерти Ньютона. Эйлеръ былъ родомъ изъ Швейцаріи, а Лагранжъ — итальянецъ по рожденію, но французъ по происхожденію и въ значительной мѣрѣ по усыновленію, остальные трое были чистокровные французы. Почти во все XVIII столѣтіе французы безраздѣльно царствовали въ области астрономіи тяготѣнія и не утратили этого господства и понынѣ, хотя въ истекшемъ столѣтіи Америка, Англія, Германія, Италія и другія страны съ своей стороны сдѣлали не мало существенныхъ вкладовъ въ эту науку.

Для большаго удобства мы сначала разсмотримъ труды трехъ первыхъ изъ вышепоименованныхъ астрономовъ, послѣ чего перейдемъ къ Лагранжу и Лапласу, поставившимъ астрономію тяготѣнія на значительно высшую ступень развитія, нежели ихъ предшественники.

230. *Леонардъ Эйлеръ* родился въ Базелѣ, въ 1707 году, 14 годами позже Брадлея и шестью годами раньше Лакайля. Онъ былъ сынъ протестантскаго пастора, изучавшаго математику подъ руководствомъ *Якова Бернулли* (1654—1705), перваго изъ знаменитой фамиліи математиковъ. Самъ Леонардъ Эйлеръ былъ любимымъ ученикомъ Іоанна Бернулли (младшій братъ Якова) и состоялъ въ тѣсныхъ дружескихъ отношеніяхъ съ двумя его сы-

новьями, одинъ изъ которыхъ, *Даніилъ* (1700—1782), былъ не только выдающимся математикомъ, подобно дядѣ и отцу, но и первымъ виднымъ приверженцемъ ученія Ньютона за предѣлами Англіи. Подобно многимъ астрономамъ, Эйлеръ началъ съ изученія теологіи, но подъ давленіемъ личныхъ склонностей, а главное, подъ вліяніемъ Бернулли, обратился къ математикѣ. По протекціи Даніила Бернулли, незадолго до того получившаго назначеніе профессоромъ въ С.-Петербургъ, Эйлеръ получилъ и принялъ приглашеніе во вновь учрежденную С.-Петербургскую Академію Наукъ (1727). Эта первая должность соединялась съ приличнымъ окладомъ, обязанности же, ей присущія, состояли въ общемъ развитіи и поощреніи наукъ; впослѣдствіи Эйлеръ занялся болѣе опредѣленнымъ профессорскимъ трудомъ, но главныя силы въ теченіе всей своей жизни посвящалъ писанію математическихъ работъ, большая часть которыхъ была издана С.-Петербургской Академіей. Хотя онъ не вмѣшивался въ политику, однако, тогдашнее правительство недоброжелательно относилось къ нему, какъ къ протестанту; въ 1741 году онъ получилъ приглашеніе отъ Фридриха Великаго, въ Берлинъ, для участія въ преобразованіи тамошней Академіи Наукъ. Когда королева однажды упрекнула его въ молчаливости и угрюмости, онъ въ оправданіе замѣтилъ, что недавно только прибылъ изъ страны, гдѣ словоохотливость не поощряется; но, несмотря на это, онъ сохранялъ хорошія отношенія съ русскимъ дворомъ и продолжалъ получать свой окладъ въ качествѣ члена С.-Петербургской Академіи и сотрудничалъ въ ея запискахъ. Мало того, послѣ 25 лѣтъ,

проведенныхъ въ Берлинѣ, онъ уступилъ усиленнымъ просьбамъ императрицы Екатерины II и возвратился въ Россію (1766).

Въ 1735 году онъ ослѣпъ на одинъ глазъ, и это несчастіе лишь вызвало у него замѣчаніе, что теперь онъ меньше будетъ отвлекаться отъ математики; вскорѣ по возвращеніи въ Россію онъ ослѣпъ и на другой глазъ и, за вычетомъ короткаго промежутка, въ теченіе котораго могъ немного пользоваться однимъ глазомъ послѣ сдѣланной ему операціи, до конца жизни оставался слѣпымъ. Но это обстоятельство мало вліяло на изумительно богатую научную дѣятельность Эйлера; и только послѣ 17 лѣтъ слѣпоты, вслѣдствіе апоплексическаго удара, «онъ пересталъ жить и вычислять» (1783).

Эйлеръ былъ, быть можетъ, искуснѣйшій и плодовитѣйшій математикъ всѣхъ временъ. Едва ли найдется какой-нибудь отдѣлъ современнаго анализа, въ который онъ не сдѣлалъ бы крупныхъ вкладовъ, а необычайной способности его къ изобрѣтенію и примѣненію методовъ вычисленія нашлось успѣшное приложеніе въ каждой изъ существовавшихъ тогда отраслей прикладной математики; проблемы абстрактной динамики, оптики, движенія жидкостей и астрономіи онъ одну за другой подвергалъ своему анализу и разрѣшалъ съ успѣхомъ. Объ обширности его писаній можно судить по тому, что помимо нѣсколькихъ книгъ онъ написалъ около 800 статей по вопросамъ математики и физики; вычислено, что полное изданіе его сочиненій заняло бы 25 томовъ in quarto по 600 страницъ въ каждомъ.

Первой астрономической работой Эйлера былъ опытъ о приливахъ, удостоенный части академической преміи 1740 года, о которой мы уже упоминали; другіе два ньютоніанца были Даніилъ Бернулли и Маклоренъ (гл. X, § 196). Ни одинъ, однако, изъ этихъ трехъ математиковъ не рѣшилъ задачи о приливахъ.

Онъ далъ два различныхъ рѣшенія задачи о трехъ тѣлахъ въ формѣ, пригодной для лунной теоріи, и сдѣлалъ много чрезвычайно важныхъ, хотя и не вполнѣ совершенныхъ добавленій къ планетной теоріи. И въ той, и въ другой области работы его настолько тѣсно соприкасаются съ трудами Клеро и Даламбера, что мы считаемъ болѣе удобнымъ разсмотрѣть ихъ вмѣстѣ.

231. *Алексисъ Клодъ Клеро,* родившійся въ Парижѣ въ 1713 году, принадлежитъ къ разряду скороспѣлыхъ геніевъ. Десятилѣтнимъ мальчикомъ онъ уже прошелъ исчисленіе безконечно малыхъ и коническія сѣченія, далѣе, еще не достигши 13-тилѣтняго возраста, представилъ ученый мемуаръ въ Академію Наукъ, а 18 лѣтъ издалъ книгу, заключавшую въ себѣ нѣкоторыя важныя дополненія къ геометріи, чѣмъ и открылъ себѣ доступъ въ Академію.

Вскорѣ послѣ того онъ принималъ участіе въ Лапландской экспедиціи Мопертюи (гл. X, § 221), а въ 1743 году, опубликовавши предварительно нѣсколько статей незначительной важности, выпустилъ свой классическій трудъ о фигурѣ земли. Въ немъ онъ гораздо полнѣе, нежели Ньютонъ или Маклоренъ, разсмотрѣлъ вопросъ о томъ, какую форму приняло бы вращающееся тѣло, вродѣ

земли, подъ вліяніемъ взаимнаго притяженія своихъ частей; относительно же измѣненій въ плотности внутренняго ядра онъ построилъ нѣсколько гипотезъ совершенно новаго характера; для измѣненій ускоренія тяжести въ зависимости отъ широты онъ получилъ формулы, довольно близко согласующіяся съ результатами опытовъ съ маятникомъ.

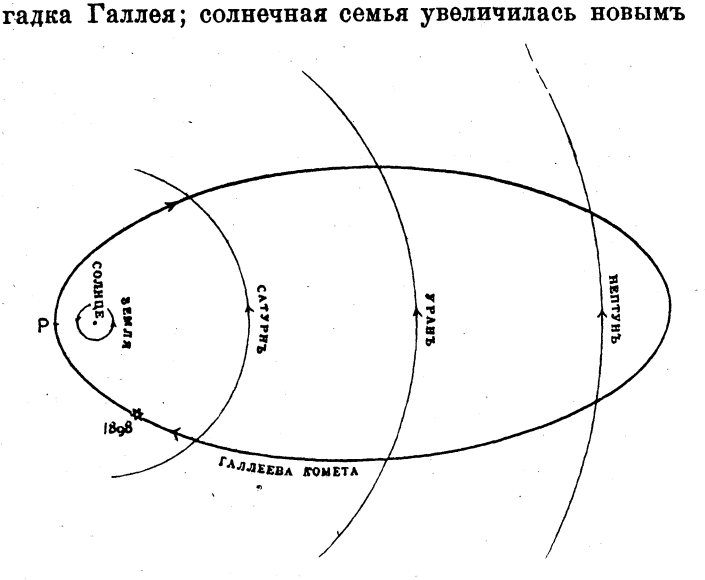
Хотя этотъ предметъ и подвергался болѣе тщательной разработкѣ и болѣе общему разсмотрѣнію со стороны позднѣйшихъ писателей, сдѣлавшихъ съ своей стороны немало дополненій, однако, къ тому, что заключала въ себѣ книга Клеро, не было добавлено ничего существенно важнаго.

Вслѣдъ за тѣмъ онъ устремилъ свое вниманіе на задачу о трехъ тѣлахъ, нашелъ рѣшеніе, пригодное для луны, и нѣсколько подвинулъ впередъ планетную теорію.

Галлеева комета (гл. X, § 200) ожидалась около 1758 года; незадолго до этого времени Клеро взялся вычислить вѣроятныя возмущенія, которыя она могла претерпѣть со времени своего послѣдняго возвращенія, благодаря вліянію двухъ большихъ планетъ, Юпитера и Сатурна, по близости которыхъ она должна была пройти. Чрезвычайно сложное вычисленіе показало, что комета опоздаетъ на 100 дней подъ вліяніемъ Сатурна и на 518 подъ вліяніемъ Юпитера, и въ концѣ 1758 года Клеро увѣдомилъ Академію, что прохожденія кометы черезъ пригелій (точка орбиты, ближайшая къ солнцу, P на фиг. 80) можно ожидать около 13 апрѣля слѣдующаго года, хотя вслѣдствіе различныхъ дефектовъ вычисленія возможна ошибка на мѣсяцъ въ ту или другую сторону. Весь астрономическій міръ

съ нетерпѣніемъ ожидалъ кометы, которая, дѣйствительно, была замѣчена въ Саксоніи любителемъ астрономіи *Георгомъ Паличемъ* (1723—1788), въ день Рождества 1758 года; она прошла черезъ перигелій ровно за мѣсяцъ и день до срока, назначеннаго Клеро.

Такимъ образомъ подтвердилась блестящая догадка Галлея; солнечная семья увеличилась новымъ



Фиг. 80. Путь Галлеевой кометы.

членомъ, и явилась надежда, впослѣдствіи вполнѣ оправдавшаяся, что движенія кометъ и въ другихъ случаяхъ можно будетъ подвести подъ это правило и вычислять по тѣмъ же принципамъ тяготѣнія, которымъ подчиняются остальные члены солнечной системы. Въ то же время сильно поколебались и предразсудки, связанные съ появленіемъ кометы.

Клеро, какъ личность, обладалъ, повидимому, большой привлекательностью и въ парижскомъ

обществѣ являлся крупной величиной. Къ сожалѣнію, силы его не соотвѣтствовали размѣрамъ общественныхъ и научныхъ обязанностей, и онъ скончался въ 1765 году въ возрастѣ, отъ котораго многаго еще можно было ожидать при его необычайныхъ способностяхъ [1]).

232. *Жанъ-ле-Ронъ Д'Аламберъ* найденъ былъ подкинутымъ на ступеняхъ церкви св. Жанъ-ле-Рона въ 1717 году, въ Парижѣ, но впослѣдствіи былъ признанъ и отчасти воспитанъ своимъ отцомъ, хотя роднымъ домомъ считалъ домъ своихъ пріемныхъ родителей. Получивъ прекрасное образованіе въ средней школѣ, онъ занялся изученіемъ права и медицины, но затѣмъ отдался математикѣ. Онъ обратилъ на себя вниманіе въ математическихъ сферахъ статьей, написанной въ 1738 году, а два года спустя допущенъ былъ въ Академію Наукъ. Первой важной его работой былъ *Traité de Dynamique* (1743), въ которомъ онъ, между прочимъ, впервые формулировалъ динамическій принципъ, носящій его имя; являясь въ нѣкоторомъ смыслѣ лишь слѣдствіемъ ньютонова третьяго закона движенія, онъ сыгралъ огромную роль во всѣхъ почти общихъ проблемахъ динамики, какъ астрономическихъ, такъ и иныхъ.

Въ теченіе послѣдующихъ нѣсколькихъ лѣтъ онъ сдѣлалъ много дополненій къ математической физикѣ, равно какъ и къ задачѣ о трехъ тѣлахъ, а въ 1749 напечаталъ свой трудъ о прецессіи и ну-

---

[1]) Долголѣтіе является характерной чертой великихъ математиковъ и астрономовъ: Ньютонъ умеръ на 85 году, Эйлеръ, Лагранжъ и Лапласъ прожили болѣе 75 лѣтъ, а Даламберъ скончался почти на 66 году жизни.

таціи, о которомъ мы уже упоминали (гл. X, § 215). Начиная съ этого времени, онъ все больше и больше отдавался постороннимъ занятіямъ. Въ продолженіе нѣсколькихъ лѣтъ онъ участвовалъ вмѣстѣ съ Дидро въ составленіи знаменитой французской энциклопедіи, издававшейся съ 1751 года и оказавшей столь громадное вліяніе на современную философскую и политическую мысль. Даламберъ написалъ введеніе, которое прочелъ въ 1754 г. во Французской Академіи [1]) по случаю принятія его въ это замѣчательное общество, равно какъ и множество научныхъ и другихъ статей. Во вторую половину жизни, прекратившейся въ 1783 году, онъ мало писалъ по математикѣ, но зато издалъ много книгъ по философскимъ, литературнымъ и политическимъ вопросамъ [2]); въ качествѣ секретаря Академіи онъ написалъ такъ-называемыя похвальныя слова *(éloges)* семидесяти ея членамъ. Такимъ образомъ, по словамъ Карлейля, «онъ обладалъ громадными способностями, особенно же ясностью метода; былъ знаменитъ въ математикѣ; не менѣе того, къ удивленію нѣкоторыхъ, въ изящныхъ сферахъ литературы».

Даламберъ и Клеро были соперники, и почти всякая работа одного строго критиковалась другимъ, хотя, впрочемъ, Клеро дѣлалъ это съ меньшимъ усердіемъ и страстностью. Громадная популярность, которую Клеро снискалъ своей работой

[1]) Это общество, первоначально основанное въ литературныхъ цѣляхъ, слѣдуетъ отличать отъ менѣе знаменитой Парижской Академіи Наукъ, о которой мы часто упоминаемъ (иногда просто словомъ «Академія») въ этой и предыдущей главѣ.

[2]) Напримѣръ: *Mélanges de Philosophie, de l'Histoire et de Littérature; Elements de Philosophie; Sur la Destruction des Jésuites.*

о галлеевой кометѣ, особенно, кажется, возбуждала зависть Даламбера. Это соперничество, не представляя собой пріятнаго зрѣлища, было, однако, полезно въ томъ отношеніи, что, благодаря ему, подмѣчались и впослѣдствіи исправлялись слабыя мѣста работъ каждаго изъ соперниковъ. Во всѣхъ другихъ отношеніяхъ Даламберъ являлся чрезвычайно привлекательной личностью. При всей своей бѣдности, онъ, однако, не принялъ соблазнительныхъ приглашеній Екатерины II, императрицы русской, и прусскаго короля, Фридриха Великаго, и предпочелъ сохранить свою независимость, хотя поддерживалъ дружескія отношенія съ обоими монархами и получалъ небольшую пенсію отъ послѣдняго. Жилъ онъ чрезвычайно скромно и, несмотря на скудость средствъ, значительную часть ихъ отдавалъ своей пріемной матери, молодымъ студентамъ и многимъ другимъ нуждавшимся лицамъ, съ которыми приходилъ въ соприкосновеніе.

233. Эйлеру, Клеро и Даламберу удалось независимо другъ отъ друга и почти одновременно получить рѣшенія задачи о трехъ тѣлахъ въ формѣ, пригодной для лунной теоріи. Эйлеръ издалъ въ 1746 году лунныя таблицы, изъ которыхъ видно было, что онъ уже получилъ свое рѣшеніе. Клеро и Даламберъ представили въ академію въ 1747 году мемуары, заключавшіе ихъ рѣшенія, примѣнимыя къ лунѣ въ такой же мѣрѣ, какъ и къ нѣкоторымъ задачамъ планетнаго движенія. Въ каждомъ изъ этихъ мемуаровъ фигурировали затрудненія, съ которыми уже приходилось встрѣчаться Ньютону: вычисленное движеніе луннаго апогея составляло лишь половину наблюдаемой величины. Для устра-

ненія этого разногласія Клеро сперва допустилъ существованіе нѣкоторыхъ измѣненій въ законѣ тяготѣнія и получилъ результатъ, который показался ему вполнѣ соотвѣтствующимъ тяготѣнію, измѣняющемуся отчасти обратно пропорціонально квадрату, отчасти же — кубу разстоянія [1]). Эйлеръ также питалъ сомнѣнія насчетъ закона обратныхъ квадратовъ. Однако, два года спустя (1749), просматривая первоначальныя свои вычисленія, Клеро открылъ, что нѣкоторые члены, которые онъ счелъ малозначащими въ началѣ вычисленія и потому пренебрегъ ими, пріобрѣли съ теченіемъ времени замѣтную величину. Принявъ ихъ въ разсчетъ, онъ получалъ теоретическое перемѣщеніе апогея, весьма близкое къ наблюдаемой величинѣ. Это былъ первый изъ нѣсколькихъ случаевъ, когда серьезное разногласіе между теоріей и наблюденіемъ сперва дискредитировало законъ тяготѣнія, но затѣмъ получало объясненіе, и, слѣдовательно, дало новое подтвержденіе его правильности. Когда Клеро объявилъ о своемъ открытіи, Эйлеръ имѣлъ уже въ своемъ распоряженіи существенно тотъ же результатъ, добытый при помощи новыхъ вычисленій; между тѣмъ Даламберъ, увеличивъ степень приближенія, получилъ нѣсколько болѣе точный выводъ. Произведенное Клеро новое вычисленіе движеній луны удостоено было преміи, предложенной С.-Петербургской Академіей, и было издано въ 1752 году, подъ заглавіемъ *Théorie de la Lune*, «Теорія луны». Двумя годами позже онъ обнародовалъ рядъ лунныхъ таблицъ, а передъ самой кон-

---

[1]) Т.-е. онъ принялъ для тяготѣнія формулу $\frac{\mu}{r^2} + \frac{\nu}{r^3}$.

чиной (1765) выпустилъ исправленное изданіе *Теоріи луны,* включивъ въ нее новыя таблицы.

Къ мемуару 1747 года Даламберъ присоединилъ полную теорію луны (и рядъ прекрасныхъ таблицъ), которая, будучи закончена въ существенныхъ частяхъ уже къ 1751 году, обнародована только въ 1754 въ видѣ перваго тома его *Изслѣдованій относительно нѣкоторыхъ важныхъ пунктовъ системы міра—Recherches sur différents points importants du système du Mondê.* Въ 1756 году онъ обнародовалъ улучшенныя таблицы, а нѣсколькими мѣсяцами позже третій томъ *Изслѣдованій* съ новыми дополненіями къ теоріи. Второй томъ его *Opusculcs Mattématiques* (1762), «Математическихъ статей», содержалъ въ себѣ еще одинъ мемуаръ по тому же вопросу съ третьимъ рядомъ таблицъ, нѣсколько исправленныхъ по сравненію съ прежними.

Первая лунная теорія Эйлера *(Theoria Motuum Lunae,* «Теорія движеній луны») была обнародована въ 1753, хотя онъ отослалъ ее въ С.-Петербургскую Академію годомъ или двумя раньше. Въ приложеніи [1]) онъ съ характерной своей искренностью указываетъ на недостатки, которыми, по его мнѣнію, страдаетъ его изслѣдованіе, и предлагаетъ новый методъ разсмотрѣнія вопроса. На этой теоріи Товія Майеръ основалъ свои таблицы, о которыхъ мы упоминали въ предыдущей главѣ (§ 226). Черезъ много лѣтъ Эйлеръ изобрѣлъ совершенно новый методъ изслѣдованія предмета, и послѣ нѣ-

---

[1]) Приложеніе это замѣчательно тѣмъ, что въ немъ впервые дается методъ варіаціи параметровъ (варіація произвольныхъ постоянныхъ), который Лагранжъ впослѣдствіи обработалъ и которымъ пользовался съ большимъ успѣхомъ.

сколькихъ предварительныхъ статей, касавшихся общихъ свойствъ новаго метода и спеціальныхъ частей проблемы, онъ весьма детально разработалъ лунную теорію, при помощи одного изъ своихъ сыновей и двухъ ассистентовъ, которую и издалъ, вмѣстѣ съ таблицами, въ 1772 году. Онъ пытался, впрочемъ, безуспѣшно, разобрать въ своей теоріи вопросъ о вѣковомъ ускореніи средняго движенія луны, подмѣченномъ Галлеемъ (гл. X, § 201).

Въ любомъ математическомъ изслѣдованіи астрономическаго вопроса нѣкоторыя данныя должны быть почерпнуты изъ наблюденія, и изъ нашихъ трехъ астрономовъ Клеро, повидимому, искуснѣе всѣхъ умѣлъ пользоваться наблюденіями, значительную часть которыхъ получалъ отъ Лакайля. Вотъ почему его таблицы изображали истинныя движенія луны съ гораздо большей точностью, нежели даламберовы, а въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ превосходили даже тѣ, которыя основаны были на второй гораздо тщательнѣе разработанной теоріи Эйлера. Послѣднія таблицы Клеро рѣдко ошибались болѣе чѣмъ на $1\frac{1}{2}'$ и потому опредѣляли долготу съ точностью до $\frac{3}{4}°$. Онѣ, однако, никогда не пользовались большимъ распространеніемъ, такъ какъ таблицы Товіи Майера, исправленныя Брадлеемъ, на практикѣ оказались гораздо болѣе точными; но Майеръ такъ много бралъ изъ наблюденій, что его формулъ нельзя считать истиннымъ выводомъ изъ тяготѣнія въ томъ смыслѣ, въ какомъ мы понимаемъ труды Клеро. Въ математическомъ смыслѣ вторая теорія Эйлера представляетъ больше интереса и имѣла огромное значеніе, какъ базисъ для

дальнѣйшихъ усовершенствованій. Самая новѣйшая лунная теорія [1]) есть въ нѣкоторомъ смыслѣ возвратъ къ методамъ Эйлера.

234. Лунная теорія Ньютона дала, можно сказать, качественное выраженіе лунныхъ неравенствъ, извѣстныхъ изъ наблюденій въ эпоху обнародованія *Началъ*, и указала другія, наблюденіемъ еще не обнаруженныя. Но попытки его объяснить эти неправильности количественно удались лишь въ незначительной степени.

Эйлеръ, Клеро и Даламберъ, воспользовавшись аналитическимъ методомъ вмѣсто геометрическаго, облекли лунную теорію въ совершенно новую форму; это было выгодно въ томъ отношеніи, что по затратѣ необходимыхъ усилій можно было вычисленія продолжить дальше и довести до болѣе высокой степени точности. Въ результатѣ ихъ тщательныхъ изслѣдованій оказалось возможнымъ — за однимъ исключеніемъ — съ значительной точностью объяснять наблюдаемыя неравенства какъ качественно, такъ и количественно; и, такимъ образомъ, таблицы, какъ, напримѣръ, таблицы Клеро, основанныя на такой теоріи, довольно точно представляли лунныя движенія. Только-что упомянутое нами исключеніе касается вѣкового ускоренія: мы видѣли, что Эйлеру не удалось объяснить его; Даламберъ былъ не болѣе счастливъ въ этомъ отношеніи, а Клеро, повидимому, и не затрогивалъ этого предмета.

235. Главными неравенствами планетныхъ движеній, обнаруженными изъ наблюденій эпохи до Ньютона, считалось поступательное движеніе линіи

[1]) Теорія знаменитаго американскаго астронома, д-ра Г. В. Гилля (гл. XIII, § 286).

апсидъ и крайне медленное уменьшеніе наклоненія эклиптики. Къ нимъ можно добавить измѣненія скоростей движенія Юпитера и Сатурна, подмѣченныя Галлеемъ (гл. X, § 204).

Ньютонъ въ общемъ показалъ, что возмущающее вліяніе сосѣдней планеты производитъ перемѣщенія линіи апсидъ данной планетной орбиты, а также измѣненіе въ относительныхъ положеніяхъ плоскостей, въ которыхъ движутся возмущающая и возмущаемая планеты; но онъ не произвелъ детальныхъ вычисленій. Однако, на нѣкоторыя вліянія этого общаго характера, въ дополненіе уже къ извѣстнымъ, съ большей или меньшей ясностью указывалось, какъ на результатъ наблюденія, въ различныхъ планетныхъ таблицахъ, изданныхъ въ промежутокъ между обнародованіемъ *Началъ* и серединой XVIII вѣка.

Неправильности движенія земли, обнаруживающіяся въ неправильностяхъ кажущагося движенія солнца, а также Юпитера и Сатурна, представляютъ собой самыя интересныя и важныя изъ планетныхъ неравенствъ; вотъ почему Парижская Академія неоднократно назначала преміи за работы по тому или другому изъ этихъ вопросовъ.

Возмущенія луны неизбѣжно вызываютъ, въ силу принципа равенства дѣйствія и противодѣйствія, соотвѣтственныя, хотя и незначительныя возмущенія земли; въ различныхъ случаяхъ они разсмотрѣны были Клеро и Эйлеромъ, а еще полнѣе Даламберомъ.

Въ мемуарѣ отъ 1747 года (§ 233) Клеро пытался приложить свое рѣшеніе задачи о трехъ тѣлахъ къ случаю солнца, земли и Сатурна, кото-

рый, по причинѣ громаднаго разстоянія Сатурна отъ солнца (онъ почти вдесятеро дальше земли), является наиболѣе сходнымъ со случаемъ луны, земли и солнца (см. § 228).

Десять лѣтъ спустя онъ довольно подробно разсмотрѣлъ возмущенія земли, производимыя Венерой и луной. Эта работа замѣчательна тѣмъ, что заключаетъ въ себѣ первую попытку опредѣленія массъ небесныхъ тѣлъ изъ наблюденія возмущеній, ими производимыхъ. Клеро приложилъ этотъ методъ къ лунѣ и Венерѣ, вычисливъ возмущенія движенія земли, вызванныя ихъ соединеннымъ вліяніемъ (зависящимъ, разумѣется, отъ ихъ массъ), и затѣмъ сопоставилъ полученные результаты съ солнечными наблюденіями Лакайля. Такимъ путемъ онъ нашелъ, что масса луны составляетъ около $\frac{1}{67}$, а масса Венеры около $\frac{2}{3}$ массы земли; первый результатъ являлся значительнымъ шагомъ впередъ по сравненію съ ньютоновой оцѣнкой изъ приливовъ (гл. IX, § 189), а второй, совершенно новый результатъ (ибо предыдущія оцѣнки носили вполнѣ гадательный характеръ), довольно близко согласуется съ точными измѣреніями[1]). Для иллюстраціи взаимнаго вліянія наблюденія и математической теоріи замѣтимъ, что въ то время, какъ Клеро пользовался наблюденіями Лакайля для своей теоріи, Лакайль, въ свою очередь, пользовался вычисленіями возмущеній земли, сдѣланными Клеро, для исправленія своихъ солнечныхъ таблицъ, изданныхъ въ 1758 году.

Методъ рѣшенія задачи о трехъ тѣлахъ, принадлежащій Клеро, примѣнялся и *Жозефомъ Жеро-*

[1]) Массу Венеры полагаютъ равной 0,78 массы земли.

момъ Ле-Франсуа Лаландомъ (1732—1807), который извѣстенъ, главнымъ образомъ, какъ превосходный популяризаторъ астрономіи, но былъ также неутомимымъ вычислителемъ и наблюдателемъ; онъ приложилъ этотъ методъ къ возмущеніямъ Марса Юпитеромъ, Венеры — землей и земли — Марсомъ, впрочемъ, съ посредственнымъ успѣхомъ.

Во второмъ томѣ своихъ *Изслѣдованій* Даламберъ сдѣлалъ нѣкоторыя добавленія къ общей теоріи планетныхъ возмущеній и примѣнилъ свои методы къ Юпитеру и Сатурну.

236. Эйлеръ значительно подвинулъ впередъ общую теорію рядомъ работъ, начиная съ 1747 года. Онъ неоднократно пытался дать объясненіе неправильностямъ Юпитера и Сатурна, но ему ни разу не удалось согласовать его съ наблюденіями болѣе или менѣе удовлетворительнымъ образомъ. Однако, онъ показалъ, что возмущающее вліяніе остальныхъ планетъ должно подвигать линію апсидъ земной орбиты на 13″ впередъ ежегодно, а наклоненіе эклиптики уменьшать приблизительно на 48″ въ столѣтіе [1]); оба эти результата оказались въ полномъ согласіи съ наблюденіями и съ произведенными впослѣдствіи болѣе тщательными вычисленіями. Онъ указалъ также на существованіе нѣкоторыхъ другихъ планетныхъ неправильностей, по большей части до него не наблюдавшихся.

Въ работѣ, удостоенной академической преміи 1756 года, но впервые обнародованной лишь въ 1771, онъ съ достаточной полнотой развилъ методъ изслѣдованія возмущеній, на который указалъ въ

---

[1]) У Berry по ошибкѣ сказано въ «годъ».

Прим. редак.

своей лунной теоріи 1753 года. Такъ какъ этотъ методъ, извѣстный подъ названіемъ **варіаціи элементовъ** или **параметровъ**, сыгралъ очень видную роль въ послѣдующихъ изысканіяхъ, то мы попытаемся дать о немъ нѣкоторое понятіе.

Если пренебречь возмущеніями, то планету можно считать движущейся по эллипсу, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце. Величина и форма эллипса опредѣляется длиной его оси и эксцентрицитетомъ; плоскость, въ которой эллипсъ расположенъ, опредѣляется положеніемъ такъ-называемой линіи **узловъ**, т.-е. линіи пересѣченія этой плоскости съ постоянной плоскостью (за которую обыкновенно принимается плоскость эклиптики), и затѣмъ наклоненіемъ этихъ двухъ плоскостей. Даже при постоянствѣ этихъ четырехъ величинъ эллипсъ еще можетъ вращаться около своего фокуса въ собственной плоскости, но если установить направленіе линіи апсидъ, то положеніе эллипса уже вполнѣ опредѣлится. Если, далѣе, извѣстно положеніе планеты на эллипсѣ въ какой-нибудь опредѣленный моментъ, то этимъ вполнѣ опредѣляется характеръ ея движенія, и становится возможнымъ напередъ вычислить ея положеніе для любого даннаго момента. Эти шесть величинъ извѣстны подъ названіемъ **элементовъ**, вполнѣ опредѣляющихъ движеніе планеты, не подверженной возмущеніямъ.

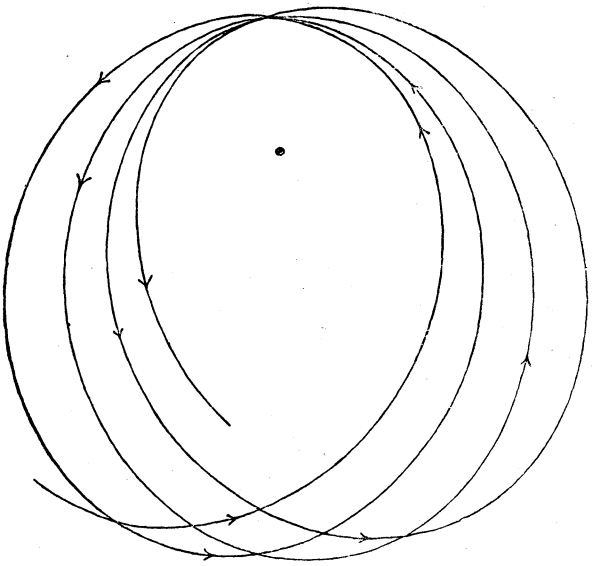
При возмущеніяхъ путь, описываемый планетой въ теченіе одного обращенія, уже не представляетъ собой эллипса, хотя и не слишкомъ отличается отъ него; если взять луну, то уклоненія окажутся довольно большими. Но если сопоставить движенія планеты въ двѣ отдаленныя между собой эпохи, то,

хотя въ каждомъ случаѣ путь, описанный ею, весьма приближается къ эллипсу, самые эллипсы будутъ отличаться другъ отъ друга въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ. Напримѣръ, между эпохами Птоломея (150 г. по Р. Х.) и Эйлера направленіе линіи апсидъ земной орбиты измѣнилось почти на 5°, измѣнились отчасти и нѣкоторые другіе элементы. Посему, при разсмотрѣніи движенія планеты въ теченіе долгаго періода времени полезно бываетъ ввести понятіе о такой эллиптической орбитѣ, которая постепенно мѣняетъ свое положеніе, а, можетъ быть, и величину, и видъ. Однимъ изъ слѣдствій такого порядка вещей является то, что истинный путь, описываемый планетой въ продолженіе значительнаго числа обращеній, представляетъ собой кривую, весьма мало похожую на эллипсъ. Если, напримѣръ, линія апсидъ равномѣрно обращается около фокуса, въ то время какъ остальные элементы остаются безъ измѣненія, то описываемый планетой путь напоминаетъ фиг. 81.

Эйлеръ столь далеко развилъ эту идею, что въ состояніи былъ представить возмущенія планеты — безразлично, въ теченіе ли одного обращенія, или бо̀льшаго промежутка времени — въ видѣ измѣненій эллиптической орбиты. Ибо гдѣ бы планета ни находилась, и какова бы (въ извѣстныхъ предѣлахъ, разумѣется [1]) ни была скорость или направленіе ея движенія, всегда возможно найти такой эллипсъ, съ солнцемъ въ одномъ изъ фокусовъ, по которому планету можно считать движущейся въ теченіе короткаго времени. Слѣдовательно, возмущаемая пла-

[1]) Орбита можетъ быть еще параболической или гиперболической; ни тотъ, ни другой случай не встрѣчается среди извѣстныхъ намъ планетныхъ орбитъ.

нета какъ бы описываетъ во всякій моментъ эллипсъ который, однако, непрерывно измѣняетъ свое положеніе или другія характерныя черты. Такимъ образомъ, задача изслѣдованія движенія сводится къ опредѣленію элементовъ эллипса, изображающаго движеніе планеты въ данное время. Далѣе Эйлеръ



Фиг. 81. Варьирующій эллипсъ.

показалъ, что если извѣстно положеніе возмущаемой планеты, то можно вычислить соотвѣтственныя скорости измѣненія элементовъ варьирующаго эллипса и достичь нѣкотораго успѣха въ попыткахъ вывести изъ этихъ данныхъ истинные элементы; но за вычетомъ нѣсколькихъ простѣйшихъ случаевъ онъ встрѣтилъ непреодолимыя математическія трудности и предоставилъ слѣдующему

поколѣнію математиковъ, главнымъ образомъ, Лагранжу, развернуть все могущество этого метода.

237. *Жозефъ Луи Лагранжъ* родился въ Туринѣ, въ 1736 году, когда Клеро выѣзжалъ въ Лапландію, а Даламберъ былъ еще ребенкомъ; онъ происходилъ изъ французской фамиліи, три поколѣнія которой прожили въ Италіи. Онъ проявлялъ необычайныя математическія способности и чуть не мальчикомъ назначенъ былъ профессоромъ артиллерійской школы родного города, ученики которой были старше своего учителя. Нѣсколько лѣтъ спустя онъ былъ главнымъ иниціаторомъ основанія ученаго общества, впослѣдствіи Туринской Академіи Наукъ; общество это выпустило въ 1759 году первый томъ своихъ записокъ, въ который вошло нѣсколько математическихъ статей Лагранжа, написанныхъ въ послѣднія нѣсколько лѣтъ. Одна изъ нихъ [1]) произвела на Эйлера, спеціально изучившаго этотъ предметъ, столь глубокое впечатлѣніе, что онъ немедленно добился для Лагранжа лестнаго пріема въ члены Берлинской Академіи.

Въ 1764 году Лагранжъ получилъ премію, назначенную Парижской Академіей за работу о либраціи луны. Въ этой работѣ онъ не только далъ первое удовлетворительное, хотя и неполное изслѣдованіе либрацій (гл. VI, § 133) нашего спутника, проистекающихъ отъ несовершенной шарообразности земли и луны, но и ввелъ вполнѣ общій методъ изслѣдованія динамическихъ задачъ [2]), послужившій

---

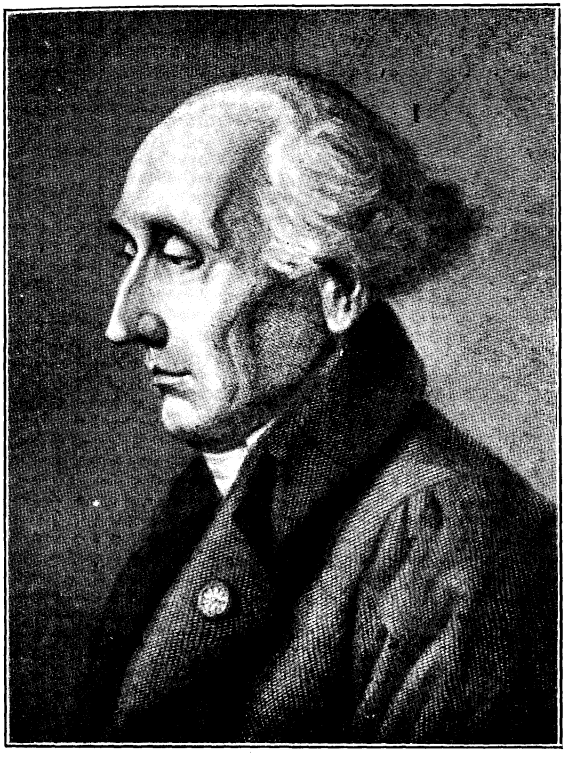
[1]) О *Варіаціонномъ исчисленіи.*

[2]) Составленіе общихъ уравненій движенія помощью комбинаціи принципа возможныхъ перемѣщеній и *Даламберова принципа.*

базисомъ почти всѣхъ отдѣловъ динамики, которые развились до настоящаго дня.

Два года спустя (1766) Фридрихъ II, по совѣту Даламбера, пригласилъ Лагранжа замѣнить Эйлера (вернувшагося въ то время въ С.-Петербургъ) въ должности главы математической секціи Берлинской Академіи, сославшись въ видѣ довода на законное желаніе величайшаго въ Европѣ короля имѣть величайшаго европейскаго математика при своемъ дворѣ. Лагранжъ принялъ столь пышно выраженное приглашеніе и 21 годъ прожилъ въ Берлинѣ.

Въ этотъ періодъ онъ написалъ массу статей по астрономіи, по общей динамикѣ и по различнымъ отдѣламъ чистой математики. Нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ астрономическихъ работъ были посланы въ Парижъ и удостоились академическихъ премій; большая часть другихъ работъ — всего около 60 — были изданы Берлинской Академіей. Въ это же время онъ написалъ свой крупный трудъ, *Аналитическую механику, Mécanique Analytique,* одну изъ прекраснѣйшихъ математическихъ книгъ, въ которой полностью развилъ общія динамическія идеи, заключавшіяся въ первой работѣ о либраціи. Любопытно, что ему трудно было найти издателя для своего произведенія, которое появилось только въ 1788 году въ Парижѣ. Годомъ раньше, по смерти Фридриха, онъ оставилъ Берлинъ и принялъ приглашеніе Людовика XVI присоединиться къ Парижской Академіи. Около этого времени онъ заболѣлъ однимъ изъ припадковъ меланхоліи, которые періодически посѣщали его и, по общему мнѣнію, были слѣдствіемъ переутомленія отъ слишкомъ усиленныхъ занятій въ Туринѣ. Разсказываютъ, что онъ



Лагранжъ.

(Къ стр. 428).

въ теченіе двухъ лѣтъ послѣ изданія *Аналитической механики* не заглядывалъ въ нее и большую часть времени проводилъ въ занятіяхъ химіей и другими отраслями естествознанія, равно какъ и въ занятіяхъ не научнаго свойства. Въ 1790 году онъ былъ назначенъ президентомъ коммиссіи по составленію новой системы мѣръ и вѣсовъ, труды которой увѣнчались созданіемъ метрической системы; научная работа, которой требовало это предпріятіе, постепенно пробудила въ немъ прежній интересъ къ математикѣ и астрономіи. Онъ всегда избѣгалъ политики и вышелъ невредимымъ изъ бурь революціи, въ то время какъ другъ его, великій химикъ Лавуазье, и историкъ астрономіи Бальи были гильотинированы въ эпоху террора. Онъ пользовался большимъ уваженіемъ у различныхъ правительствъ, смѣнявшихся во Франціи, вплоть до самой своей смерти; такъ, въ 1793 году онъ былъ изъятъ изъ декрета, которымъ изгонялись иностранцы; впослѣдствіи онъ былъ назначенъ профессоромъ математики, сперва въ Нормальной (1795), а затѣмъ въ Политехнической школѣ (1797), причемъ вторую должность онъ сохранялъ за собой до самой смерти, послѣдовавшей въ 1813 году. Въ этотъ періодъ онъ напечаталъ, въ добавленіе къ огромному числу работъ по астрономіи и математикѣ, три цѣнныхъ книги изъ области чистой математеки [1]), а за смертью не совсѣмъ окончилъ второе изданіе *Аналитиче-*

---

[1]) *Théorie des Fonctions Analytiques,* Теорія аналитическихъ функцій (1797); *Résolution des Équations Numériques,* Рѣшеніе численныхъ уравненій (1798); *Leçon sur le Calcul des Fonctions* Лекціи о вычисленіи функцій (1805).

ской Механики, второй томъ которой появился уже послѣ его кончины.

238. *Пьеръ Симонъ Лапласъ,* сынъ мелкаго фермера, родился въ Боліонѣ, въ Нормандіи, въ 1749 году, будучи, такимъ образомъ, на 13 лѣтъ моложе своего великаго соперника, Лагранжа. При помощи зажиточныхъ сосѣдей ему удалось окончить военную школу, а впослѣдствіи стать учителемъ въ родномъ городкѣ. На 18 году онъ отправился въ Парижъ съ рекомендательнымъ письмомъ къ Даламберу и, когда оно не возымѣло дѣйствія, онъ написалъ ему письмо о принципахъ механики; это послѣднее произвело на Даламбера столь глубокое впечатлѣніе, что онъ сразу заинтересовался молодымъ математикомъ и доставилъ ему мѣсто въ Парижской военной школѣ. Съ этого времени Лапласъ жилъ постоянно въ Парижѣ, занимая различныя оффиціальныя должности. Первая его работа (по чистой математикѣ) была напечатана въ Запискахъ Туринской Академіи за 1766 - 1769 годы, и съ этого времени до конца жизни онъ непрерывно писалъ статьи и книги по астрономіи и родственнымъ отдѣламъ математики.

Труды Лапласа по астрономіи въ значительной мѣрѣ воплотились въ его *Небесной механикѣ*, пять томовъ которой появлялись съ небольшими промежутками между 1799 и 1825 годами. Въ этомъ огромномъ трактатѣ онъ замышлялъ собрать воедино все, что сдѣлано было для развитія астрономіи тяготѣнія со времени Ньютона. Изъ астрономическихъ книгъ онъ издалъ еще только одну, именно *Exposition du Système du Monde, Изложеніе Системы міра* (1796), одинъ изъ превосходнѣйшихъ

Лапласъ.

(Къ стр. 430).

и увлекательно написанныхъ трактатовъ по астрономіи, когда-либо напечатанныхъ; въ немъ великій математикъ ни разу не пользовался алгебраической формулой, либо геометрическимъ чертежомъ. Въ 1812 году онъ издалъ тщательно разработанный трактатъ по теоріи вѣроятностей [1]), послужившій основой всѣхъ почти дальнѣйшихъ изслѣдованій этого вопроса, а въ 1819 году выпустилъ болѣе популярный *Философскій Опытъ, Essai Philosophique,* на эту же тему.

Въ частной жизни Лапласъ, кажется, былъ не столь привлекательной личностью, какъ Лагранжъ. Онъ тщеславился своей ученой репутаціей и не всегда корректно относился къ своимъ соперникамъ. Съ Лагранжемъ, однако, онъ непрерывно поддерживалъ дружескія отношенія и нерѣдко помогалъ молодымъ математикамъ, обѣщавшимъ что-нибудь въ будущемъ. Хотя онъ вполнѣ честно и смѣло отстаивалъ свои философскія и научныя убѣжденія, однако, своей тактикой, весьма умѣлой и успѣшной, онъ напоминалъ викарія Брэй. Онъ назначенъ былъ членомъ въ коммиссію мѣръ и вѣсовъ, а впослѣдствіи въ бюро долготъ; по основаніи Нормальной школы назначенъ въ нее профессоромъ. Когда Наполеонъ сдѣлался первымъ консуломъ, Лапласъ просилъ и добился должности домашняго секретаря, но, къ счастью для науки, былъ признанъ неспособнымъ занимать ее и черезъ шесть недѣль ушелъ (1799) [2]); въ утѣшеніе его назначили чле-

[1]) *Théorie Analytique des Probabilités.*

[2]) То обстоятельство, что эту должность Наполеонъ отдалъ своему брату Люсьену, внушало нѣкоторыя сомнѣнія насчетъ безпристрастія приговора, которымъ Наполеонъ призналъ «неспособность» Лапласа.

номъ вновь учрежденнаго сената. Третій томъ *Небесной механики,* вышедшій въ 1802 году, начинался посвященіемъ «героическому умиротворителю Европы», отъ котораго онъ впослѣдствіи удостоился многихъ отличій и, между прочимъ, графскаго титула, дарованнаго ему при возникновеніи имперіи. Послѣ реставраціи Бурбоновъ въ 1814 году онъ предложилъ имъ свои услуги, за что и былъ произведенъ въ маркизы. Въ 1816 году онъ удостоился необычайной для математика чести (въ чемъ посчастливилось, между прочимъ, и Даламберу), именно, избранъ былъ однимъ изъ сорока «безсмертныхъ» Французской Академіи *(Académie Française);* этимъ обстоятельствомъ онъ въ значительной мѣрѣ обязанъ былъ, повидимому, литературнымъ достоинствамъ *Системы міра.*

Несмотря на эти диверсіи въ области, чуждыя наукѣ, онъ, тѣмъ не менѣе, усердно занимался математикой и астрономіей и даже послѣ окончанія *Небесной механики* написалъ къ ней дополненіе, изданное послѣ его смерти (1827).

Его предсмертныя слова: *Ce que nous connaissons est peu de chose, ce que nous ignorons est immense — то, что мы знаемъ, ничтожно по сравненію съ безграничной областью непознаннаго,* вышедшія изъ устъ человѣка, такъ много внесшаго въ науку, показываютъ его личность въ болѣе выгодномъ свѣтѣ, чѣмъ событія его карьеры.

239. За исключеніемъ статьи Лагранжа о либраціи, почти всѣ важнѣйшіе его и лапласовы труды по астрономіи сдѣланы были тогда, когда труды Клеро и Даламбера были почти уже закончены, хотя дѣятельность Эйлера текла еще въ теченіе

почти 20 лѣтъ. Лагранжъ, однако, пережилъ его больше чѣмъ 30 годами, а Лапласъ болѣе чѣмъ 40; вмѣстѣ они подвинули астрономическую науку на несравненно высшую степень развитія, нежели три ихъ предшественника.

240. Къ лунной теоріи Лагранжъ сдѣлалъ сравнительно мало добавленій, если не считать общихъ методовъ, въ равной мѣрѣ приложимыхъ къ этой, какъ и къ другой астрономической проблемѣ; но Лапласъ обратилъ на нее особенное вниманіе. Изъ собственныхъ его открытій въ этой области замѣчательнѣе всего объясненіе вѣкового ускоренія средняго движенія луны (гл. X, § 201), столь озадачивавшаго многихъ астрономовъ. Лагранжъ пытался объяснить его (1774), но потерпѣлъ столь полную неудачу, что даже усомнился въ подлинности раннихъ наблюденій, на основаніи которыхъ разсматриваемое явленіе считали существующимъ. Лапласъ, безуспѣшно пытаясь примѣнить обычные методы, старался объяснить его предположеніемъ, что тяготѣніе не передается мгновенно, но подобно свѣту затрачиваетъ извѣстный промежутокъ времени на прохожденіе отъ притягивающаго тѣла къ притягиваемому; но и это объясненіе не удалось. Наконецъ, онъ приписалъ его (1783) косвенному планетному вліянію. Нѣкоторыя возмущенія, претерпѣваемыя луной подъ вліяніемъ солнца, зависятъ, между прочимъ, отъ эксцентрицитета земной орбиты; это одинъ изъ элементовъ (§ 236), который измѣняется подъ вліяніемъ планетъ, уменьшаясь за нѣсколько столѣтій на очень незначительную величину; поэтому, означенная пертурбація подвержена легкому измѣненію, въ силу котораго средняя ско-

рость движенія луны медленно возрастаетъ, иначе сказать, уменьшается продолжительность мѣсяца. Дѣйствіе этого возмущенія весьма невелико и становится замѣтнымъ лишь по прошествіи большого промежутка времени. Вычисленія Лапласа показали, что по вышеизложенной причинѣ луна ускоряетъ свое движеніе на 10″ (точнѣе 10″.2) въ столѣтіе или почти черезъ 1300 полныхъ обращеній, такъ что положеніе ея на небѣ отличается на указанную величину отъ того, какое она занимала бы, если бы возмущающей причины не существовало; за два столѣтія движеніе ускорилось бы на 40″, въ три столѣтія на 90″ и т. д. Сверхъ того, какъ показалъ Лапласъ (§ 245), эксцентрицитетъ земной орбиты не вѣчно будетъ уменьшаться, но по прошествіи огромнаго періода времени, исчисляемаго тысячами лѣтъ, начнетъ увеличиваться, вслѣдствіе чего лунное движеніе станетъ замедляться.

Результаты Лапласа почти въ точности согласовались съ тѣмъ, что показывало наблюденіе; такимъ образомъ, послѣднее изъ важныхъ разногласій въ солнечной системѣ между теоріей и наблюденіемъ получило, повидимому, объясненіе; по любопытному стеченію обстоятельствъ это случилось ровно черезъ сто лѣтъ послѣ изданія *Началъ*.

Однако, много лѣтъ спустя, объясненіе Лапласа оказалось гораздо менѣе полнымъ, чѣмъ могло показаться его современникамъ (гл. XIII, § 287).

То же самое изслѣдованіе открыло Лапласу существованіе и въ другихъ элементахъ лунной орбиты измѣненій аналогичнаго характера и зависящихъ отъ той же причины; хотя ихъ раньше не

замѣчали, но слѣды ихъ нашли въ нѣкоторыхъ древнихъ наблюденіяхъ затменій.

241. Третій томъ *Небесной механики* заключаетъ въ себѣ общій трактатъ по лунной теоріи, основанный на методѣ, совершенно отличномъ отъ всѣхъ, ранѣе употреблявшихся, и разработанный весьма детально. «Въ этой книгѣ,—писалъ Лапласъ,— я имѣю цѣлью показать въ одномъ законѣ всемірнаго тяготѣнія источникъ всѣхъ неравенствъ движенія луны, затѣмъ воспользоваться этимъ закономъ, какъ средствомъ открытія, усовершенствовать теорію этого движенія и вывести изъ нея нѣкоторые важные элементы лунной системы». Самъ Лапласъ не вычислялъ лунныхъ таблицъ, но вѣнскій астрономъ *Іоганнъ Товія Бюргъ* (1766—1834) въ широкихъ размѣрахъ воспользовался его формулами, равно какъ и огромнымъ количествомъ Гринвичскихъ наблюденій, для составленія лунныхъ таблицъ, отосланныхъ во Французскій Институтъ въ 1801 году (передъ обнародованіемъ полной лунной теоріи Лапласа) и опубликованныхъ въ слегка исправленномъ видѣ въ 1806 году. Нѣсколько лѣтъ спустя (1812) *Іоганнъ Карлъ Буркгардтъ* (1773—1825), нѣмецъ, поселившійся въ Парижѣ и трудившійся подъ руководствомъ Лапласа и Лаланда, выпустилъ новыя таблицы, основанныя непосредственно на формулахъ *Небесной механики*. Онѣ повсюду вытѣснили таблицы Бюрга, въ свою очередь заступавшія мѣсто Масоновыхъ или Майеровыхъ, какъ болѣе совершенныя.

Послѣдующія стадіи развитія лунной теоріи съ удобствомъ можно отнести къ новому періоду астрономіи (гл. XIII, § 286).

242. Наблюденіе обнаружило, повидимому, существованіе неравенствъ двоякаго рода въ планетныхъ и лунныхъ движеніяхъ. Съ одной стороны, есть такія неравенства, которыя, подобно большей части лунныхъ, проходятъ свой циклъ перемѣнъ въ теченіе одного или во всякомъ случаѣ немногихъ обращеній возмущающаго тѣла; съ другой стороны, существуютъ и такія неравенства, вродѣ вѣкового ускоренія средняго движенія луны или движенія апсидъ земной орбиты, въ которыхъ измѣненія наблюдаются все въ одномъ и томъ же направленіи, не обнаруживая признаковъ періодическаго цикла.

Математическое изслѣдованіе пертурбацій вскорѣ показало всю желательность примѣненія различныхъ методовъ къ разсмотрѣнію этихъ двухъ классовъ неравенствъ, приблизительно соотвѣтствовавшихъ вышеупомянутому раздѣленію, съ которыми мало-по-малу привыкли соединять названія **періодическихъ** и **вѣковыхъ**. Это раздѣленіе играетъ видную роль въ трудахъ Эйлера (§ 236), но только Лагранжъ впервые вполнѣ оцѣнилъ всю громадную важность его, особенно для планетной теоріи, и занялся спеціальнымъ изученіемъ вѣковыхъ неравенствъ.

При изученіи возмущеній одной планеты, вызываемыхъ другою, необходимо бываетъ получить математическое выраженіе возмущающей силы, которой обладаетъ эта другая планета. Это выраженіе вообще зависитъ какъ отъ элементовъ обѣихъ орбитъ, такъ и отъ положенія планетъ въ данное время. Впрочемъ, его можно разбить на двѣ части, изъ которыхъ одна будетъ зависѣть отъ положеній планетъ (равно какъ и отъ элементовъ), другая же только отъ элементовъ обѣихъ орбитъ, оставаясь

вполнѣ независящей отъ тѣхъ положеній, какія планеты могутъ занимать на своихъ орбитахъ въ данное время на ихъ орбитахъ. Такъ какъ положенія планетъ на орбитахъ быстро мѣняются, то, съ одной стороны, и возмущающая сила быстро измѣняется, производя въ общемъ черезъ короткіе промежутки времени дѣйствія противоположнаго свойства; сперва, напримѣръ, она ускоряетъ, а затѣмъ замедляетъ движеніе возмущаемой планеты; соотвѣтственно этому, получаются періодическія неравенства, по большей части проходящія полный циклъ перемѣнъ въ теченіе немногихъ обращеній планеты, а то и еще быстрѣе. Съ другой стороны, величина возмущающей силы остается почти неизмѣнной въ теченіе значительнаго промежутка времени и даетъ начало такимъ измѣненіямъ въ элементахъ, вообще чрезвычайно малымъ, которыя существуютъ въ теченіе огромнаго промежутка времени и потому накопляются, пріобрѣтая съ теченіемъ времени ощутительную величину: это — вѣковыя неравенства.

Вообще можно сказать, что періодическія неравенства обладаютъ временнымъ, а вѣковыя—постояннымъ характеромъ, что Джонъ Гершель выразилъ слѣдующимъ образомъ:

«Въ сущности, вѣковыя неравенства это то, что остается послѣ взаимнаго уничтоженія большихъ (какъ часто случается) періодическихъ неравенствъ. Но эти послѣднія по природѣ своей временны и преходящи; они исчезаютъ въ короткіе періоды и не оставляютъ послѣ себя никакихъ слѣдовъ. Планета на время сдвигается со своей (медленно измѣняющейся) орбиты, но затѣмъ снова на нее вступаетъ, чтобы уклониться въ противоположную сторону на ту же величину, тогда какъ измѣняющаяся орбита приспособляется къ срединѣ между этими отклоненіями въ обѣ стороны отъ нея» [1]).

[1]) *Очерки астрономіи*, § 656 (имѣется въ русскомъ переводѣ Драшусова).

«Временный» и «короткій», однако, понятія относительныя. Нѣкоторыя періодическія неравенства, особенно лунныя, обладаютъ періодами всего въ нѣсколько дней, а большая часть важнѣйшихъ періодовъ обнимаетъ лишь немногіе годы; но намъ извѣстны и такія, которыя длятся столѣтія и даже тысячи лѣтъ и часто могутъ быть разсматриваемы, какъ вѣковыя, если мы пожелаемъ принять въ разсчетъ промежутокъ только въ нѣсколько лѣтъ. Съ другой стороны, многія изъ извѣстныхъ намъ вѣковыхъ неравенствъ на самомъ дѣлѣ не постоянны, но колеблются подобно періодическимъ, хотя лишь въ теченіе огромныхъ періодовъ времени, исчисляемыхъ нерѣдко десятками тысячелѣтій.

Одно изъ различій между движеніями луны и планетъ заключается въ томъ, что въ первомъ случаѣ періодическія неравенства сравнительно велики и имѣютъ важное значеніе, особенно для практическихъ цѣлей, вродѣ вычисленія положеній луны на нѣсколько мѣсяцевъ впередъ; планетныя же періодическія неравенства обыкновенно бываютъ ничтожны, и только вѣковыя неправильности представляютъ огромный интересъ.

Методъ изслѣдованія эллиптическихъ орбитъ, разсматриваемыхъ, какъ перемѣнныя, особенно пригоденъ для вѣковыхъ неравенствъ; для изслѣдованія же періодическихъ неравенствъ удобнѣе разсматривать тѣло, какъ уклоняющееся отъ эллиптической орбиты, и изучать эти уклоненія.

«Простѣйшій способъ разсмотрѣнія этихъ различныхъ возмущеній заключается въ томъ, чтобы вообразить себѣ планету движущейся въ согласіи съ законами эллиптическаго движенія,

по эллипсу, элементы котораго измѣняются въ незначительной степени, и думать въ то же время, что истинная планета качается около фиктивной по крайне малой орбитѣ, характеръ которой зависитъ отъ періодическихъ возмущеній» [1]).

Первый методъ, которымъ мы, какъ выше говорили, обязаны Эйлеру, былъ усовершенствованъ и очень часто употреблялся Лагранжемъ, имя котораго онъ нерѣдко и носитъ.

243. На первыхъ порахъ естественно было предположить, что медленное измѣненіе скоростей движенія Юпитера и Сатурна (§§ 235, 236, и гл. X, § 204) является слѣдствіемъ вѣкового неравенства; въ 1766 году Лангранжъ пытался объяснить его въ этомъ смыслѣ; хотя эта попытка ему и не удалась, однако, она больше соотвѣтствовала наблюденіямъ, нежели работа Эйлера. Въ своей первой статьѣ о вѣковыхъ неравенствахъ (1773) Лапласъ нашелъ при помощи болѣе полнаго анализа, что вѣковыя измѣненія скоростей движенія Юпитера и Сатурна видимымъ образомъ клонятся къ совершенному исчезновенію, и попытался объяснить эти движенія гипотезой, къ которой астрономы часто прибѣгаютъ въ затруднительныхъ случаяхъ, именно, что въ дѣло замѣшалась комета.

Въ 1773 году *Іоганнъ Генрихъ Ламбертъ* (1728—1777) изъ изслѣдованія наблюденій обнаружилъ, что въ то время, какъ Галлей нашелъ Сатурна движущимся медленнѣе, нежели въ древности, въ его, Ламберта, эпоху онъ движется быстрѣе, нежели во времена Галлея, — заключеніе, указывавшее на наличность нѣкоторой періодической причины.

---

[1]) Лапласъ: *Система міра.*

Наконецъ, Лапласъ въ 1784 году напалъ на вѣрное объясненіе. Въ 1776 году Лагранжъ замѣтилъ, что если времена обращенія двухъ планетъ въ точности пропорціональны двумъ цѣлымъ числамъ, то періодическая возмущающая сила отчасти производитъ вѣковое измѣненіе въ ихъ движеніяхъ, непрерывно дѣйствующее въ одномъ и томъ же направленіи; впрочемъ, онъ показалъ, что въ солнечной системѣ такого случая не наблюдается. Мало того, если времена обращенія почти пропорціональны двумъ цѣлымъ числамъ (не очень большимъ), то періодически возмущающая сила отчасти производитъ неправильности, которыхъ строго нельзя назвать вѣковыми, но все-таки обладающія періодами огромной продолжительности; и даже столь малая возмущающая сила, что вліяніе ея обыкновенно ускользаетъ отъ наблюденія, при подобныхъ обстоятельствахъ способна произвести значительный эффектъ [1]). Теперь Юпитеръ и Сатурнъ обращаются вокругъ солнца въ періоды, соотвѣтственно равные 4333 и 10.756 суткамъ; упятеренное первое число

---

[1]) Если n и n' среднія движенія двухъ планетъ, то выраженіе для возмущающей силы содержитъ въ себѣ члены такого типа $= \frac{sin}{cos}\left(np \pm n'p'\right)t$, гдѣ p, p' суть цѣлыя числа, а коэффиціэнтъ порядка $p - p'$ относительно эксцентрицитетовъ и наклоненій. Если p и p' таковы, что $(np - n'p')$ мало, то соотвѣтствующее неравенство имѣетъ періодъ $\left(\frac{2\pi}{np - n'p'}\right)$, и хотя коэффиціэнтъ его принадлежитъ къ порядку $(p - p')$, однако въ знаменателѣ его есть ничтожный дѣлитель $np - n'p'$ (или его квадратъ), и потому оно можетъ быть значительнымъ. Напримѣръ, въ случаѣ Юпитера и Сатурна $n = 109.257$ въ секундахъ дуги и въ годъ, $n' = 43.996$; $5n' - 2n = 1466$; получается, поэтому, неравенство третьяго порядка съ періодомъ (въ годахъ) $= \frac{2\pi}{1466 \text{ сек. дуги}} = \frac{2\pi \,.\, 206265}{1466} =$ кругл. числ. 900 годамъ.

равно 21.665, а удвоенное второе—21.518, т.-е. нѣсколько меньше. Мы имѣемъ, слѣдовательно, исключительный случай; разработавъ его, Лапласъ открылъ ощутительное неравенство съ періодомъ около 900 лѣтъ, которымъ довольно удовлетворительно объяснялъ наблюденія.

Неравенства этого рода, коихъ открыто было немало, извѣстны подъ названіемъ **большихъ неравенствъ**, и въ нихъ можно видѣть промежуточную ступень, между вѣковыми и періодическими неравенствами.

244. Открытіе, что наблюдаемое неравенство Юпитера и Сатурна не принадлежитъ къ вѣковымъ, можно считать первой ступенью въ замѣчательномъ рядѣ изслѣдованій вѣковыхъ неравенствъ, произведенныхъ Лагранжемъ и Лапласомъ преимущественно въ промежуткѣ между 1773 и 1784 годами и приведшихъ къ нѣкоторымъ изъ самыхъ интересныхъ и общихъ результатовъ во всей астрономіи тяготѣнія. Оба астронома, изъ которыхъ одинъ жилъ въ Берлинѣ, а другой — въ Парижѣ, поддерживали между собой непрерывныя сношенія, и едва ли сдѣланъ былъ кѣмъ-либо изъ нихъ хоть одинъ важный успѣхъ безъ того, чтобы имъ сейчасъ же не воспользовался и не попытался дать ему дальнѣйшее развитіе другой.

Центральной задачей былъ вопросъ о вѣковыхъ измѣненіяхъ элементовъ планетной орбиты, разсматриваемой какъ варьирующій эллипсъ. Три изъ этихъ элементовъ, именно: ось эллипса, его эксцентрицитетъ и наклонъ его плоскости къ нѣкоторой постоянной (обыкновенно плоскость эклиптики), представляютъ гораздо больше важности, чѣмъ остальные

три. Первые два — это тѣ элементы, отъ которыхъ зависитъ величина и видъ орбиты, а первый опредѣляетъ еще (по третьему закону Кеплера) періодъ обращенія и среднюю скорость движенія планеты [1]), третій же оказываетъ важное вліяніе на взаимныя отношенія двухъ планетъ. Другіе три элемента имѣютъ большое значеніе, главнымъ образомъ, для періодическихъ неравенствъ.

Сверхъ того, надобно замѣтить, что эксцентрицитеты и наклоненія во всѣхъ случаяхъ (кромѣ тѣхъ, о которыхъ мы особо упоминали) разсматривались, какъ величины малыя; поэтому, результаты изслѣдованій оказались приблизительными, такъ какъ не только эти величины, но и самыя возмущающія силы принимались за малыя.

245. Въ основу всѣхъ этихъ изслѣдованій легла крупная работа, опубликованная Лагранжемъ въ 1766 году, въ которой онъ объяснилъ методъ варіаціи элементовъ и предложилъ формулы, связывающія скорости измѣненій съ возмущающими силами.

Въ статьѣ 1773 года Лапласъ показалъ, что то, что справедливо для Юпитера и Сатурна, имѣетъ болѣе общее приложеніе, и доказалъ, что въ случаѣ планеты, возмущаемой какой-нибудь другой планетой, ось не только не претерпѣваетъ вѣковыхъ измѣненій въ настоящее время, но не претерпѣла замѣтныхъ измѣненій даже съ того времени, «когда стали заниматься астрономіей».

---

[1]) Это положеніе требуетъ нѣкоторыхъ ограниченій, когда берутся въ разсчетъ пертурбаціи. Но этотъ пунктъ не очень важенъ, и для разсмотрѣнія его необходимо располагать нѣкоторыми техническими познаніями.

Въ слѣдующемъ году Лагранжъ получилъ выраженіе для вѣкового измѣненія наклоненія, пригодное для всѣхъ временъ. Когда его приложили къ Юпитеру и Сатурну, которыхъ по причинѣ огромнаго превосходства размѣровъ и большихъ разстояній отъ остальныхъ планетъ не безъ основаній можно соединить въ отдѣльную систему съ солнцемъ, то оказалось, что перемѣны въ наклоненіяхъ всегда должны носить періодическій характеръ, такъ что наклоненія не могутъ переступать извѣстныхъ опредѣленныхъ границъ, не многимъ отличающихся отъ существующихъ оцѣнокъ. Подобные же результаты получились и для системы, образуемой солнцемъ, Венерой, землей и Марсомъ. Лагранжъ, кромѣ того, замѣтилъ, что есть случаи, какъ онъ выразился, къ счастью, кажется, не встрѣчающіеся въ нашей міровой системѣ, въ которыхъ, напротивъ того, наклоненіе можетъ возрастать неопредѣленно. Различіе зависитъ отъ массъ разсматриваемыхъ тѣлъ; и хотя всѣ планетныя массы извѣстны нѣсколько неточно, а оцѣнки, принятыя Лагранжемъ для Венеры и Марса, носятъ характеръ чистыхъ догадокъ, тѣмъ не менѣе казалось, что никакое возможное измѣненіе въ оцѣнкахъ массъ не сможетъ повліять на общій выводъ, къ которому онъ пришелъ.

Два года спустя (1775) Лапласъ, восхищенный методомъ, которымъ пользовался Лагранжъ, приложилъ его къ изслѣдованію вѣковыхъ измѣненій эксцентрицитетовъ и нашелъ, что и они обладаютъ свойствами періодичности, такъ что эксцентрицитетъ не можетъ возрастать или уменьшаться безгранично.

Въ слѣдующемъ году, въ замѣчательной статьѣ, состоявшей всего изъ 14 страницъ, Лагранжъ до-

казалъ, что, будутъ ли эксцентрицитеты и наклоненія приниматься за малыя величины и каковы бы ни были массы планетъ, всѣ перемѣны, происходящія съ осью какой-нибудь планетной орбиты, непремѣнно должны носить характеръ періодическихъ, такъ что все время длина оси можетъ колебаться лишь въ тѣсныхъ предѣлахъ. Этотъ результатъ, однако, все еще покоился на предположеніи, что возмущающія силы можно разсматривать, какъ малыя величины.

За этой статьей послѣдовало пять работъ, обнародованныхъ между 1781 и 1784 годами, въ которыхъ Лагранжъ суммировалъ свои первые труды, пересмотрѣлъ и исправилъ свои методы и приложилъ ихъ къ періодическимъ неравенствамъ, равно какъ и къ различнымъ другимъ задачамъ.

Наконецъ, въ 1784 году Лапласъ въ той же статьѣ, въ которой объяснилъ большое неравенство Юпитера и Сатурна, установилъ помощью чрезвычайно простого метода два замѣчательныхъ соотношенія между эксцентрицитетами и наклоненіями планетъ или другихъ подобныхъ тѣлъ.

Первое соотношеніе читается такъ:

Если массу каждой планеты помножить на квадратный корень изъ оси ея орбиты и на квадратъ эксцентрицитета, то сумма этихъ произведеній постоянна для всѣхъ планетъ, за вычетомъ періодическихъ неравенствъ.

Второе читается точно такъ же, съ той лишь разницей, что на мѣсто эксцентрицитета ставится наклоненіе [1]).

---

[1]) $\Sigma e^2 m\sqrt{a}=c$, $\Sigma tg^2 i.m\sqrt{a}=c'$, гдѣ m—масса планеты, a, e, i,—большая полуось, эксцентрицитетъ и наклоненіе орбиты. Урав-

Первымъ изъ этихъ предложеній устанавливается то, что можно назвать запасомъ или фондомъ эксцентрицитета, приходящимся на долю планетъ солнечной системы. Если эксцентрицитетъ одной орбиты возрастаетъ, то эксцентрицитетъ другой претерпѣваетъ соотвѣтствующее уменьшеніе. Такимъ образомъ, фондъ никогда не превышаетъ нормы. Сверхъ того, наблюденіе показываетъ, что эксцентрицитеты всѣхъ планетныхъ орбитъ невелики; слѣдовательно, весь фондъ невеликъ, а величина, приходящаяся на долю какой-нибудь одной планеты въ данное время, и совсѣмъ мала [1]). Отсюда вытекаетъ, что эксцентрицитетъ орбиты такой планеты, которой масса и разстояніе отъ солнца значительны, никогда не можетъ сильно увеличиться; подобное же заключеніе приходится сдѣлать и относительно наклоненій различныхъ планетъ.

Эти два предложенія указываютъ на замѣчательную особенность устройства солнечной системы, именно, что всѣ планеты обращаются вокругъ солнца въ одномъ направленіи, которое представилось бы наблюдателю, помѣщенному съ сѣверной стороны орбитъ, обратнымъ движенію часовыхъ стрѣлокъ. Если бы какая-нибудь планета двигалась въ противоположномъ направленіи, то соотвѣтствующія части фондовъ эксцентрицитета или наклоненія вычита-

---

неніе это точно до квадрата малыхъ величинъ, и потому безразлично, поставимъ ли мы tgi или само i, какъ мы это сдѣлали въ текстѣ.

[1]) Почти весь «запасъ эксцентрицитета» и «фондъ наклоненія» солнечной системы приходится на долю Юпитера и Сатурна. Если бы Юпитеръ поглотилъ цѣликомъ каждый изъ этихъ фондовъ, то эксцентрицитетъ его орбиты возросъ бы всего на 25 процентовъ, а наклоненіе къ эклиптикѣ даже не удвоилось бы.

лись бы, вмѣсто того чтобы складываться, и, такимъ образомъ, величина фонда свободно могла бы переступать границы нормы.

Нѣчто подобное такому ограниченію скрывается и въ раннихъ выводахъ Лапласа относительно невозможности существованія постоянныхъ перемѣнъ въ эксцентрицитетахъ, хотя можетъ существовать такая система, относительно которой его результаты будутъ вѣрны даже и въ томъ случаѣ, если одинъ или нѣсколько членовъ ея обращаются въ направленіи, отличномъ отъ остальныхъ; но зато при этомъ необходимы нѣкоторыя ограниченія относительно пропорцій между орбитами, которыхъ въ другихъ случаяхъ не требуется.

Результаты, полученные обоими астрономами, можно вкратцѣ выразить слѣдующимъ образомъ: измѣненія въ оси, эксцентрицитетѣ и наклоненіи любой планетной орбиты постоянно заключены въ тѣсныхъ предѣлахъ. Возмущенія, производимыя планетами, заставляютъ всѣ эти величины претерпѣвать колебанія опредѣленныхъ размѣровъ, изъ которыхъ нѣкоторыя, причиняемыя періодически дѣйствующими возмущающими силами, проходятъ свой циклъ въ сравнительно короткіе періоды, иныя же, управляемыя вѣковыми силами, требуютъ огромнѣйшихъ промежутковъ времени.

Такимъ образомъ, можно сказать, что устойчивость солнечной системы обезпечена, насколько это зависитъ отъ особыхъ астрономическихъ причинъ, нами разсмотрѣнныхъ.

Если мы, напримѣръ, возьмемъ орбиту обитаемой планеты—земли, то сильное измѣненіе ея полуоси, т.-е. средняго разстоянія отъ солнца, произвело бы

болѣе чѣмъ пропорціональныя перемѣны въ количествѣ теплоты и свѣта, получаемыхъ ею отъ солнца, значительное увеличеніе эксцентрицитета усилило бы характеръ тѣхъ (въ настоящее время крайне малыхъ) колебаній тепла и холода соотвѣтственно временамъ года, которыя зависятъ отъ колебаній въ разстояніи солнца; далѣе, всякая перемѣна въ положеніи эклиптики, которая не сопровождалась бы соотвѣтствующимъ измѣненіемъ въ экваторѣ и стремилась бы увеличить уголъ между этими двумя плоскостями, въ громадной степени усилило бы колебаніе температуры на протяженіи года. Вышесказанная устойчивость системы служитъ намъ, поэтому, гарантіей противъ нѣкоторыхъ крупныхъ климатическихъ перемѣнъ, которыя могли бы серьезно повліять на обитаемость земли.

Не мѣшаетъ упомянуть, что результаты, установленные Лагранжемъ и Лапласомъ, суть математическія слѣдствія нѣкоторыхъ опредѣленныхъ гипотезъ, съ которыми дѣйствительныя условія солнечной системы обнаруживали довольно близкое соотвѣтствіе; самыя же эти слѣдствія получены при помощи процессовъ, которые требовали опущенія нѣкоторыхъ малыхъ величинъ, и потому не могутъ быть абсолютно точными. Поэтому, если не считать непредвидѣнныхъ причинъ, мы имѣемъ полное основаніе ожидать, что истинныя движенія тѣлъ солнечной системы будутъ довольно близко согласоваться съ этими результатами на протяженіи очень большого періода; но нѣтъ прочныхъ ручательствъ за то, что нѣкоторыя возмущающія причины, незамѣченныя или отвергнутыя Лапласомъ и Лагранжемъ по причинѣ своей незначительности, не начнутъ

рано или поздно оказывать замѣтнаго дѣйствія (гл. XIII, § 293).

246. Нѣкоторые изъ числовыхъ результатовъ Лапласа относительно вѣковыхъ измѣненій элементовъ дадутъ вамъ представленіе о величинахъ, съ которыми приходится имѣть дѣло.

Линія апсидъ каждой планеты движется въ одномъ и томъ же направленіи; самое быстрое движеніе, которымъ обладаетъ орбита Сатурна, доходитъ почти до 15″ въ годъ или немного менѣе полуградуса въ столѣтіе. Если бы это движеніе продолжалось равномѣрно, то линія апсидъ потребовала бы для полнаго своего обращенія и возврата въ первоначальное положеніе никакъ не менѣе 80.000 лѣтъ. Движеніе линіи узловъ (той линіи, по которой плоскость планетной орбиты пересѣкается съ эклиптикой) въ общемъ найдено нѣсколько болѣе быстрымъ. Годичное измѣненіе въ наклоненіи какой-нибудь орбиты къ эклиптикѣ ни въ одномъ случаѣ не превышаетъ дробныхъ долей секунды; а измѣненіе эксцентрицитета орбиты Сатурна, будучи самымъ значительнымъ, за четыре столѣтія едва достигаетъ $\frac{1}{1000}$.

247. О теоріи вѣковыхъ неравенствъ мы говорили въ связи съ вопросомъ объ общемъ характерѣ полученныхъ результатовъ. По отношенію къ предсказаніямъ положеній планетъ для эпохи средней отдаленности періодическія неравенства представляютъ, однако, большую важность. Эти послѣднія были съ значительной полнотой изслѣдованы Лагранжемъ и Лапласомъ, причемъ детальной переработкой ихъ въ форму, удобную для цифровыхъ вычисленій, мы въ большей степени обязаны послѣднему. Изъ фор-

мулъ, предложенныхъ Лапласомъ и сгруппированныхъ въ *Небесной механикѣ,* вычислено было много солнечныхъ и планетныхъ таблицъ, въ общемъ довольно близко соотвѣтствовавшихъ наблюдаемымъ движеніямъ и превосходившихъ прежнія таблицы, основанныя на менѣе совершенныхъ теоріяхъ [1]).

248. Помимо лунной и планетной теорій, Лапласъ заново разсмотрѣлъ всѣ малыя задачи астрономіи тяготѣнія, во многихъ случаяхъ при помощи методовъ Лагранжа, и значительно двинулъ впередъ способы ихъ разрѣшенія.

Онъ полнѣйшимъ образомъ развилъ теорію спутниковъ Юпитера, образующихъ вмѣстѣ со своей планетой нѣчто вродѣ миніатюры солнечной системы, правда, обладающей нѣкоторыми характерными особенностями; другихъ спутниковъ онъ коснулся менѣе обстоятельно. Онъ подвинулъ впередъ теорію кольца Сатурна, показавъ, что оно не можетъ представлять собой однороднаго твердаго тѣла.

Прецессію и нутацію онъ разсмотрѣлъ гораздо полнѣе, нежели Даламберъ, а также и сходственныя неправильности вращенія луны и кольца Сатурна.

Вопросъ о фигурѣ земли онъ рѣшилъ въ болѣе общей формѣ, чѣмъ это удалось Клеро, не опровергнувъ, однако, существенно точныхъ выводовъ этого послѣдняго; а теорію приливовъ совершенно

---

[1]) Изъ таблицъ, основанныхъ на работахъ Лапласа и напечатанныхъ до его смерти, лучшія солнечныя таблицы принадлежали *фонъ-Цаху* (1804) и *Деламбру* (1806); лучшими планетными таблицами считались: *Лаланда* (1771), *Линденау* для Венеры, Марса и Меркурія (1810—1813) и *Бувара* для Юпитера, Сатурна и Урана (1808 и 1821).

перестроилъ и во многомъ исправилъ, хотя между наблюденіями и теоріей все еще зіяла значительная пропасть.

Теорію возмущеній онъ также видоизмѣнилъ настолько, что оказалось возможнымъ приложить ее къ кометамъ; изъ наблюденія кометы (такъ-называемой кометы Лекселя), появившейся въ 1770 году и прошедшей, какъ оказалось, по близости Юпитера въ 1767 году, онъ заключилъ, что ея орбита вполнѣ преобразована притяженіемъ вышеназванной планеты, но что, съ другой стороны, сама она не въ силахъ оказать сколько-нибудь замѣтное возмущающее вліяніе на Юпитера или его спутниковъ.

Такъ какъ, съ одной стороны, полное вычисленіе возмущеній всѣхъ тѣлъ солнечной системы предполагаетъ знакомство съ ихъ массами, то и, наоборотъ, величины этихъ возмущеній, если онѣ даются наблюденіемъ, могутъ послужить къ опредѣленію или исправленію оцѣнокъ различныхъ массъ. Такимъ именно путемъ найдены были массы Марса и спутниковъ Юпитера, равно какъ и Венеры (§ 235), и провѣрены оцѣнки массъ луны и другихъ планетъ. Что же касается Меркурія, то мы не имѣемъ удовлетворительныхъ наблюденій надъ возмущеніями, которыя онъ производитъ въ другихъ планетахъ, и оцѣнка его массы — кромѣ развѣ того, что она мала — долгое время носила характеръ догадки. Только черезъ нѣсколько лѣтъ послѣ смерти Лапласа по вліянію, оказанному Меркуріемъ на проходившую мимо комету, удалось опредѣлить его массу (1842), но и до сихъ поръ мы не знаемъ ея вполнѣ точно.

249. Труды великихъ астрономовъ-математиковъ XVIII вѣка, результаты которыхъ собраны въ *Небесной механикѣ,* показали, что наблюдаемыя движенія тѣлъ солнечной системы можно съ достаточной степенью точности объяснить при помощи закона тяготѣнія.

Такимъ образомъ, получено было приблизительное рѣшеніе проблемы Ньютона (§ 228), и для практическихъ цѣлей, вродѣ предсказанія на неособенно отдаленное время положеній различныхъ небесныхъ тѣлъ, согласіе между теоріей и наблюденіемъ оказывалось довольно большимъ. Возникавшія же разногласія между ними были по большей части такъ малы сравнительно съ тѣми, которыя уже удалось устранить, что у всѣхъ почти астрономовъ рождалось убѣжденіе въ томъ, что эти разногласія можно объяснить ошибками наблюденія, недостаточной точностью вычисленій и тому подобными причинами.

250. Внѣ сферы профессіональныхъ астрономовъ и математиковъ Лапласъ болѣе извѣстенъ не какъ авторъ *Небесной механики,* но какъ творецъ **небулярной гипотезы.**

Это знаменитое умозрѣніе обнародовано было (въ 1796 году) въ его популярной книгѣ *Система міра,* о которой мы выше упоминали, и составлено было (почти навѣрное) независимо отъ нѣсколько сходной, но менѣе подробной теоріи, предложенной философомъ *Иммануиломъ Кантомъ* въ 1755 году.

Лапласа давно уже поражали нѣкоторыя замѣчательныя особенности солнечной системы. Семь планетъ, извѣстныхъ ему въ то время, о которомъ мы говоримъ, обращались вокругъ солнца въ одномъ

и томъ же направленіи; четырнадцать спутниковъ обращались вокругъ своихъ планетъ все въ томъ же направленіи [1]), а извѣстныя въ то время вращательныя движенія солнца, планетъ и спутниковъ около своихъ осей подчинялись тому же закону. Такимъ образомъ, имѣлось налицо 30—40 движеній, совершающихся все въ одномъ и томъ же направленіи. Если бы эти движенія различныхъ тѣлъ были дѣломъ случая и не зависѣли одно отъ другого, то мы имѣли бы передъ собой поразительнѣйшій примѣръ совпаденія, столь же невѣроятный, какъ и то, чтобы монета, подброшенная множество разъ, неизмѣнно падала на землю одной и той же стороной.

Всѣ эти вращенія и обращенія, сверхъ того, совершались въ плоскостяхъ, мало наклоненныхъ одна къ другой; эксцентрицитеты же всѣхъ орбитъ, почти круговыхъ, были и совсѣмъ ничтожны.

Съ другой стороны, кометы не представляли этихъ особенностей; ихъ орбиты очень эксцентричны, наклонны къ эклиптикѣ подъ всевозможными углами и расположены въ различныхъ направленіяхъ.

Сверхъ того, не извѣстно было, существуютъ ли тѣла, образующія въ этомъ отношеніи промежуточную ступень между кометами и планетами или спутниками [2]).

---

[1]) Движенія спутниковъ Урана (гл. XII, §§ 253, 255) совершаются въ противоположномъ направленіи. Когда Лапласъ впервые обнародовалъ свою теорію, они еще не были обслѣдованы, а въ послѣдующихъ изданіяхъ своей книги онъ, видимо, не считалъ нужнымъ упоминать объ этомъ исключеніи.

[2]) Это положеніе видоизмѣняется послѣ ряда открытій (начавшагося съ 1 января 1801 года) малыхъ планетъ (гл. XIII, § 294), изъ коихъ многія обладаютъ такими орбитами, которыя

Изъ этихъ замѣчательныхъ совпаденій Лапласъ заключилъ, что различныя тѣла солнечной системы должны обладать общимъ происхожденіемъ. Онъ предложилъ гипотезу, что они сгустились изъ тѣла, представлявшаго собой либо солнце съ огромной атмосферой, заполнявшей пространство, нынѣ занимаемое солнечной системой, либо жидкую массу съ болѣе или менѣе уплотненной центральной частью или ядромъ; на еще болѣе ранней стадіи развитія центральнаго сгущенія могло и совсѣмъ не существовать.

Наблюденія Гершеля (гл. XII, §§ 259—61) незадолго до того обнаружили существованіе многихъ сотенъ тѣлъ, извѣстныхъ подъ названіемъ туманностей и по внѣшнему виду весьма близко напоминающихъ первичныя образованія въ описаніяхъ Лапласа. Они обнаруживали большія различія въ строеніи; иныя представлялись почти безформенными массами крайне разрѣженной матеріи, другія обнаруживали явные признаки центральнаго сгущенія, а третьи представлялись въ видѣ обыкновенныхъ звѣздъ, окруженныхъ газообразной оболочкой; эти различія въ структурѣ сильно напоминали послѣдовательныя стадіи процесса уплотненія.

Итакъ, по мысли Лапласа, солнечная система образовалась путемъ уплотненія туманности; подобное же объясненіе онъ прилагалъ и къ неподвижнымъ звѣздамъ съ окружающими ихъ (по всей вѣроятности) планетами.

своими эксцентрицитетами значительно превосходятъ орбиты остальныхъ планетъ и наклонены къ эклиптикѣ подъ значительными углами.

Затѣмъ, онъ нарисовалъ, нѣсколько произвольно, картину процесса, при помощи котораго туманность, однажды одаренная вращательнымъ движеніемъ, могла, по мѣрѣ уплотненія, отбрасывать кольца, изъ коихъ каждое въ свою очередь могло стянуться въ планету со спутниками или безъ нихъ; эту гипотезу онъ подкрѣплялъ правдоподобными ссылками на многія особенности тѣлъ солнечной системы.

Мы, однако, такъ мало знаемъ о томъ, что происходитъ съ тѣломъ вродѣ Лапласовой туманности, когда оно вращается и уплотняется, что едва ли стоитъ разсматривать подробности его гипотезы.

О томъ, что самъ Лапласъ, котораго никакъ нельзя обвинить въ излишней скорости, далеко не такъ серьезно принималъ отдѣльные пункты своей гипотезы, какъ многіе изъ его комментаторовъ, можно судить какъ по тому, что онъ обнародовалъ ее въ популярной книгѣ, такъ и изъ его замѣчательнаго отзыва о ней: «это догадки объ образованіи звѣздъ и солнечной системы,— догадки, которыя я излагаю со всѣмъ сомнѣніемъ, какое должно намъ внушать все, что не является результатомъ наблюденія или вычисленія» [1]).

---

[1]) *Система міра*, книга V, глава VI.

ГЛАВА XII.

Гершель.

«Coelorum perrupit claustra».

Гершелева *эпитафія.*

251. *Фридрихъ Вильямъ Гершель* родился въ Гановерѣ 15 ноября 1738 года, двумя годами позже Лагранжа и девятью раньше Лапласа. Отецъ его служилъ музыкантомъ въ гановерской арміи, а сынъ, обнаруживавшій замѣчательный музыкальный талантъ на ряду съ очевидной склонностью ко всякаго рода знаніямъ, уже мальчикомъ занялся профессіей отца (1753). Когда возгорѣлась семилѣтняя война, онъ нѣкоторое время принималъ участіе въ походахъ, но по слабости его здоровья родители «рѣшили взять его со службы,—предпріятіе, сопряженное съ немалыми затрудненіями» [1]), послѣ чего отослали его въ Англію (1757) пытать счастья въ профессіи музыканта.

Проскитавшись нѣсколько лѣтъ по различнымъ англійскимъ провинціямъ, онъ поселился (1766) въ Батѣ, одномъ изъ крупныхъ модныхъ центровъ Англіи. Занимая сперва должность гобоиста въ оркестрѣ Линлея, затѣмъ органиста въ Восьмиугольной Капеллѣ, онъ въ очень скоромъ времени пріоб-

---

[1]) Онъ попросту дезертировалъ изъ войска.

Примѣч. переводч.

рѣлъ большую извѣстность и популярность, какъ музыкантъ и какъ учитель музыки. Онъ игралъ, дирижировалъ и писалъ композиціи, а число его частныхъ уроковъ возросло до того, что одно время онъ давалъ ихъ 35 въ недѣлю. Но эта усиленная дѣятельность нимало не истощала его громадной энергіи; онъ не потерялъ своей склонности къ наукамъ, и, по словамъ современнаго ему біографа, «послѣ 14 или 16 часовъ неустаннаго дневного труда, онъ съ жадностью бросался при наступленіи ночи освѣжить свой умъ, если такъ можно выразиться, нѣсколькими предложеніями изъ Маклореновыхъ флюксій или тому подобной книги». Занятія музыкой давно уже заронили въ него интересъ къ математикѣ, и, повидимому, изученіе *Гармоній* Роберта Смита побудило его прочесть *Полную систему оптики* того же автора и заинтересоваться устройствомъ и употребленіемъ телескоповъ. Прочтя вскорѣ послѣ этого руководство по астрономіи, онъ пожелалъ лично увидѣть все, что написано въ книгахъ; началъ онъ съ того, что взялъ напрокатъ небольшой отражательный телескопъ, затѣмъ началъ помышлять о покупкѣ большого инструмента, но онъ оказался не по его карману. Такимъ образомъ, онъ мало-по-малу пришелъ къ мысли о сооруженіи собственнаго телескопа (1773). Братъ его Александръ, которому онъ пріискалъ въ Батѣ занятіе по части музыки и который, очевидно, обладалъ крупнымъ механическимъ талантомъ, но ни каплей вильямовой настойчивости, помогалъ ему въ его предпріятіи, а самоотверженная его сестра *Каролина* (1750 — 1848), привезенная Вильямомъ въ Англію въ 1772 году, не только вела хозяйство, но и оказывала

брату массу мелкихъ услугъ. Операція обтачиванія и полированія зеркала для телескопа требовала величайшей осторожности и въ нѣкоторыхъ стадіяхъ непрерывной работы въ теченіе многихъ часовъ. Однажды Гершель не отнималъ руки отъ полировальнаго инструмента въ теченіе 16 часовъ подъ рядъ, такъ что Каролина «для поддержанія въ немъ силъ должна была кормить его, кладя ему въ ротъ кусочки пищи», а въ менѣе экстренныхъ случаяхъ развлекать во время скучной работы чтеніемъ вслухъ; съ чувствомъ нѣкотораго облегченія мы узнали, что въ этомъ случаѣ читались книги не по математикѣ, оптикѣ либо астрономіи, но такія, какъ *Донъ-Кихотъ, Арабскія ночи* и романы Стерна и Фильдинга.

252. Послѣ множества неудачныхъ попытокъ Гершелю удалось, наконецъ, соорудить сносный отражательный телескопъ (за нимъ послѣдовали вскорѣ болѣе крупные и совершенные инструменты), при помощи котораго онъ и сдѣлалъ свое первое изъ зарегистрированныхъ наблюденій надъ туманностью Оріона, въ мартѣ 1774 года.

Это наблюденіе, сдѣланное имъ на 36 году жизни, можно съ удобствомъ принять за начало его астрономической карьеры, хотя музыка оставалась его профессіей еще въ теченіе многихъ лѣтъ и астрономіей онъ могъ заниматься лишь въ немногіе часы досуга; біографы рисуютъ живыя картины его необычайной дѣятельности въ этотъ періодъ и усердія, доходившаго до того, что онъ пользовался даже такими промежутками, какъ антракты между театральными дѣйствіями, чтобы бросить взглядъ, другой въ свои драгоцѣнные телескопы.

Письмо его отъ 1783 года даетъ полное представленіе о томъ одушевленіи, съ которымъ онъ въ эту пору занимался астрономіей:

«Я рѣшилъ не принимать ничего на вѣру, но собственными глазами увидѣть все, что другіе видѣли до меня... Я, наконецъ, успѣлъ соорудить такъ-называемый Ньютоновскій инструментъ, длиной въ 7 футовъ. Затѣмъ я перешелъ къ 10-тифутовому и, наконецъ, къ 20-тифутовому, ибо твердо рѣшилъ довести свои телескопы до возможной степени совершенства. Когда я тщательно и всесторонне обработалъ большой инструментъ во всѣхъ его частяхъ, то сталъ имъ систематически пользоваться при своихъ небесныхъ наблюденіяхъ, предварительно давъ себѣ слово не оставлять ни одного, даже самаго ничтожнаго, клочка неба безъ надлежащаго изслѣдованія».

Подчиняясь этому рѣшенію, онъ четыре раза, начиная съ 1775 года, причемъ каждый разъ пользовался инструментомъ все большей силы, производилъ обозрѣніе всего небеснаго свода, причемъ всѣ маломальски интересные объекты отмѣчалъ, а въ случаѣ надобности подвергалъ и болѣе тщательному изслѣдованію. Такимъ образомъ, онъ примѣнялъ въ астрономіи методы, подобные тѣмъ, которыми пользуется натуралистъ, желающій составить полный списокъ флоры или фауны какой-нибудь малоизвѣстной страны.

253. При второмъ изъ этихъ обозрѣній, произведенномъ при помощи 7-мифутоваго телескопа Ньютоновскаго типа, онъ сдѣлалъ открытіе (13 марта 1781 года), доставившее ему всеевропейскую извѣстность и возможность бросить музыку, какъ профессію, и всецѣло отдаться интересамъ науки.

«Занимаясь изслѣдованіемъ слабыхъ звѣздочекъ въ сосѣдствѣ Н Близнецовъ, я замѣтилъ одну, которая показалась мнѣ замѣтно больше другихъ; пораженный ея необычайнымъ видомъ, я сравнилъ ее съ Н Близнецовъ и маленькой звѣздой въ участкѣ

между Возничимъ и Близнецами, и такъ какъ она оказалась значительно больше каждой изъ нихъ, то я заподозрилъ въ ней комету».

Если бы предположенія Гершеля оправдались, то открытіе его оказалось бы гораздо менѣе интереснымъ, чѣмъ это было на самомъ дѣлѣ; послѣ того, какъ произведены были дальнѣйшія наблюденія новаго тѣла и сдѣланы попытки вычислить его орбиту, обнаружилось, что движеніе его никоимъ образомъ не соотвѣтствуетъ кометной орбитѣ, а черезъ три или четыре мѣсяца было дознано—прежде всѣхъ *Андерсомъ Іоганномъ Лекселемъ* (1740—1784),—что новое тѣло—не комета, но планета, обращающаяся вокругъ солнца почти по круговой орбитѣ на разстояніи, почти въ 19 разъ превосходящемъ разстояніе земли и почти вдвое—Сатурна.

До этого момента не было открыто въ историческія времена ни одной планеты, и потому открытіе Гершеля являлось единственнымъ въ своемъ родѣ; даже періодъ открытія спутниковъ, начавшійся съ Галилеемъ (гл. VI, § 121), завершился почти столѣтіемъ раньше (въ 1684), когда Кассини открылъ свою вторую пару спутниковъ Сатурна (гл. VIII, § 160). Гершель, которому принадлежало право окрестить планету, пожелалъ назвать ее въ честь своего царственнаго покровителя *Georgium Sidus*, *Георгіевой звѣздой*, но, хотя это имя и находилось нѣкоторое время въ употребленіи въ Англіи, астрономы континента не приняли его, и послѣ неудачной попытки окрестить новое тѣло именемъ *Гершеля*, всѣ согласились на томъ, что планетѣ слѣдуетъ дать имя, сходное съ именами остальныхъ планетъ, и со всеобщаго одобренія она была названа Ураномъ

Хотя къ этому времени Гершель успѣлъ напечатать двѣ или три ученыхъ работы и, по всей вѣроятности, пользовался нѣкоторой извѣстностью въ англійскихъ ученыхъ кружкахъ, но на континентѣ незнаніе имени виновника замѣчательнаго открытія доходило прямо до курьезовъ; въ одномъ изъ руководящихъ астрономическихъ журналовъ (*Астрономическій Ежегодникъ* Боде) обсуждался вопросъ о томъ, какъ писать его фамилію; попадался даже такой варіантъ, какъ Mersthel; Hertschel — еще куда ни шло [1].

254. Съ открытіемъ Урана Гершель, разумѣется, вышелъ изъ неизвѣстности. Именитые посѣтители Бата, между которыми находился королевскій астрономъ Маскелайнъ (гл. X, § 219), искали его знакомства; еще до окончанія года онъ былъ избранъ въ члены Королевскаго Общества, не считая полученной имъ медали, а слѣдующей весной получилъ приглашеніе явиться ко двору и представить себя, свои телескопы и звѣзды Георгу III и нѣкоторымъ членамъ королевской семьи. Въ результатѣ этого визита король назначилъ его королевскимъ астрономомъ съ ежегоднымъ окладомъ въ 200 фунтовъ (1200 рублей по тогдашнему курсу).

Съ этимъ назначеніемъ окончилась его карьера музыканта, и въ августѣ 1782 года его братъ и сестра навсегда покинули Батъ и поселились сперва въ развалившемся домѣ въ Датчетѣ, а черезъ нѣсколько мѣсяцевъ (1785—1786), проведенныхъ въ Клэй-

---

[1]) Его называли и Гарчелемъ, и Герстелемъ, и еще болѣе удивительными комбинаціями. Французы долго называли его Горошелемъ. Самъ же онъ писалъ свое имя Herschel.

Примѣч. перев.

Вильямъ Гершель.

(Къ стр. 460).

Голлѣ въ Старомъ Виндзорѣ, переѣхали въ Слоу, въ домъ, нынѣ извѣстный подъ названіемъ Дома обсерваторіи и прославленный словами Араго: «le lieu du monde où il a été fait le plus de découvertes» — «уголокъ міра, къ которомъ сдѣлано было наибольшее число открытій».

255. Хотя скромнаго жалованья, назначеннаго Гершелю, и хватало на нужды его и сестры Каролины, однако, его было, разумѣется, болѣе чѣмъ недостаточно для покрытія разнообразныхъ расходовъ по сооруженію и установкѣ телескоповъ. Къ этому времени онъ до того изощрился въ своемъ искусствѣ, что его телескопы далеко оставляли за собой телескопы другихъ конструкторовъ, и такъ какъ методы изготовленія ихъ составляли его секретъ, то онъ получалъ массу заказовъ. Даже во время пребыванія въ Батѣ онъ изготовилъ и продалъ нѣсколько штукъ, а когда поселился по сосѣдству съ Виндзоромъ, то въ теченіе многихъ лѣтъ получалъ изрядный доходъ отъ этого занятія, такъ какъ въ числѣ его заказчиковъ считалась королевская фамилія и нѣкоторые изъ извѣстныхъ англійскихъ и иностранныхъ астрономовъ.

Къ счастью, въ 1788 году необходимость тратить драгоцѣнное время на постороннія занятія исчезла, благодаря женитьбѣ Гершеля на особѣ съ богатымъ приданымъ; съ этихъ поръ Каролина занимала квартиру отдѣльно отъ брата, но неподалеку отъ него, и попрежнему помогала ему съ неослабнымъ усердіемъ.

Къ концу 1783 года Гершель закончилъ телескопъ въ 20 футовъ длиной, при зеркалѣ въ 18 дюймовъ діаметромъ, и съ помощью этого инструмента со-

вершилъ лучшія свои работы; но онъ не считалъ еще, что достигъ границъ возможнаго. Послѣднюю зиму въ Батѣ онъ провелъ въ неудачныхъ попыткахъ соорудить при содѣйствіи брата 30-тифутовый телескопъ; открытіе Урана и послѣдовавшія за нимъ событія помѣшали ему возобновить свои попытки, но въ 1785 году онъ принялся за изготовленіе 40-кафутоваго телескопа съ зеркаломъ въ четыре фута діаметромъ; расходы по его устройству возмѣстились богатымъ даромъ со стороны короля. Пока онъ изготовлялся, Гершель испыталъ новую конструкцію отражательныхъ телескоповъ, придуманную Лемеромъ въ 1732 году, но ни разу еще не употреблявшуюся; она давала значительный выигрышъ въ яркости изображеній, правда, нѣсколько въ ущербъ ихъ отчетливости. Эта **гершелевская** или **фронтовая** конструкція, какъ ее называютъ, впервые была испытана на 20-тифутовомъ телескопѣ и повела къ открытію (11 января 1787 года) двухъ спутниковъ Урана, Оберона и Титаніи; съ тѣхъ поръ онъ ее постоянно употреблялъ. Послѣ различныхъ неудачъ 40-кафутовый телескопъ (фиг. 82) былъ, наконецъ, успѣшно законченъ. Въ первый же вечеръ (28 августа 1789 года) при помощи его былъ открытъ шестой спутникъ Сатурна (Энцеладъ), а 17 сентября болѣе слабый седьмой (Мимасъ). Оба спутника оказались ближе къ планетѣ, чѣмъ пять ранѣе открытыхъ, и изъ нихъ ближайшимъ—Мимасъ (фиг. 91).

Хотя для наблюденія крайне слабыхъ объектовъ, вродѣ означенныхъ спутниковъ, большой телескопъ былъ незамѣнимъ, однако, для множества наблюденій иного характера и вообще во всѣ ве-

чера, кромѣ развѣ очень ясныхъ, годился и малый телескопъ, а такъ какъ онъ былъ менѣе громоздокъ, то имъ и пользовались гораздо чаще. Зеркало большого телескопа портилось съ теченіемъ времени, и съ 1811 года, когда руки Гершеля потеряли способность къ тонкой работѣ, какой требовала бы переполировка зеркала, онъ пересталъ пользоваться этимъ инструментомъ, который продолжалъ, однако, стоять до 1839 года, послѣ чего его разобрали на части.

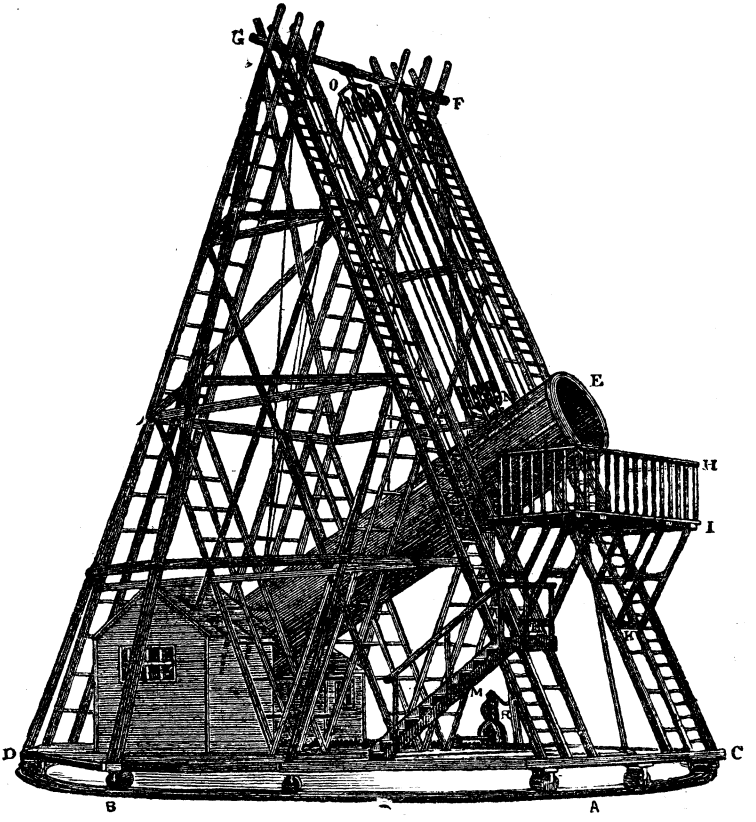
256. Со времени переселенія въ Слоу и до глубокой старости, когда силы стали измѣнять Гершелю, исторія его жизни почти всецѣло исчерпывалась его трудами. Онъ имѣлъ обыкновеніе пользоваться для наблюденій каждой мало-мальски ясной ночью; дневные часы онъ посвящалъ разработкѣ своихъ наблюденій и писанію статей, въ которыхъ излагалъ свои результаты. Его сестра почти всегда присутствовала въ качествѣ ассистента при его наблюденіяхъ и съ большимъ успѣхомъ каталогизировала и исполняла тому подобныя работы, облегчая трудъ своему брату. По отъѣздѣ изъ Бата она самостоятельно производила наблюденія, хотя только въ то время, когда братъ былъ въ отсутствіи или не нуждался въ ея услугахъ. Она спеціализировалась въ кометной астрономіи и открыла не менѣе восьми кометъ. Чтобы составить себѣ вѣрное представленіе о неудобствахъ и даже опасности, сопряженныхъ съ ночными наблюденіями, мы должны припомнить, что огромные телескопы Гершеля воздвигались на открытомъ мѣстѣ и что какъ Ньютоновскій, такъ и Гершелевскій типы рефлекторовъ требовали нахожденія наблюдателя у верх-

няго конца телескопа, слѣдовательно, на значительной высотѣ надъ землей. При 40-кафутовомъ, напримѣръ, надо было взбираться по 50-тифутовымъ лѣстницамъ, чтобы достигнуть платформы, на которой помѣщается наблюдатель. Далѣе, въ присутствіи луннаго или искусственнаго освѣщенія вообще нельзя было получить удовлетворительныхъ наблюденій. Неудивительно, поэтому, что въ дневникѣ Каролины Гершель мы то и дѣло читаемъ объ опасеніяхъ ея за здоровье и благополучіе брата въ подобныхъ случаяхъ, и скорѣе нужно удивляться тому, что съ нимъ рѣдко случались крупныя непріятности.

Помимо серьезной работы, Гершелю приходилось тратить время на частые пріемы посѣтителей, являвшихся въ Слоу или изъ простого любопытства, или изъ неподдѣльнаго научнаго интереса и желанія видѣть великаго человѣка и его чудесные телескопы. Въ 1801 году онъ отправился въ Парижъ, гдѣ познакомился съ Лапласомъ и видѣлъ Наполеона, астрономическія познанія котораго оцѣнилъ гораздо ниже познаній Георга III, но который «дѣлалъ видъ, что знаетъ больше, чѣмъ оказывалось на самомъ дѣлѣ».

Весной 1807 года онъ серьезно болѣлъ; съ этого времени здоровье его пошатнулось, вслѣдствіе чего онъ больше занимался, сидя въ комнатѣ. Послѣдняя изъ огромнаго количества работъ, представленныхъ въ Королевское Общество, появилась въ 1818 году, когда ему было подъ 80, хотя три года спустя онъ представилъ списокъ новооткрытыхъ двойныхъ звѣздъ во вновь основанное Королевское Астрономическое Общество. Около этого же времени онъ

сдѣлалъ свое послѣднее наблюденіе, а умеръ черезъ годъ съ небольшимъ (21 августа 1822), почти 84 лѣтъ отроду.



Фиг. 82. Сорокафутовый телескопъ Гершеля.

Онъ оставилъ одного только сына, Джона, тоже астронома, но не столь знаменитаго, какъ его отецъ (гл. XIII, § 306—308). Послѣ смерти любимаго брата Каролина Гершель вернулась въ Гановеръ, доживать вѣкъ въ кругу родныхъ; здѣсь она совер-

шила важный трудъ, именно привела въ удобную систему и занесла въ каталогъ списокъ открытыхъ братомъ туманностей, и остальныя 26 лѣтъ своей долгой жизни интересовалась и жила, повидимому, главнымъ образомъ, счастливой астрономической карьерой своего племянника Джона.

257. Предыдущія описанія трудовъ Гершеля, сдѣланныя при изложеніи событій его жизни, показали намъ его преимущественно, какъ строителя гигантскихъ телескоповъ, своей силой значительно превосходившихъ всѣ, ранѣе существовавшіе, и какъ прилежнаго и добросовѣстнаго наблюдателя всего, что можно обозрѣть на небѣ при помощи телескопа. Солнце и луна, планеты и неподвижныя звѣзды, всѣ эти свѣтила подверглись изслѣдованію, ихъ особенности замѣчены и описаны. Но самъ Гершель смотрѣлъ на этотъ созерцательно - описательный трудъ лишь какъ на средство, ибо, какъ онъ выразился въ 1811 году, «ознакомленіе съ устройствомъ небесъ—вотъ что всегда составляло конечную цѣль моихъ наблюденій».

Въ теченіе многихъ столѣтій астрономія почти исключительно занималась видимыми положеніями различныхъ свѣтилъ на небесной сферѣ, т.-е. ихъ направленіями. Коперникъ и его послѣдователи нашли, что кажущіяся движенія членовъ солнечной системы по небесной сферѣ можно объяснить, лишь принявъ въ разсчетъ ихъ дѣйствительныя движенія въ пространствѣ, такъ что солнечную систему этимъ самымъ признали состоящей изъ тѣлъ, помѣщенныхъ на различныхъ разстояніяхъ отъ земли и отдѣленныхъ другъ отъ друга извѣстнымъ числомъ миль, или верстъ. Но съ неподвижными звѣздами дѣло

обстояло иначе: за маловажнымъ исключеніемъ собственныхъ движеній немногихъ звѣздъ (гл. X, § 203), всѣ остальныя ихъ кажущіяся движенія объяснялись какъ результатъ движенія земли; а вопросъ объ относительныхъ или истинныхъ разстояніяхъ звѣздъ почти не подвергался разсмотрѣнію. Хотя вѣра въ матеріальное существованіе небесной сферы, къ которой прикрѣпляли звѣзды, едва ли выдержала нападки Тихо Браге и Галилея, и всякій видный астрономъ конца XVII или XVIII вѣка безъ колебаній призналъ бы неодинаковость звѣздныхъ разстояній отъ земли, однако, это было скорѣе простымъ вѣрованіемъ, весьма мало вліявшимъ на ходъ астрономическаго прогресса.

Въ дѣйствительности, геометрической концепціи, по которой звѣзды отмѣчались точками на небесной сферѣ, было вполнѣ достаточно для обыкновенныхъ астрономическихъ цѣлей, и вниманіе великихъ астрономовъ-наблюдателей вродѣ Флэмстида, Брадлея и Лакайля направлено было почти всецѣло на опредѣленіе положеній этихъ точекъ съ еликовозможной точностью или же на наблюденіе движеній тѣлъ солнечной системы. Сверхъ того, задачи, поставленныя теоріей Ньютона, естественно сосредоточивали вниманіе астрономовъ XVIII вѣка, главнымъ образомъ, на солнечной системѣ, хотя даже и съ этой точки зрѣнія имѣло большой смыслъ составленіе звѣздныхъ каталоговъ, дающихъ постоянныя точки, къ которымъ можно относить положенія тѣлъ солнечной системы.

Почти единственное исключеніе изъ этой общей тенденціи составляли попытки — правда, неудачныя — нахожденія параллакса и, слѣдовательно, разстояній

нѣкоторыхъ неподвижныхъ звѣздъ, — задача, впервые выдвинутая ученіемъ Коперника, но и сама по себѣ представлявшая глубокій внутренній интересъ.

Поэтому, Гершель открылъ совершенно новое поле, когда сталъ изучать звѣздную систему и взаимныя соотношенія ея членовъ *per se*, такъ сказать, для нея самой. Съ этой новой точки зрѣнія солнце, съ сопровождающими его планетами, стало одной изъ безчисленнаго сонмища звѣздъ, которая прежде ставилась въ такое исключительное положеніе, благодаря тому случайному обстоятельству, что мы живемъ на одной изъ ея планетъ.

258. Полное представленіе о расположеніи звѣздъ въ пространствѣ мы могли бы, разумѣется, получить, лишь измѣривъ параллаксъ каждой изъ нихъ (гл. VI, § 129, и гл. X, § 207). Неудачныя попытки такихъ астрономовъ, какъ Брадлей, въ опредѣленіи параллакса какой-нибудь звѣзды въ достаточной степени показали безнадежность этого предпріятія вообще, и, хотя Гершель съ своей стороны пытался находить параллаксы (§ 263), онъ тѣмъ не менѣе ясно видѣлъ, что вопросъ о распредѣленіи звѣздъ въ пространствѣ, если только вообще доступенъ рѣшенію, требуетъ приложенія болѣе простыхъ, если и менѣе надежныхъ методовъ въ широкомъ масштабѣ.

И вотъ онъ изобрѣлъ свой методъ **черпанія звѣздъ.** Самый поверхностный взглядъ, брошенный на небо, въ достаточной степени убѣждаетъ насъ въ томъ, что доступныя невооруженному глазу звѣзды неравномѣрно распредѣлены по небесной сферѣ; это справедливо и относительно слабыхъ звѣздъ, наблюдаемыхъ въ телескопъ. Если сравнить два участка

неба одинаковой кажущейся, т.-е. угловой, величины, то можетъ случиться, что въ одномъ мы насчитаемъ во много разъ больше звѣздъ, чѣмъ въ другомъ. Если мы представимъ себѣ, что звѣзды не находятся на сферѣ, но разсѣяны въ пространствѣ на различныхъ разстояніяхъ отъ насъ, то неравномѣрное распредѣленіе ихъ на небѣ можетъ быть объяснено двояко: или дѣйствительнымъ неравномѣрнымъ ихъ распредѣленіемъ въ пространствѣ, или же неодинаковостью разстояній, на которыя простирается звѣздная система въ направленіяхъ двухъ взятыхъ нами звѣздныхъ группъ. Первый небесный участокъ можетъ соотвѣтствовать такой части пространства, гдѣ звѣзды дѣйствительно скучены, или же указывать наибольшее направленіе, въ которомъ растянута звѣздная система, такъ что звѣзды, накладываясь слой за слоемъ однѣ на другія, производятъ впечатлѣніе скученности. Все равно, какъ если бы мы стояли въ лѣсу и лѣсъ казался намъ менѣе густымъ въ одномъ направленіи, чѣмъ въ другомъ; это могло бы происходить какъ оттого, что деревья въ этомъ направленіи дѣйствительно разсажены рѣдко, такъ и оттого, что мы находимся по близости опушки.

Не имѣя никакихъ апріорныхъ свѣдѣній объ истинномъ расположеніи звѣздъ въ пространствѣ, Гершель принялъ первую изъ этихъ двухъ гипотезъ; именно, онъ принималъ видимую скученность звѣздъ въ какомъ-нибудь участкѣ неба за мѣру глубины, на которую звѣздныя системы простираются въ этомъ направленіи, и съ этой точки зрѣнія истолковывалъ результаты огромной массы наблюденій. Онъ пользовался 20-тифутовымъ телескопомъ, кото-

рый приспособлялъ такъ, что могъ въ него видѣть круглый участокъ неба діаметромъ въ 15′ (четверть площади солнечнаго диска или полной луны); телескопъ онъ направлялъ въ различныя части неба и считалъ здѣзды, появлявшіяся въ его полѣ каждый разъ. Чтобы избѣгнуть случайныхъ неправильностей, онъ обыкновенно бралъ среднее ариѳметическое нѣсколькихъ смежныхъ полей зрѣнія, и въ 1785 году обнародовалъ результаты такихъ черпаній, произведенныхъ въ 683 участкахъ [1]); впослѣдствіи онъ добавилъ отчетъ еще о 400 черпаніяхъ, результаты которыхъ вначалѣ не считалъ

Фиг. 83. Сѣченіе звѣздной системы. Изъ статьи Гершеля, помѣщенной въ *Philosophical Transactions.*

необходимымъ обнародовать. Въ то время, какъ въ однихъ участкахъ неба онъ видѣлъ въ среднемъ по одной звѣздѣ за разъ, въ другихъ насчитывалось чуть не по 600; а однажды онъ оцѣнилъ число звѣздъ, прошедшихъ черезъ поле его телескопа въ теченіе одной только четверти часа, въ 116.000. Общій результатъ былъ таковъ, что звѣзды, какъ это представляется и невооруженному глазу, болѣе скучены поблизости и въ самомъ Млечномъ Пути,

[1]) Въ статьѣ Гершеля отъ 1817 года напечатано 863, но изъ справокъ съ оригинальной работой 1785 года явствуетъ, что это опечатка.

а менѣе всего—въ частяхъ неба, наиболѣе отъ него удаленныхъ. Млечный Путь образуетъ на небѣ полосу съ неясными очертаніями, не на много уклоняющуюся отъ большого круга (иногда называемаго **галактическимъ** кругомъ); такимъ образомъ, по воззрѣніямъ Гершеля, пространство, занимаемое звѣздами, имѣетъ форму диска или жернова, діаметръ котораго, по его вычисленіямъ, приблизительно въ пять разъ превышаетъ толщину. Далѣе, Млечный Путь на нѣкоторой части своего протяженія раздѣляется на двѣ вѣтви или рукава, пространство между которыми сравнительно свободно отъ звѣздъ. На этомъ основаніи онъ предположилъ существованіе трещины въ «жерновѣ».

Эта теорія вселенной — «жернова» предложена была въ 1750 году *Томасомъ Райтомъ* (1711—1786) въ его *Теоріи вселенной,* а спустя пять лѣтъ — Кантомъ; но никто изъ нихъ не пытался, подобно Гершелю, собрать числовыя данныя и обстоятельно разработать во всѣхъ деталяхъ слѣдствія основной гипотезы.

Гершель съ самаго начала видѣлъ, что гипотеза равномѣрнаго распредѣленія звѣздъ въ пространствѣ не можетъ быть вѣрной въ деталяхъ. Напримѣръ, звѣздная куча, въ которой собраны на небольшомъ участкѣ неба цѣлыя тысячи слабыхъ звѣздочекъ, можетъ представлять собой нѣчто вродѣ длиннаго веретена изъ звѣздъ, простирающагося далеко за предѣлы смежныхъ частей звѣздной системы и направленнаго въ сторону, противоположную направленію солнечной системы. Такимъ же точно образомъ, участки неба, бѣдные звѣздами, можно принимать за туннели, пронизывающіе звѣзд-

ную систему. Мало вѣроятно, чтобы на дѣлѣ существовало хотя одно-два такихъ веретена или туннеля, а такъ какъ звѣздныхъ кучъ и до Гершеля извѣстно было множество, Гершель же открывалъ ихъ цѣлыми сотнями, то существованіе ихъ невозможно было объяснить этой гипотезой, и оказалось необходимымъ предположить, что звѣздная куча занимаетъ часть пространства, въ которомъ звѣзды дѣйствительно тѣснѣе скучены, чѣмъ въ другомъ мѣстѣ.

Дальнѣйшее изученіе распредѣленія звѣздъ, особенно расположенныхъ въ Млечномъ Пути, постепенно убѣждало Гершеля въ томъ, что его первоначальное предположеніе въ гораздо большей мѣрѣ уклоняется отъ истины, чѣмъ ему казалось сначала, и въ 1811 году, почти черезъ 30 лѣтъ послѣ начала звѣзднаго «черпанія», онъ совершенно перемѣнилъ свое мнѣніе:

«Я долженъ откровенно сознаться, что по мѣрѣ того, какъ я продолжалъ выметать небо, моё мнѣніе о распредѣленіи звѣздъ... претерпѣвало постепенное измѣненіе... Напримѣръ, нѣкоторыя вычисленія указываютъ на равномѣрное распредѣленіе ихъ; но если мы станемъ изслѣдовать Млечный Путь или тѣсныя звѣздныя кучи, во множествѣ занесенныя въ мои каталоги, то придется оставить мысль о предполагаемой равномѣрности распредѣленія».

Отъ метода черпанія звѣздъ первоначально ожидались указанія относительно предѣловъ звѣздной системы или видимыхъ частей ея. На ряду съ этимъ методомъ Гершель постоянно принималъ яркость звѣзды за вѣроятный критерій ея разстоянія. Если двѣ звѣзды въ дѣйствительности излучаютъ одинаковое количество свѣта, то та изъ нихъ покажется ярче, которая ближе къ намъ; и если

предположить, что свѣтъ не задерживается и не поглощается во время прохожденія черезъ пространство, то видимая яркость двухъ звѣздъ будетъ обратно пропорціональна квадрату ихъ относительныхъ разстояній. Значитъ, если мы отъ одной звѣзды получаемъ въ девять разъ больше свѣта, чѣмъ отъ другой, и если предположить, что различіе въ яркости обусловливается только ихъ разстояніемъ, то первая звѣзда втрое ближе другой и такъ далѣе.

Предположеніе, что звѣзды въ общемъ излучаютъ одинаковое количество свѣта, такъ что различіе въ ихъ кажущейся яркости обусловливается исключительно разстояніемъ, носитъ тотъ же общій характеръ, что и гипотеза о равномѣрномъ ихъ распредѣленіи. Несомнѣнно, существуетъ много исключеній, но за неимѣніемъ болѣе точныхъ свѣдѣній мы можемъ пользоваться этимъ импровизированнымъ способомъ опредѣленія относительныхъ разстояній звѣздъ съ нѣкоторой долей вѣроятности.

Для того, чтобы примѣнить этотъ методъ, необходимо было обладать какими-нибудь средствами для сравненія свѣта, идущаго отъ звѣздъ. Гершель пользовался для этой цѣли телескопами различныхъ размѣровъ. Если наблюдать одну и ту же звѣзду двумя отражательными телескопами одинаковой конструкціи, но различной величины, то количество свѣта, посылаемаго телескопомъ въ нашъ глазъ, пропорціонально площади зеркала, собирающаго свѣтъ, слѣдовательно, квадрату діаметра зеркала. Значитъ, кажущаяся яркость звѣзды, наблюдаемой въ телескопъ, съ одной стороны, обратно пропорціональна квадрату ея разстоянія, а съ другой —

прямо пропорціональна квадрату діаметра зеркала. Напримѣръ, если одна звѣзда наблюдается въ телескопъ съ восьмидюймовымъ зеркаломъ, а другая — въ огромный телескопъ съ четырехфутовымъ зеркаломъ и обѣ кажутся одинаково яркими, то вторая звѣзда — исходя изъ основного положенія — въ шесть разъ дальше другой.

Точно такъ же за критерій разстоянія звѣздъ Гершель принималъ величину зеркала, достаточную для того, чтобы звѣзда была чуть видна, и въ этомъ-то смыслѣ онъ постоянно употреблялъ выраженіе «пространство проницающая сила телескопа». Опираясь на это предположеніе, онъ считалъ, что самыя слабыя звѣзды, доступныя невооруженному глазу, почти въ двѣнадцать разъ дальше самыхъ яркихъ, вродѣ Арктура; если бы Арктура можно было удалить на разстояніе, въ 900 разъ бо̀льшее, чѣмъ нынѣшнее, то онъ былъ бы едва видимъ въ 20-тифутовый телескопъ, которымъ Гершель обыкновенно пользовался, а 40-кафутовый проникъ бы въ пространство на разстояніе, вдвое большее.

На склонѣ лѣтъ (1807) Гершель попытался статистически провѣрить два своихъ предположенія: о равномѣрномъ распредѣленіи звѣздъ въ пространствѣ и объ ихъ одинаковой яркости; онъ для этого сосчитывалъ звѣзды каждой степени яркости и съ этими числами сопоставлялъ числа, вытекающія изъ равномѣрнаго распредѣленія звѣздъ въ пространствѣ, въ предположеніи, что ихъ яркость зависитъ исключительно отъ разстоянія. Это изслѣдованіе распространялось только на звѣзды, видимыя невооруженнымъ глазомъ, и на самыя яркія изъ

телескопическихъ звѣздъ и указывало на избытокъ слабыхъ звѣздочекъ этихъ классовъ, такъ что или эти звѣзды тѣснѣе скучены въ пространствѣ, нежели яркія, или же онѣ въ дѣйствительности меньше или менѣе блестящи, нежели тѣ; но окончательнаго вывода относительно распредѣленія звѣздъ онъ не могъ получить.

259. Съ вопросомъ о строеніи звѣздной системы тѣснѣйшимъ образомъ связанъ вопросъ о распредѣленіи и природѣ **туманностей** (фиг. 100, 102) и **звѣздныхъ кучъ** или **скопленій** (фиг. 104). Когда Гершель приступилъ къ работѣ, извѣстно было немного болѣе сотни такихъ тѣлъ, открытыхъ по большей части французскими наблюдателями Лакайлемъ (гл. X, § 223) и *Шарлемъ Мессье* (1730—1817). По профессіи Мессье былъ, можно сказать, ловцомъ кометъ; по ошибкѣ принимая туманности за кометы, онъ занесъ въ каталогъ (1781) положенія 103 туманныхъ пятенъ. Открытія Гершеля—производившіяся гораздо систематичнѣе и съ могучими инструментальными средствами—измѣрялись несравненно болѣе широкимъ масштабомъ. Въ 1786 году онъ представилъ въ Королевское Общество каталогъ 1000 новооткрытыхъ туманностей и скопленій, три года спустя — второй каталогъ такихъ же размѣровъ, а въ 1802—третій каталогъ, состоящій изъ 500 записей. Онъ тщательно наблюдалъ каждую туманность, отмѣчалъ и описывалъ ея общій видъ и положеніе, а чтобы получить общее представленіе о распредѣленіи туманностей на небѣ, онъ заносилъ ихъ положенія на звѣздную карту. Различіе въ яркости и въ видимомъ строеніи повело къ раздѣленію ихъ на восемь классовъ; въ самой ранней стадіи своихъ

работъ онъ выразительно описываетъ (1786) необычайное ра нообразіе ихъ формъ, которое онъ встрѣтилъ:

«Я видѣлъ двойныя и тройныя туманности въ разнообразнѣйшихъ положеніяхъ; большія съ малыми, напоминавшими спутниковъ; узкія и очень длинныя, свѣтлыя туманности, или блестящія брызги; иныя имѣли форму вѣера или электрической кисти, исходящей изъ свѣтлой точки; другія напоминали кометы, съ ядрами въ центрѣ; попадались звѣзды, окруженныя туманной оболочкой; встрѣчались и туманности млечнаго характера, вродѣ удивительнаго и непонятнаго образованія около Θ Оріона; наконецъ, я видѣлъ туманныя пятна, неоднородно свѣтящіяся, что указывало, повидимому, на ихъ разрѣшимость въ звѣзды».

260. Но самую интересную задачу классификаціи составляло выясненіе соотношенія, существующаго между туманностями и звѣздными кучами. Плеяды, напримѣръ, нормальному глазу представляются тѣсной группой шести звѣздочекъ, но многіе близорукіе люди видятъ на ихъ мѣстѣ пятно, нѣсколько болѣе свѣтлое, нежели прилежащая часть неба; далѣе, туманное пятно, какимъ представляются невооруженному глазу *Praesepe* или Ясли (въ Ракѣ), разрѣшается даже самымъ слабымъ телескопомъ въ скопленіе мелкихъ звѣздочекъ. Точно такъ же существуетъ много объектовъ, въ малые телескопы представляющихся облачками или туманностями, но въ болѣе сильные инструменты оказывающихся звѣздными кучами. Въ частности Гершель нашелъ, что многіе объекты, казавшіеся Мессье туманностями, въ его громадные телескопы разрѣшались въ звѣздныя кучи, тогда какъ другіе продолжали оставаться туманностями. Вотъ собственныя его слова:

«Туманности можно классифицирогать въ едва чувствительныя градаціи, начиная отъ явной звѣздной кучи вродѣ Плеядъ вплоть до молочной туманности, что въ Оріонѣ, и наблюдать всѣ промежуточныя ступени».

Эти факты съ очевидностью показывали, что различіе между туманностями и звѣздными кучами есть лишь вопросъ разрѣшающей силы телескопа, что̀ Гершель и выразилъ слѣдующей фразой:

«Это, повидимому, подтверждаетъ гипотезу, что всѣ онѣ состоятъ изъ звѣздъ, болѣе или менѣе отдаленныхъ».

Мысль не новая и во всякомъ случаѣ уже высказанная, скорѣе изъ умозрительныхъ, чѣмъ научныхъ основаній, въ 1755 году Кантомъ, который затѣмъ предположилъ, что отдѣльная туманность или звѣздная куча представляетъ собой скопленіе звѣздъ, по величинѣ и строенію вообще сравнимыхъ съ тѣми, которыя составляютъ Млечный Путь и съ другими отдѣльными звѣздами, которыя мы видимъ. Съ этой точки зрѣнія солнце представляетъ собой одну изъ звѣздъ скопленія, а каждая туманность есть система того же порядка. Эта теорія туманностей — теорія «островныхъ вселенныхъ», какъ ее назвали, сперва была принята и Гершелемъ, такъ что онъ однажды въ разговорѣ могъ сообщить миссъ Берней, что ему удалось открыть 1500 новыхъ вселенныхъ.

Гершель, однако, былъ изъ тѣхъ изслѣдователей, которые не находятся въ рабствѣ у теорій, и уже въ 1791 году убѣдился изъ дальнѣйшихъ наблюденій, что вышеупомянутые взгляды не выдерживаютъ критики, и что, по крайней мѣрѣ, нѣкоторыя туманности существенно отличаются отъ звѣздныхъ кучъ. Въ защиту этого воззрѣнія онъ ссылается на нѣкоторый замѣчательный объектъ — туманную звѣзду, т.-е. тѣло, представляющее собой обыкновенную звѣзду, только окруженную шарообразной оболочкой, постепенно уменьшающейся въ яркости.

«Бросьте взглядъ, — говоритъ онъ, — на эту туманную звѣзду,

и вы убѣдитесь самымъ рѣшительнымъ образомъ... Смѣю сказать, вы вынесете впечатлѣніе, что туманность вокругъ звѣзды не звѣздной природы».

Если бы эта туманность была скопленіемъ звѣздъ, настолько удаленныхъ, что ихъ невозможно различать въ отдѣльности, то центральное тѣло должно было бы быть звѣздой неизмѣримо громадныхъ размѣровъ по сравненію съ обыкновенными звѣздами; если же центральное тѣло есть звѣзда обыкновенной величины, то туманность должна быть не звѣздной кучей, но чѣмъ-нибудь инымъ. Въ каждомъ изъ этихъ случаевъ объектъ являетъ черты, несвойственныя звѣзднымъ кучамъ признаннаго типа; изъ двухъ возможныхъ объясненій Гершель принялъ второе, считая туманность за «свѣтящуюся жидкость, природа которой намъ совершенно неизвѣстна». Допустивъ, такимъ образомъ, одно исключеніе изъ своего прежняго правила, онъ къ остальнымъ перешелъ естественнымъ путемъ, по аналогіи, съ этихъ поръ считалъ туманности изъ разряда «свѣтящейся жидкости» образованіями, существенно отличными отъ звѣздныхъ кучъ, хотя во многихъ случаяхъ невозможно было опредѣлить, къ какому именно классу относится данный объектъ.

Данныя, собранныя Гершелемъ относительно распредѣленія туманностей, показывали, что, какова бы ни была ихъ природа, онѣ во всякомъ случаѣ не могутъ считаться образованіями, чуждыми общей звѣздной системѣ, какъ выходило по теоріи «островныхъ вселенныхъ». Прежде всего наблюденія показали ему, что отдѣльная туманность или звѣздная куча обыкновенно окружена пространствомъ, сравнительно лишеннымъ звѣздъ; это такъ часто

случалось, что при наблюденіи туманностей у него вошло въ привычку, при вступленіи такого пустого участка въ поле его телескопа, предупреждать свою сестру, чтобы она готовилась записать наблюденіе туманности. Когда, кромѣ того, узнаны были и записаны на карту положенія множества туманностей, то оказалось, что, въ то время какъ звѣздныя скопленія чаще встрѣчаются по близости Млечнаго Пути, туманности, повидимому, совершенно не разрѣшимыя въ звѣзды, въ этомъ мѣстѣ попадаются рѣдко, а, напротивъ того, обнаруживаютъ явную тенденцію группироваться въ небесныхъ областяхъ, наиболѣе удаленныхъ отъ Млечнаго Пути, то-есть около полюса галактическаго круга (§ 258). Если бы туманности представляли собой внѣшнія системы, то, разумѣется, нельзя было бы понять, почему ихъ распредѣленіе на небѣ находится въ нѣкоторой зависимости отъ малочисленныхъ звѣздъ вообще или отъ положенія Млечнаго Пути.

Замѣчательно, однако, что Гершель не вполнѣ оцѣнилъ въ этомъ смыслѣ слѣдствія своихъ собственныхъ наблюденій и до самой смерти, повидимому, считалъ, что нѣкоторыя туманности и скопленія суть внѣшнія «вселенныя», хотя многія составляютъ часть нашей собственной звѣздной системы.

261. Еще въ 1789 году Гершель высказалъ мысль, что различные виды туманностей и звѣздныхъ кучъ представляютъ собой одни и тѣ же объекты въ различныхъ стадіяхъ развитія, что какая-то «сплачивающая сила» превращаетъ разрѣженную туманность въ болѣе яркое и плотное тѣло, такъ что степень сгущенія можно разсматривать какъ признакъ «возраста». Онъ продолжаетъ:

«Эта точка зрѣнія проливаетъ новый свѣтъ на устройство неба. Оно мнѣ теперь представляется великолѣпнымъ садомъ, въ которомъ находится масса разнообразнѣйшихъ растеній, посаженныхъ въ различныя грядки и находящихся въ различныхъ степеняхъ развитія; изъ этого положенія вещей мы можемъ извлечь, по крайней мѣрѣ, одну выгоду: мы можемъ нашъ опытъ какъ бы растянуть на огромнѣйшіе промежутки времени. Именно (пользуясь и дальше сравненіемъ, позаимствованнымъ изъ растительнаго царства), я васъ спрошу, не все ли равно, будемъ ли мы послѣдовательно присутствовать при зарожденіи, цвѣтеніи, одѣваніи листвой, оплодотвореніи, увяданіи и, наконецъ, полной гибели растенія, или же одновременно будемъ созерцать массу образчиковъ, взятыхъ изъ различныхъ степеней развитія, черезъ которыя растеніе проходитъ въ теченіе своей жизни?»

Перемѣна въ его взглядахъ на природу туманностей (1791) вызвала соотвѣтствующую перемѣну и въ воззрѣніяхъ на этотъ процессъ уплотненія. Относительно вышеупомянутой звѣзды (§ 260) онъ замѣтилъ, что ея туманная оболочка «скорѣе сама способна была произвести звѣзду черезъ уплотненіе, чѣмъ получить отъ нея свое существованіе». Въ 1811 и 1814 годахъ онъ обнародовалъ полную теорію возможнаго процесса, путемъ котораго свѣтящаяся жидкость, образующая разрѣженную туманность, могла постепенно уплотниться, причемъ центрами сгущенія служили болѣе плотныя части ея, сперва въ болѣе плотную туманность или тѣсную звѣздную кучу, затѣмъ въ одну или болѣе туманныхъ звѣздъ, наконецъ, въ одну звѣзду или группу звѣздъ. Каждая гипотетическая стадія этого процесса обильно иллюстрировалась примѣрами дѣйствительно наблюдавшихся имъ туманностей или звѣздныхъ скопленій.

Въ послѣдней работѣ онъ въ первый разъ согласился признать, что скопленія, расположенныя поблизости и въ самомъ Млечномъ Пути, дѣйствительно

принадлежатъ къ нему, а не представляютъ собой самостоятельныхъ системъ, лежащихъ въ томъ же самомъ направленіи, въ какомъ мы видимъ ихъ.

262. Къ концу своей жизни Гершель измѣнилъ мнѣніе еще по одному смежному вопросу. Когда онъ впервые воспользовался большимъ 20-тифутовымъ телескопомъ для излѣдованія Млечнаго Пути, то ему казалось, что онъ успѣлъ совершенно разрѣшить его слабый мерцающій свѣтъ въ составляющія звѣзды и проникнуть, такимъ образомъ, въ самую глубь Млечнаго Пути. Впослѣдствіи онъ убѣдился, что это не такъ, но что есть еще такіе туманные участки, которые, по отдаленности ли, или по другимъ причинамъ, его телескопы не въ состояніи разрѣшить въ звѣзды (фиг. 104).

Итакъ, въ обоихъ этихъ отношеніяхъ строеніе Млечнаго Пути представилось ему, въ концѣ-концовъ, менѣе простымъ, чѣмъ онъ полагалъ сначала.

263. Одно изъ замѣчательнѣйшихъ открытій Гершеля явилось побочнымъ результатомъ изслѣдованія совершенно особаго характера. Подобно тому, какъ Брадлей, пытаясь найти параллаксъ звѣзды, открылъ аберрацію и нутацію (гл. X, § 207), такъ и Гершеля аналогичныя попытки привели къ открытію двойныхъ звѣздъ. Онъ хотѣлъ воспользоваться галилеевымъ дифференціальнымъ методомъ двойной звѣзды (гл. VI, § 129), при которомъ микроскопическое перемѣщеніе звѣзды, происходящее отъ движенія земли вокругъ солнца, замѣчается не по угловому разстоянію ея отъ постоянной точки на небесной сферѣ, вродѣ полюса или зенита, но по измѣненіямъ разстоянія ея отъ близко-

стоящей звѣзды, которую по слабости блеска или по другимъ соображеніямъ можно предположить находящейся на большемъ разстояніи и потому менѣе подверженной вліянію движенія земли.

Съ этой цѣлью Гершель принялся отыскивать звѣздныя пары, достаточно тѣсныя для того, чтобы ими возможно было воспользоваться; при свойственной ему страстности въ желаніи видѣть и записать все, что можно видѣть, онъ пожалъ обильную жатву такихъ объектовъ. Предѣломъ разстоянія между составляющими звѣздами пары онъ считалъ 2′ — промежутокъ совершенно незамѣтный для невооруженнаго глаза, если не считать случаевъ ненормальной остроты зрѣнія. Другими словами, двѣ такія звѣзды—даже если каждая изъ нихъ доступна глазу — для обыкновенной силы зрѣнія всегда сливаются въ одну. Первый каталогъ такихъ паръ, изъ коихъ каждая представляетъ собой такъ-называемую **двойную звѣзду**, былъ обнародованъ въ началѣ 1782 года и заключалъ въ себѣ 269 паръ, въ томъ числѣ 227 новооткрытыхъ; второй каталогъ, изъ 434 паръ, представленъ былъ въ Королевское Общество въ концѣ 1784 года; а послѣдняя его работа, отосланная въ Королевское Астрономическое общество въ 1821 году и напечатанная въ первомъ томѣ его мемуаровъ, заключала списокъ еще 145. Помимо положенія каждой двойной звѣзды, онъ отмѣчалъ еще угловое разстояніе между ея составляющими и яркость каждой изъ нихъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ наблюдались любопытные контрасты въ окраскѣ звѣздъ, составляющихъ пару. Не мало было и такихъ случаевъ, когда въ тѣсномъ сосѣдствѣ оказывалось не только двѣ, но даже три, че-

тыре и болѣе звѣздъ; такимъ образомъ наблюдались множественныя звѣзды.

Гершель началъ съ предположенія, что двойная звѣзда есть результатъ случайнаго совпаденія въ направленіяхъ двухъ звѣздъ, не имѣющихъ между собой никакой связи и изъ которыхъ одна можетъ отстоять во много разъ дальше другой. Но уже Мичелль (гл. X, § 219) въ 1767 году показалъ, что даже тѣ немногія двойныя звѣзды, которыя были въ то время извѣстны, оставляютъ очень мало вѣроятія за случайное совпаденіе. Хотя Мичелль не облекалъ своихъ доказательствъ въ числовую форму, мы тѣмъ не менѣе пояснимъ его мысль примѣромъ. Яркая звѣзда Касторъ (въ Близнецахъ) съ нѣкотораго времени разрѣшалась въ двѣ звѣзды, α и β, раздѣленныя промежуткомъ немного менѣе 5″. Вообще, извѣстно было около 50 звѣздъ такой же яркости, какъ α, и около 400 яркости β. Ни одинъ классъ звѣздъ не обнаруживаетъ тенденціи къ какому-либо особенному распредѣленію по небесной сферѣ. Получаемъ, такимъ образомъ, задачу по теоріи вѣроятностей: если существуетъ 50 звѣздъ одного разряда и 400 другого, разбросанныхъ по небесной сферѣ какъ попало, причемъ оба эти разряда ничѣмъ не связаны между собой, то какова будетъ вѣроятность того, чтобы одна изъ звѣздъ перваго класса очутилась въ разстояніи 5″ отъ звѣзды второго класса? На это имѣется приблизительно столько же шансовъ, сколько у зерна пшеницы очутиться въ разстояніи полудюйма отъ ячменнаго зерна, если 50 зеренъ пшеничныхъ и 400 ячменныхъ разбросать наудачу по площади въ 100 акровъ. Противъ такой возможности гово-

ритъ очень много шансовъ, можно даже высчитать, сколько, именно свыше 300.000 на одинъ случай. Вотъ что говоритъ теорія вѣроятностей противъ существованія—случайнаго, разумѣется, безъ реальной внутренней связи между составляющими—одной только двойной звѣзды вродѣ Кастора; но когда Гершель сталъ открывать двойныя звѣзды сотнями, то степень невѣроятности возросла до громадныхъ размѣровъ. Въ первой работѣ Гершель выразился, что «было бы слишкомъ преждевременно строить какія бы то ни было теоріи относительно малыхъ звѣздъ, обращающихся около большихъ»,— замѣчаніе, показывающее, что эта мысль приходила ему въ голову; а въ 1784 году Мичелль вернулся къ этой темѣ и высказалъ мнѣніе, что шансы въ пользу существованія физической связи между членами новооткрытыхъ Гершелемъ двойныхъ звѣздъ находятся «за предѣлами ариѳметики».

264. Черезъ двадцать лѣтъ послѣ обнародованія своего перваго каталога Гершель согласился со взглядами Мичелля, но теперь онъ могъ подкрѣпить ихъ доказательствами совершенно новаго и гораздо болѣе непосредственнаго характера. Рядъ наблюденій надъ Касторомъ, изложенныхъ въ двухъ работахъ, напечатанныхъ въ *Philosophical Transactions* за 1803 и 1804 годы и къ счастью дополненныхъ наблюденіемъ Брадлея отъ 1759 года, обнаружилъ постепенное измѣненіе въ направленіи линіи, соединяющей его составляющія; измѣненіе такого характера, что оно не оставляло никакихъ сомнѣній насчетъ того, что обѣ звѣзды обращаются другъ около друга. Было и еще пять случаевъ, въ которыхъ наблюдались аналогичныя движенія. Эти

шесть примѣровъ показали, такимъ образомъ, что двойная звѣзда дѣйствительно представляетъ собой сложную пару звѣздъ, достаточно близкихъ для того, чтобы вліять на взаимныя движенія. Такого рода звѣзда называется **физической двойной звѣздой**, въ отличіе отъ оптическихъ паръ, составляющія которыхъ не имѣютъ никакого отношенія другъ къ другу. Въ трехъ случаяхъ, включая и Кастора, изъ наблюденій оказалось возможнымъ опредѣлить періодъ полнаго оборота одной звѣзды вокругъ другой; при этомъ предполагалось, что скорость движенія, приблизительно вычисленная Гершелемъ, равномѣрна; результаты получились слѣдующіе: 342 года для Кастора [1]), 375 и 1200 лѣтъ для двухъ другихъ. Очевидно было, что вращательное движеніе, наблюдаемое въ физической парѣ, происходитъ отъ взаимнаго тяготѣнія ея составляющихъ, хотя у Гершеля не имѣлось достаточныхъ данныхъ для того, чтобы съ большей или меньшей точностью установить законъ движенія; только черезъ пять лѣтъ послѣ его смерти была сдѣлана первая попытка, имѣвшая цѣлью показать, что орбита физической двойной звѣзды въ точности вытекаетъ или, во всякомъ случаѣ, согласуется со взаимнымъ тяготѣніемъ ея составляющихъ (гл. XIII, § 309; также фиг. 101). Можно считать, что это было первое прямое доказательство господства закона тяготѣнія за предѣлами солнечной системы.

---

[1]) Движеніе Кастора замедлилось со времени Гершеля, и современныя данныя обнаруживаютъ періодъ около 1000 лѣтъ, но и эту оцѣнку никоимъ образомъ нельзя считать вполнѣ достовѣрной.

Хотя только относительно немногихъ двойныхъ звѣздъ была окончательно установлена ихъ физическая двойственность, однако, не было основаній, почему бы не оказаться физически двойными и многимъ другимъ, обладающимъ не столь быстрымъ движеніемъ, чтобы его можно было ясно замѣтить на протяженіи четверти вѣка, обнимаемой наблюденіями Гершеля. Вѣроятность этого подвергла рѣшительному сомнѣнію пригодность двойныхъ звѣздъ для той особенной цѣли, съ какой Гершель первоначально разыскивалъ ихъ. Дѣйствительно, если двойная звѣзда представляетъ собой физическую пару, то оба ея члена находятся приблизительно въ одинаковомъ разстояніи отъ земли, а, слѣдовательно, положенія ихъ въ одинаковой мѣрѣ испытываютъ на себѣ вліяніе движенія земли, между тѣмъ какъ для нахожденія параллакса существенно важно, чтобы одна изъ звѣздъ отстояла гораздо дальше другой. Но сдѣланное имъ открытіе показалось ему гораздо болѣе интереснымъ, чѣмъ та цѣль, которую онъ безуспѣшно преслѣдовалъ; по собственному образному сравненію, онъ вышелъ, подобно Саулу, искать ословъ своего отца, а нашелъ царство.

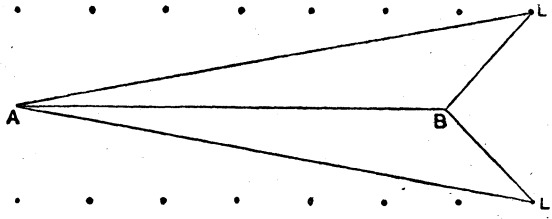
265. Уже со времени Галлея (гл. X, § 203) извѣстно было, что нѣкоторыя звѣзды обладаютъ собственными движеніями по небесной сферѣ относительно всѣхъ другихъ. Между астрономами постепенно распространилось убѣжденіе, что солнце представляетъ собой одну изъ неподвижныхъ звѣздъ, а отсюда одинъ шагъ до предположенія, что, подобно другимъ звѣздамъ, и оно можетъ обладать собственнымъ движеніемъ въ пространствѣ. Надъ

этимъ вопросомъ размышляли Райтъ, Ламбертъ и другіе, а Товія Майеръ (гл. X, §§ 225—226) показалъ, какъ распознавать это движеніе.

Если какая-нибудь звѣзда перемѣщается для глаза, то, по принципу относительнаго движенія (гл. IV, § 77), это можно съ одинаковымъ правомъ объяснять какъ движеніемъ звѣзды, такъ и движеніемъ наблюдателя, или же комбинаціей обоихъ движеній; а такъ какъ въ этой задачѣ внутренними перемѣщеніями солнечной системы можно пренебречь, то движеніе наблюдателя свободно можно отнести на счетъ движенія солнца. Когда разсматриваются собственныя движенія нѣсколькихъ звѣздъ, то для ихъ объясненія допустить движеніе одного только солнца будетъ, вообще говоря, недостаточно, и они могутъ происходить или только отъ фактическихъ перемѣщеній звѣздъ въ пространствѣ, или отъ ихъ сочетанія съ нѣкоторымъ движеніемъ солнца. Если же считать звѣзды неподвижными, а солнце движущимся къ какой-нибудь опредѣленной точкѣ небесной сферы, то, по законамъ перспективы, всѣ звѣзды, находящіяся по близости этой точки, должны кажущимся образомъ удаляться отъ нея и другъ отъ друга по небесной сферѣ, а находящіяся въ противоположной сторонѣ неба должны сходиться въ одной точкѣ; величина этихъ перемѣнъ зависитъ отъ быстроты движенія солнца и близости разсматриваемыхъ звѣздъ. Все равно, какъ если бы мы глядѣли ночью вдоль улицы, уставленной фонарями съ обѣихъ сторонъ; съ извѣстнаго разстоянія они кажутся сливающимися въ одинъ рядъ, но если мы начнемъ подвигаться впередъ, они будутъ все больше и больше расходиться между собой. На

нашемъ рисункѣ (фиг. 84), напримѣръ, L и L′ изъ B кажутся болѣе раздвинутыми, чѣмъ изъ A.

Если наблюдаемыя собственныя движенія разсматриваемыхъ звѣздъ не носятъ такого характера, то они не могутъ быть объяснены только движеніемъ солнца; если же онѣ обнаруживаютъ тенденцію къ такому перемѣщенію, то проще всего будетъ объяснить ихъ движеніемъ солнца, предположивъ, что разногласія между результатами гипотетическаго движенія солнца и наблюдаемыми собственными



Фиг. 84. Иллюстрація къ движенію солнца въ пространствѣ.

движеніями звѣздъ происходятъ отъ дѣйствительнаго перемѣщенія въ пространствѣ нѣкоторыхъ звѣздъ.

Однако, изъ наблюденій тѣхъ немногихъ собственныхъ движеній, которыми располагалъ Майеръ, онъ не могъ вывести никакихъ заключеній относительно движенія солнца.

Гершель воспользовался наблюденіями Маскелайна и Лаланда надъ собственными движеніями 14 звѣздъ (13, если считать двойную звѣзду Касторъ за одну) и съ необычайной проницательностью открылъ въ ихъ движеніи нѣкоторое однообразіе вышеописаннаго характера, которое могло быть результатомъ движенія солнца. Точка небесной

сферы, къ которой, повидимому, движется солнце, такъ-называемый **апексъ**, указана была Гершелемъ по близости звѣзды λ въ созвѣздіи Геркулеса. Онъ нашелъ, что движеніе солнца въ этомъ направленіи произвело бы въ упомянутыхъ 14 звѣздахъ кажущіяся перемѣщенія, по большей части находящіяся въ общемъ согласіи съ наблюденіями [1]). Этотъ результатъ обнародованъ былъ въ 1783 году, а нѣсколькими мѣсяцами позже *Пьеръ Прево* (1751—1839) получилъ аналогичный результатъ изъ наблюденій, собранныхъ Товіей Майеромъ. Слишкомъ 20 лѣтъ спустя (1805) Гершель снова поставилъ на очередь этотъ вопросъ, воспользовавшись шестью наиболѣе яркими звѣздами изъ 36, которыхъ собственныя движенія были опубликованы Маскейланомъ въ 1790 году, и болѣе надежныхъ сравнительно съ прежними; при этомъ онъ примѣнилъ болѣе совершенные методы вычисленія. Апексъ снова былъ указанъ въ созвѣздіи Геркулеса, хотя и въ разстояніи почти 30° отъ мѣста, указаннаго въ 1783 году. Разумѣется, результаты Гершеля въ огромной степени носили умозрительный характеръ и современными ему астрономами были приняты съ значительной дозой недовѣрія, но множество тщательнѣйшихъ современныхъ изслѣдованій подтвердили общую правильность его выводовъ, причемъ, однако, первая его оцѣнка оказывается, повидимому, болѣе точной. Въ тѣхъ же двухъ работахъ и еще въ

---

[1]) Считая перемѣщенія въ прямомъ восхожденіи и въ склоненіи отдѣльно одни отъ другихъ, онъ насчиталъ, собственно говоря, 27 движеній (одна звѣзда не перемѣщалась по склоненію); 22 изъ нихъ по знаку согласовались съ тѣмъ, какое вытекало бы изъ предполагаемаго движенія солнца.

третьей (опубликована въ 1806) онъ пытался опредѣлить скорость и направленіе движенія солнца; но это предпріятіе требовало такой массы произвольныхъ допущеній относительно вѣроятныхъ разстояній звѣздъ — на дѣлѣ вполнѣ неизвѣстныхъ, — что мы сдѣлаемъ лучше всего, если приведемъ его фразу изъ статьи 1783 года: «Мы можемъ въ общемъ считать, что скорость движенія солнца во всякомъ случаѣ никакъ не меньше скорости движенія земли по ея годовой орбитѣ».

266. Для попытокъ Гершеля опредѣлить относительныя разстоянія звѣздъ отъ земли и ихъ расположеніе въ пространствѣ очень большое значеніе представлялъ, какъ мы видѣли, вопросъ о сравнительной яркости звѣздъ (§ 258); въ связи съ этимъ послѣднимъ находился вопросъ объ измѣнчивости блеска звѣздъ. Довольно давно уже извѣстны были два замѣчательныхъ случая въ этомъ родѣ. Одна изъ звѣздъ Кита (такъ-называемая *о* Кита или Мира — «Чудесная») временами исчезала для простого глаза, временами же становилась очень яркой. Голландскій астрономъ *Фокилидъ Гольварда* (1618—1651) первый ясно угадалъ ея перемѣнный характеръ (1639), а *Измаилъ Буліо* или *Булліальдъ* (1605—1694) въ 1667 году установилъ періодъ въ одиннадцать мѣсяцевъ, хотя впослѣдствіи оказалось, что какъ степень блеска, такъ и періодъ подвержены неправильностямъ. Измѣненія блеска этой звѣзды составили предметъ первой работы, напечатанной Гершелемъ въ *Philosophical Transactions* (1780). Не менѣе замѣчательна звѣзда Альголь (β Персея), измѣненія которой совершаются почти съ безукоризненной правильностью. Ея перемѣнчи-

вость открыта была *Геминіано Монтанари* (1632—1687) въ 1669 году, но правильность измѣненій подмѣчена только въ 1783 году *Джономъ Гудрике* (1764—1786), который вскорѣ послѣ этого въ состояніи былъ установить ея періодъ приблизительно въ 2 дня 20 часовъ и 49 минутъ. Въ минимумѣ блеска Альголь даетъ почти вчетверо меньше свѣта, чѣмъ въ максимумѣ, причемъ на переходъ изъ первой стадіи въ послѣднюю затрачиваетъ около десяти часовъ. Мира же въ максимумѣ во много сотенъ разъ превосходитъ своимъ блескомъ минимумъ, но зато ея измѣненія совершаются гораздо медленнѣе.

Въ началѣ дѣятельности Гершеля изъ перемѣнныхъ извѣстны были только эти и три-четыре другихъ, менѣе интересныхъ звѣзды, относительно перемѣнчивости которыхъ не оставалось сомнѣнія; вскорѣ было открыто еще нѣсколько такихъ звѣздъ. Въ астрономическихъ лѣтописяхъ записаны были, кромѣ того, случаи появленія нѣсколькихъ «новыхъ» звѣздъ, внезапно обнаруженныхъ въ такихъ мѣстахъ, въ которыхъ до того никакихъ звѣздъ не наблюдалось, и по большей части снова исчезавшихъ (гл. II, § 42; гл. V, § 100; гл. VII, § 138). Очевидно, такія звѣзды можно было принимать за перемѣнныя, максимумы которыхъ наступаютъ совершенно неправильно или черезъ большіе промежутки времени. Сверхъ того, записи яркости звѣздъ, веденныя прежними астрономами, не оставляли никакихъ сомнѣній насчетъ того, что многія изъ нихъ претерпѣли чувствительныя измѣненія въ блескѣ. Напримѣръ, маленькая звѣздочка въ Большой Медвѣдицѣ (возлѣ средней звѣзды «Хвоста»),

которую арабы считали мѣриломъ остроты зрѣнія, въ настоящее время доступна даже въ нашемъ туманномъ климатѣ людямъ съ обыкновенной силой зрѣнія; а Касторъ, казавшійся Байеру самой яркой звѣздой созвѣздія Близнецовъ, когда онъ обнародовалъ свой атласъ (1603), въ XVIII вѣкѣ (какъ и теперь) считался ниже Поллукса по блеску.

Гершель произвелъ довольно много точныхъ измѣреній количества свѣта, излучаемаго звѣздами различныхъ величинъ, но не въ состояніи былъ предпринять обширныхъ или систематическихъ изслѣдованій этого рода. Желая въ будущемъ имѣть возможность подмѣчать измѣненія въ блескѣ вышеописаннаго характера, онъ изобрѣлъ и примѣнилъ въ широкомъ масштабѣ крайне простой методъ **послѣдовательности.** Онъ заключается въ слѣдующемъ. Если, наблюдая группу звѣздъ, записать ихъ въ порядкѣ ихъ яркости въ два различныхъ момента, то всякое измѣненіе въ порядкѣ, въ которомъ онѣ записаны, покажетъ, что произошла перемѣна въ яркости одной или нѣсколькихъ звѣздъ. Такимъ образомъ, если наблюдать звѣзды группами, отмѣчая, что такая-то звѣзда слабѣе однѣхъ сосѣднихъ звѣздъ и свѣтлѣе другихъ, то получится матеріалъ, на основаніи котораго въ будущемъ можно замѣтить мало-мальски значительную перемѣну въ яркости. По этому плану Гершель изготовилъ, между 1796 и 1799 годами, четыре каталога сравнительной яркости, основанныхъ на наблюденіяхъ невооруженнымъ глазомъ и заключавшихъ въ себѣ около 3000 звѣздъ. Уже въ теченіе этой работы замѣчено было довольно много легкихъ измѣненій; но наибольшій интересъ изъ такого рода открытій

представляла измѣнчивость хорошо извѣстной звѣзды α Геркулеса, о чемъ онъ объявилъ въ 1796 г. Періодъ ея былъ опредѣленъ въ 60 дней; по всѣмъ видимостямъ, звѣзда эта образуетъ промежуточную ступень между перемѣнными вродѣ Альголя, имѣющими періодъ въ нѣсколько дней, и такими перемѣнными (наиболѣе извѣстный представитель — Мира), которыя обладаютъ періодомъ въ нѣсколько сотъ дней. По обыкновенію, Гершель не удовольствовался одной записью наблюденій, но попытался объяснить наблюденные факты предположеніемъ, что перемѣнныя звѣзды обладаютъ вращательнымъ движеніемъ и что поверхность ихъ не на всемъ протяженіи одинаковой яркости.

267. Новизна работъ Гершеля о неподвижныхъ звѣздахъ и крайне общій характеръ полученныхъ имъ результатовъ сдѣлали то, что эти изслѣдованія затмили въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ другіе его астрономическіе труды.

Хотя онъ не имѣлъ въ виду прибавить что-нибудь свое къ тѣмъ точнымъ познаніямъ о движеніи тѣлъ солнечной системы, которыя поглотили лучшія усилія большинства астрономовъ XVIII вѣка, какъ наблюдателей, такъ и математиковъ, зато онъ тщательно и успѣшно наблюдалъ эти тѣла.

При изложеніи событій его жизни мы уже упоминали объ открытіи имъ Урана, двухъ его спутниковъ и двухъ новыхъ спутниковъ Сатурна (§§ 253, 255). Онъ утверждалъ, что видѣлъ (1798) еще четырехъ спутниковъ Урана, но существованіе ихъ никогда не было провѣрено сколько-нибудь удовлетворительнымъ образомъ; вторая пара спутниковъ Урана, открытая Ласселемъ въ 1847 году

(гл. XIII, § 295), ни въ движеніяхъ, ни въ положеніи не соотвѣтствуетъ ни одному изъ четырехъ гипотетическихъ спутниковъ Гершеля. Весьма вѣроятно, поэтому, что онъ явился жертвой оптической иллюзіи, причина которой заключалась въ дефектахъ его зеркала, хотя нѣтъ ничего невозможнаго въ томъ, что онъ могъ видѣть одного или обоихъ спутниковъ Ласселя и неточно истолковать наблюденія.

Съ самаго начала своей астрономической дѣятельности Гершель съ особенной любовью занимался Сатурномъ, о которомъ обнародовалъ семь работъ между 1790 и 1806 годами. Онъ подмѣтилъ и измѣрилъ степень отклоненія планеты отъ строгой шарообразности (въ 1790 году); онъ наблюдалъ различныя отмѣтины на ея поверхности и, повидимому, наблюдалъ даже внутреннее, такъ-называемое «флеровое» кольцо (гл. XIII, § 295), хотя и не разгадалъ его природы. Наблюдая пятна, расположенныя въ нѣкоторомъ разстояніи отъ экватора, онъ нашелъ (1790), что Сатурнъ вращается на оси, и установилъ періодъ вращенія въ 10 часовъ 16 минутъ (отъ современной оцѣнки разнится всего 2 минутами), а изъ аналогичныхъ наблюденій надъ кольцомъ (1790) заключилъ, что и это послѣднее дѣлаетъ одинъ полный оборотъ въ $10^1/_2$ часовъ, причемъ въ обоихъ случаяхъ ось вращенія перпендикулярна къ плоскости кольца. Спутникъ Япетъ, открытый Кассини въ 1671 г. (гл. VIII, § 160), давно уже обнаруживалъ весьма значительныя колебанія въ яркости; въ максимумѣ онъ казался во много разъ свѣтлѣе, чѣмъ въ минимумѣ. Гершель нашелъ, что эти колебанія не только совершенно

правильны, но и подчиняются періоду, равному періоду обращенія спутника около своей планеты (1792); къ подобному же заключенію приходилъ и Кассини, но онъ отвергъ его, какъ несогласное съ наблюденіями. Явленіе это можно было объяснить, прежде всего, предположеніемъ, что различныя части поверхности Япета обладаютъ неодинаковой отражательной способностью и что онъ, подобно нашей лунѣ, поворачивается на своей оси только разъ во время обращенія, такъ что постоянно подставляетъ планетѣ одну и ту же свою сторону, а значитъ, къ земному наблюдателю поворачивается всѣми сторонами. Отсюда естественно было предположить, что такой порядокъ вещей вообще не рѣдокъ среди спутниковъ, и въ 1797 году Гершель получилъ нѣкоторыя доказательства въ пользу измѣнчивости спутниковъ Юпитера, что являлось, очевидно, подтвержденіемъ его гипотезы.

Наблюденія Гершеля надъ другими планетами менѣе многочисленны и не представляютъ такой важности. Онъ безъ колебаній отвергъ сомнительныя наблюденія Шретера (§ 271) надъ огромными горами Венеры и успѣлъ только замѣтить неясныя пятна, по которымъ можно было съ большимъ сомнѣніемъ опредѣлить скорость вращенія этой планеты на своей оси. Онъ часто наблюдалъ извѣстныя яркія полосы на дискѣ Юпитера, обыкновенно называемыя поясами, и первый объяснялъ ихъ присутствіемъ облаковъ (1793). На Марсѣ онъ замѣтилъ періодическое уменьшеніе бѣлыхъ пятенъ у полюсовъ и обратилъ вниманіе на то обстоятельство, что въ этомъ, какъ и въ другихъ отношеніяхъ, Марсъ больше всѣхъ планетъ напоминаетъ землю.

268. Гершель произвелъ массу тщательныхъ наблюденій надъ солнцемъ, на которыхъ основалъ свою знаменитую теорію его строенія. Онъ подтвердилъ существованіе многихъ особенностей солнечнаго диска, подмѣченныхъ прежними наблюдателями вродѣ Галилея, Шейнера и Гевелія, наблюденія которыхъ дополнилъ множествомъ деталей. Начиная со времени Галилея, различными наблюдателями было высказано немало предположеній относительно природы солнечныхъ пятенъ — въ нихъ видѣли то облака, то горныя верхушки, то продукты вулканическихъ изверженій и т. д., но ни одно изъ этихъ предположеній не подкрѣплялось какимъ-нибудь серьезнымъ доказательствомъ. Наблюденія Гершеля надъ внѣшнимъ видомъ пятенъ навели его на мысль, что они представляютъ собой вдавленія солнечной поверхности, что подтверждалось, повидимому, случайными наблюденіями надъ пятнами, проходящими по краю диска, гдѣ они явственно представляли выемки или вдавленія. На этомъ довольно шаткомъ основаніи онъ построилъ (1795) пространную теорію строенія солнца, своимъ изяществомъ привлекшую всеобщее вниманіе и пользовавшуюся безусловнымъ признаніемъ въ теченіе полувѣка слишкомъ. Онъ полагалъ, что внутреннее ядро солнца представляетъ собой холодное, твердое, темное тѣло, окруженное двумя облачными слоями, изъ которыхъ наружный, **фотосфера**, или обыкновенная поверхность солнца, неимовѣрно раскаленъ и ярокъ, а внутренній, какъ экранъ или заслонка, защищаетъ центральное ядро отъ дѣйствія жара. Тѣнь пятна (гл. VI, § 124)— это темная внутренность солнца, видимая черезъ

разрывъ въ облакахъ, а полутѣнь соотвѣтствуетъ внутреннему облачному слою, освѣщаемому сверху.

«Съ этой новой точки зрѣнія солнце представляется мнѣ необычайно величественной, огромной и яркой планетой; очевидно, это первое или, точнѣе говоря, единственное первичное тѣло нашей системы... всего вѣроятнѣе, что оно обитаемо, подобно остальнымъ планетамъ, существами, органы которыхъ приноровлены къ особеннымъ условіямъ, господствующимъ на этомъ громадномъ шарѣ».

Мысль, что пятна представляютъ собой вдавленія, была еще за двадцать слишкомъ лѣтъ (1774) высказана *Александромъ Вильсономъ* изъ Глазго (1714—1786), который защищалъ ее аргументами, отличными отъ гершелевыхъ и въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ болѣе убѣдительными. Сперва по поводу большого пятна, наблюдавшагося въ 1769 г., а затѣмъ во множествѣ другихъ случаевъ Вильсонъ замѣтилъ, что по мѣрѣ того, какъ вращеніе солнца увлекаетъ пятно съ одного края диска на другой, его наружный видъ мѣняется по законамъ перспективы такъ, какъ если бы оно представляло собой блюдцеобразное вдавленіе, дно котораго образовано тѣнью, а боковые склоны — полутѣнью, такъ какъ эта послѣдняя представляется болѣе узкой со стороны солнечнаго центра и болѣе широкой съ противоположной, по направленію къ краю. Отсюда, подобно Гершелю, но только съ меньшей увѣренностью, Вильсонъ заключилъ, что внутренность солнца темна. Изъ работы, о которой мы упоминали, не видно, чтобы Гершель былъ знакомъ съ трудами Вильсона, но во второй статьѣ (1801), заключавшей въ себѣ также рядъ цѣнныхъ наблюденій надъ деталями солнечной поверхности, онъ

ссылается на вильсоново «геометрическое доказательство» вдавленія на мѣстѣ, занимаемомъ тѣнью пятна.

Хотя въ настоящее время извѣстно, что теорія Гершеля была лишь поспѣшнымъ обобщеніемъ небольшого количества фактовъ, однако, она довольно успѣшно объясняла большую часть наблюденій, сдѣланныхъ до его эпохи.

Современныя наши познанія о теплотѣ, которыя Гершелю были недоступны, показываютъ полную невозможность продолжительнаго существованія тѣла съ холоднымъ внутреннимъ ядромъ, окруженнымъ тонкой оболочкой изъ раскаленныхъ и самосвѣтящихся веществъ, и, поэтому, его теорія представляетъ лишь чисто-историческій интересъ (гл. XIII, §§ 298, 303).

269. Гершель нашелъ аналогію между солнцемъ и перемѣнными звѣздами; колебанія въ числѣ пятенъ, а, можетъ быть, и другихъ особенностей солнечной поверхности навели его на мысль о вѣроятномъ существованіи нѣкоторыхъ измѣненій въ общемъ количествѣ излучаемаго солнцемъ свѣта и тепла. За неимѣніемъ точныхъ метеорологическихъ данныхъ, онъ попытался, со свойственной ему изобрѣтательностью, прослѣдить вліяніе ихъ на землю въ цѣнахъ на пшеницу; ему даже удалось собрать нѣкоторыя указанія на то, что въ эпохи особенной скудости солнечныхъ пятенъ,— что соотвѣтствовало, по мнѣнію Гершеля, періоду ослабленія солнечной дѣятельности, — пшеница поднималась въ цѣнѣ, а погода была замѣтно холоднѣе. Въ дѣйствительности, однако, данныхъ было слишкомъ недостаточно для вывода какихъ-либо рѣшительныхъ заключеній.

270. Въ дополненіе къ вышеизложеннымъ астрономическимъ изслѣдованіямъ и еще нѣкоторымъ другимъ, менѣе важнаго свойства, Гершель удѣлялъ часть своего времени, главнымъ образомъ, въ концѣ жизни, занятіямъ свѣтомъ и теплотой; но полученные имъ довольно цѣнные результаты скорѣе относятся къ области физики, чѣмъ къ астрономіи, и потому мы ихъ обойдемъ молчаніемъ.

271. Удивительныя открытія Гершеля, конечно, можно приписывать тому, что онъ обладалъ телескопами необычайной силы и создалъ новую программу астрономическаго изслѣдованія; и несомнѣнно, это были существенные элементы. Не менѣе важную роль играли, однако, и другія обстоятельства, и достойно замѣчанія, что хотя множество большихъ телескоповъ его изготовленія попали въ руки другихъ астрономовъ, а астрономическая его программа, будучи обнародована, стала доступной всему свѣту, тѣмъ не менѣе врядъ ли хоть одинъ изъ его современниковъ сдѣлалъ столько открытій, чтобы ихъ можно было признать значительными по сравненію съ работами Гершеля.

Почти единственный астрономъ этого періода, труды котораго заслуживаютъ упоминанія на ряду съ трудами Гершеля, хотя стоятъ гораздо ниже ихъ какъ по числу, такъ и по оригинальности, назывался *Іоганномъ Іеронимомъ Шретеромъ* (1745—1816).

Занимая оффиціальную должность [1]) въ Лиліенталѣ, близъ Бремена, онъ въ теченіе тридцати лѣтъ посвящалъ свои досуги изученію планетъ и луны, а въ меньшей степени и другихъ тѣлъ.

---

[1]) Онъ исполнялъ обязанности городского судьи.

Прим. переводч.

Какъ мы видѣли уже по поводу Венеры (§ 267), результаты его были не всегда надежны, но, несмотря на нѣкоторыя ошибки, онъ въ значительной мѣрѣ расширилъ наши свѣдѣнія насчетъ внѣшнихъ особенностей планетъ и въ частности изучилъ поверхность луны съ такой тщательностью и точностью, что далеко оставилъ за собой своихъ предшественниковъ; онъ даже пытался извлечь изъ своихъ наблюденій данныя относительно ея физическаго устройства. Два его тома о лунѣ (*Selenotopographische Fragmente, Очерки лунной топографіи,* 1791 и 1802 г.) и другія, менѣе обширныя сочиненія представляютъ сокровищницу цѣнныхъ деталей, изъ которой позднѣйшіе астрономы много черпали для своихъ трудовъ.

ГЛАВА XIII.

Девятнадцатый вѣкъ.

«Чѣмъ больше сфера нашего знанія, тѣмъ шире поверхность ея соприкосновенія съ безграничной областью невѣдомаго».

272. Въ послѣднихъ трехъ главахъ мы разсматривали успѣхи, достигнутые въ трехъ отрасляхъ астрономіи, которыя, хотя и покрывались взаимно, оказывая одна на другую значительное вліяніе, тѣмъ не менѣе разрабатывались различными методами и преслѣдуютъ различныя цѣли. Это различіе лучше всего уясняется, если мы припомнимъ труды великихъ мастеровъ каждой отрасли—Брадлея, Лапласа и Гершеля. Различіе было настолько велико, что Деламбръ въ своей образцовой исторіи астрономіи почти не упоминаетъ о великой школѣ астрономовъ-математиковъ, бывшихъ его современниками и непосредственными предшественниками, не вслѣдствіе недостаточной оцѣнки ея значенія, но потому, что онъ причисляетъ ея труды скорѣе къ области математики, чѣмъ къ астрономіи; съ другой стороны, Бессель (§ 277) своимъ опредѣленіемъ, что задача астрономіи заключается въ «указаніи мѣстъ на небѣ, въ которыхъ находились, находятся или будутъ находиться солнце, луна, планеты, кометы и звѣзды», исключаетъ изъ своей программы почти все, что Гершель находилъ достойнымъ своей могучей энергіи.

Современные ученые смотрятъ на дѣло гораздо шире Деламбра и Бесселя и находятъ удобнымъ считать всѣ три упомянутыхъ нами предмета или группы предметовъ одинаково важными частями одной и той же науки.

О взаимномъ отношеніи между астрономіей тяготѣнія и той отраслью науки, которую съ удобствомъ можно назвать наблюдательной астрономіей, мы уже говорили выше (гл. X, § 196). Нужно, однако, замѣтить, что этимъ послѣднимъ терминомъ мы до сихъ поръ обозначали преимущественно одну только часть астрономической практики, на первомъ планѣ соприкасающейся съ наблюденіемъ. Наблюденіе играло по меньшей мѣрѣ столь же громадную роль въ работахъ Гершеля, какъ и въ трудахъ Брадлея, но цѣли, которыя преслѣдовали эти два ученые, различались между собой во многихъ отношеніяхъ. Брадлей интересовался, главнымъ образомъ, елико возможно точнѣйшимъ опредѣленіемъ видимыхъ положеній неподвижныхъ звѣздъ на небесной сферѣ, а также положеній и движеній тѣлъ солнечной системы; первая половина задачи играла какъ бы вспомогательную роль по отношенію ко второй. Съ другой стороны, Гершель, нѣкоторыя изслѣдованія котораго—напримѣръ, относительно параллаксовъ неподвижныхъ звѣздъ и движеній спутниковъ Урана — были вполнѣ аналогичны брадлеевымъ, гораздо больше занимался вопросомъ о внѣшнемъ видѣ, взаимныхъ отношеніяхъ и строеніи небесныхъ тѣлъ самихъ по себѣ. Эту послѣднюю отрасль астрономіи было бы весьма удобно обозначить названіемъ **описательной астрономіи**, хотя оно не вполнѣ приложимо къ изслѣдо-

ваніямъ относительно физическаго устройства и химическаго состава небесныхъ тѣлъ, каковыя изслѣдованія часто помѣщаются подъ этотъ заголовокъ и играютъ важную роль въ астрономіи нашихъ дней.

273. Астрономія тяготѣнія и наблюдательная астрономія сдѣлали большіе успѣхи въ девятнадцатомъ столѣтіи, но ни одна изъ этихъ отраслей не претерпѣла внутреннихъ преобразованій, и достигнутые въ нихъ результаты въ значительной мѣрѣ носили такой характеръ, что врядъ ли были понятны и еще менѣе того интересны не спеціалистамъ. Мы по необходимости коснемся ихъ лишь самымъ поверхностнымъ образомъ, а подробнѣе займемся или общими теченіями, или отдѣльными результатами наименѣе спеціальнаго характера.

Съ другой стороны, описательная астрономія, которую можно почти съ такимъ же правомъ считать созданіемъ Гершеля, какъ астрономію тяготѣнія — дѣломъ Ньютона, не только получила могучее развитіе въ направленіи, указанномъ ея творцомъ, но и вторглась (главнымъ образомъ, благодаря изобрѣтенію спектральнаго анализа, § 299) въ такія области, о которыхъ не смѣли не то что думать, но даже и мечтать за сто лѣтъ передъ тѣмъ. Въ отличіе отъ результатовъ, добытыхъ старшими отраслями астрономической науки, открытія описательной астрономіи, по большей части, вполнѣ удобопонятны и представляютъ большой интересъ для людей, обладающихъ незначительными астрономическими знаніями; въ частности они еще пока не требуютъ знакомства съ математическимъ языкомъ и понятіями, замѣтно преобладающими въ

другихъ отрасляхъ астрономіи, что дѣлаетъ эти послѣднія недоступными и незанимательными для многихъ. Кромѣ того, что описательная астрономія легко поддается изученію, ея успѣхамъ вполнѣ могутъ содѣйствовать даже наблюдатели, не располагающіе свѣдѣніями изъ высшей математики или богатыми инструментальными средствами.

Вотъ почему въ то время, какъ преемники Лапласа и Брадлея были большей частью астрономами по профессіи, прикованными къ общественнымъ обсерваторіямъ или университетамъ, огромное количество цѣнной описательной работы исполнено было любителями, которымъ, подобно Гершелю, въ началѣ своей карьеры приходилось отдавать массу силъ посторонней профессіональной работѣ и которые въ нѣкоторыхъ случаяхъ располагали прекрасными инструментами, но въ огромномъ большинствѣ другихъ—лишь самыми скудными приспособленіями. По этой и по другимъ причинамъ, одной изъ характернѣйшихъ чертъ астрономіи девятнадцатаго вѣка является усиленіе интереса къ этому предмету, особенно въ Англіи и Соединенныхъ Штатахъ, и учрежденіе огромнаго количества частныхъ обсерваторій, почти всецѣло предназначенныхъ для изученія той или иной спеціальной области описательной астрономіи. Такимъ образомъ, девятнадцатый вѣкъ засвидѣтельствовалъ пріобрѣтеніе небывалаго количества детальныхъ астрономическихъ знаній. Но богатство накопленнаго матеріала превзошло наши исполнительныя силы, и во многихъ случаяхъ наше знаніе нѣкоторыхъ частныхъ отдѣловъ описательной астрономіи заключается, съ одной стороны, въ огромномъ рядѣ

тщательныхъ наблюденій, а съ другой — въ одной или нѣсколькихъ крайне умозрительныхъ теоріяхъ, чаще всего могущихъ объяснить лишь малую долю наблюденныхъ фактовъ.

При разсмотрѣніи успѣховъ современной описательной астрономіи мы подвергаемся, поэтому, очень крупному риску изъ-за деревьевъ не увидѣть лѣса, какъ гласитъ народная пословица. Попытаться изложить въ одной главѣ хотя бы важнѣйшіе изъ фактовъ, обогатившихъ наши познанія за послѣднее время, было бы безнадежнымъ предпріятіемъ; къ счастью, это и излишне, такъ какъ ихъ легко найти во многихъ общедоступныхъ руководствахъ астрономіи или въ трактатахъ по спеціальнымъ отдѣламъ этого предмета. Мы можемъ лишь попытаться дать нѣкоторое понятіе о направленіяхъ, въ которыхъ прогрессировала наука, и указать на кое-какія общія заключенія, опирающіяся, какъ намъ кажется, на болѣе или менѣе прочныя основанія.

274. Успѣхи точнаго наблюденія въ весьма значительной степени обусловливались, разумѣется, совершенствомъ орудій. Помимо громадныхъ улучшеній, внесенныхъ въ деликатную процедуру изготовленія большихъ чечевицъ, мы достигли значительнаго совершенства въ раздѣленіи (градуированіи) круговъ и другихъ частяхъ монтировки телескопа, отъ которыхъ зависитъ точность наблюденій. Не мало способствовали увеличенію точности и новые методы установки инструментовъ, производства и регистраціи наблюденій. Для нѣкоторыхъ спеціальныхъ задачъ фотографія представляетъ громадныя преимущества передъ наблюденіями глазомъ, хотя

важнѣйшія приложенія она находила себѣ до сихъ поръ въ области описательной астрономіи.

275. Еще Тихо Браге понималъ необходимость поправокъ на извѣстныя погрѣшности наблюденій и елико возможнаго уменьшенія вліянія такихъ ошибокъ, причины которыхъ неизвѣстны (гл. V, § 110), а въ трудахъ Флэмстида и Брадлея (гл. X, §§ 198, 218) эти поправки играли громадную роль. Дальнѣйшіе шаги въ этомъ направленіи сдѣланы были въ первой половинѣ истекшаго столѣтія. Методъ **наименьшихъ квадратовъ**, изобрѣтенный независимо другъ отъ друга двумя великими математиками, *Адріаномъ Мари Лежандромъ* (1752—1833) изъ Парижа и *Карломъ Фридрихомъ Гауссомъ* (1777—1855) изъ Геттингена [1]), позволялъ систематически комбинировать наблюденія, дававшія нѣсколько различные результаты, такимъ образомъ, что получалось наибольшее приближеніе къ истинѣ. Какъ бы тщательно ни производилось какое-нибудь обыкновенное физическое измѣреніе, напримѣръ, измѣреніе длины, оно никогда не будетъ вполнѣ совершеннымъ; если повторить его нѣсколько разъ, даже при тождественныхъ, повидимому, условіяхъ, результаты будутъ нѣсколько отличны одинъ отъ другого; такимъ образомъ, возникаетъ необходимость сочетать эти результаты для полученія наиболѣе надежной данной. На практикѣ, въ несложныхъ случаяхъ, издавна уже бралось среднее ариѳметическое различныхъ результатовъ. Но астрономамъ постоянно приходилось имѣть дѣло съ бо-

---

[1]) Этотъ методъ былъ обнародованъ Лежандромъ въ 1806 году, и Гауссомъ въ 1809, но этотъ послѣдній изобрѣлъ его и пользовался имъ 20 слишкомъ годами раньше.

лѣе сложными случаями, въ которыхъ требовалось опредѣлить двѣ или болѣе неизвѣстныхъ величинъ изъ различныхъ наблюденій, напримѣръ, когда надо было опредѣлить элементы планетной орбиты (гл. XI, § 236) изъ наблюденій положенія планеты въ различныя времена. Методъ наименьшихъ квадратовъ даетъ правило для распутыванія такихъ казусовъ, являющееся обобщеніемъ обыкновеннаго правила средней ариѳметической, примѣняющагося въ томъ случаѣ, когда разыскивается одна неизвѣстная величина; послѣ дальнѣйшей разработки методъ сталъ пригоднымъ и для комбинированія наблюденій различной цѣнности, каковы наблюденія, произведенныя наблюдателями, неодинаково искусными, либо при помощи различныхъ инструментовъ, или же при неодинаково благопріятныхъ состояніяхъ погоды и т. п. Онъ даетъ простое средство для провѣрки цѣнности наблюденій на основаніи ихъ взаимнаго соотвѣтствія и сопоставленія ихъ вѣроятной точности съ другими наблюденіями, производившимися при иныхъ условіяхъ. Методъ наименьшихъ квадратовъ и спеціальный случай «средней величины» можно вывести изъ нѣкотораго допущенія относительно общаго характера причинъ, производящихъ разсматриваемую нами погрѣшность; но самое это допущеніе не можетъ быть доказано *a priori;* съ другой стороны, удовлетворительные результаты, полученные отъ приложенія этого правила къ разнообразнѣйшимъ задачамъ астрономіи и физики, показали, что во множествѣ случаевъ неизвѣстныя причины погрѣшностей относятся къ вышеуказанному типу. Такимъ образомъ, этотъ методъ широко примѣняется въ астрономіи и физикѣ

во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется возможно бо̀льшая точность.

276. Другіе ученые труды Лежандра почти всецѣло относятся къ отраслямъ математики, въ самой слабой мѣрѣ соприкасающимся съ астрономіей. Что же касается Гаусса, почти полстолѣтія стоявшаго во главѣ Геттингенской обсерваторіи, то хотя самые блестящіе и важные труды его относятся къ чистой математикѣ, но онъ сдѣлалъ много важныхъ добавленій и къ астрономической наукѣ и, кромѣ того, произвелъ нѣсколько первоклассныхъ изслѣдованій по магнетизму и другимъ отдѣламъ физики. Добавленія эти заключали въ себѣ по большей части различнаго рода вычислительные процессы, необходимые при пользованіи астрономическими наблюденіями; наибольшей извѣстностью пользуется его методъ вычисленія орбиты планеты изъ трехъ полныхъ наблюденій ея положенія, обнародованный въ его *Теоріи движенія* (1809). Какъ мы видѣли (гл. XI, § 236), полное опредѣленіе планетной орбиты обусловливается шестью независимыми другъ отъ друга элементами: полное наблюденіе положенія планеты въ небѣ въ извѣстное время даетъ двѣ величины, напримѣръ, прямое восхожденіе и склоненіе (гл. II, § 33); поэтому, три полныхъ наблюденія даютъ шесть уравненій и теоретически способны опредѣлить элементы орбиты; но до сихъ поръ не считалось необходимымъ рѣшать задачу въ этой формѣ. Орбиты всѣхъ планетъ, кромѣ Урана, постепенно разрабатывались изъ наблюденій, охватывающихъ нѣсколько столѣтій; можно было пользоваться наблюденіями, произведенными въ особые моменты, подобранные такимъ образомъ, что извѣстные эле-

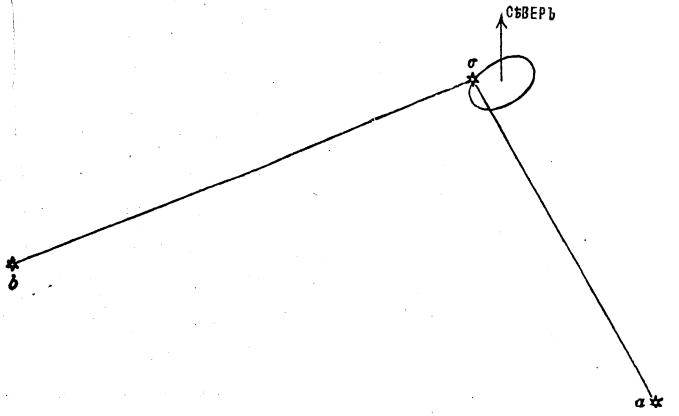
менты опредѣляются безъ точнаго знанія другихъ; даже Уранъ былъ наблюдаемъ долгое время, прежде чѣмъ путь его могъ быть опредѣленъ съ достаточной точностью; что же касается кометъ, то для нихъ задача упрощалась тѣмъ обстоятельствомъ, что ихъ орбиты можно было принимать не за эллипсъ, а почти или совсѣмъ за параболу (гл. IX, § 190). Открытіе новой планеты, Цереры, сдѣланное 1 января 1801 года (§ 294) и послѣдовавшая (черезъ нѣсколько недѣль) потеря ея выдвинули на очередь совершенно новую задачу вычисленія орбиты. Гауссъ приложилъ свои новые методы, между прочимъ, и методъ наименьшихъ квадратовъ, къ наиболѣе надежнымъ наблюденіямъ; усилія его увѣнчались полнымъ успѣхомъ, такъ какъ планета была снова найдена въ концѣ года почти какъ разъ на томъ же мѣстѣ, какое указано было его вычисленіями.

277. Теорія «редукціи» наблюденій (гл. X, § 218) была впервые приведена въ систему и значительно усовершенствована *Фридрихомъ Вильгельмомъ Бесселемъ* (1784—1846), который въ теченіе тридцати слишкомъ лѣтъ состоялъ директоромъ новой Прусской обсерваторіи въ Кенигсбергѣ. Первой изъ его большихъ работъ была редукція и изданіе Гринвичскихъ наблюденій Брадлея (гл. X, § 218). Это предпріятіе требовало тщательнаго изученія такихъ явленій, какъ прецессія, аберрація и рефракція, равно какъ и погрѣшностей инструментовъ Брадлея. Онъ вносилъ поправки на эти величины по однообразному систематическому плану, и въ результатѣ этихъ трудовъ былъ обнародованъ, въ 1818 году, подъ заглавіемъ *Fundamenta Astronomiae*, каталогъ положеній 3222 звѣздъ для 1755 года. Во

время этой работы онъ спеціально занимался вопросомъ о рефракціи. Хотя полное теоретическое рѣшеніе этого вопроса въ то время, какъ и теперь, было немыслимо, однако, Бесселю удалось составить таблицу преломленій, весьма близко согласовавшуюся съ наблюденіями, и притомъ въ формѣ, дававшей возможность безъ особыхъ затрудненій вносить поправки на любое положеніе звѣзды. Его общіе методы редукціи — окончательно обнародованные въ *Кенигсбергскихъ таблицахъ, Tabulae Regiomontanae* (1830) — обладали громадными преимуществами въ томъ смыслѣ, что давали возможность выполнять необходимыя вычисленія при небольшой затратѣ труда, помощью почти механическихъ процессовъ, доступныхъ даже и не особенно искуснымъ ассистентамъ. Помимо изданія наблюденій Брадлея, Бессель предпринялъ новый рядъ собственныхъ наблюденій, выполненныхъ въ промежуткѣ между 1821 и 1833 годами, на основаніи которыхъ составилъ два новыхъ каталога, вышедшихъ послѣ его смерти и заключавшихъ въ себѣ около 62.000 звѣздъ.

278. Замѣчательнѣйшей изъ отдѣльныхъ работъ Бесселя было первое несомнѣнное открытіе параллакса неподвижной звѣзды. Онъ отказался принимать яркость звѣзды за критерій ея близости и выбралъ звѣзду (61 Лебедя), едва доступную невооруженному глазу, но отличавшуюся быстрымъ собственнымъ движеніемъ (около 5″ въ годъ); ясно, что если звѣзда движется въ пространствѣ съ опредѣленной скоростью (столько-то миль въ часъ), то чѣмъ ближе она къ наблюдателю, тѣмъ быстрѣе будетъ казаться ея движеніе; такимъ образомъ, видимая скорость движенія, подобно яркости, можетъ

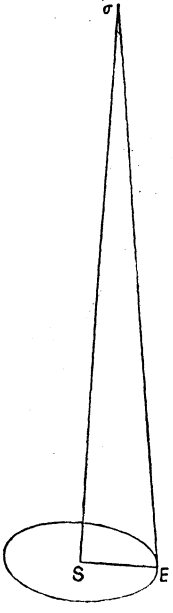
служить вѣроятнымъ (но никоимъ образомъ не достовѣрнымъ) критеріемъ ея близости. Видоизмѣнивъ дифференціальный методъ Галилея (гл. VI, § 129, и гл. XII, § 263), онъ многократно измѣрялъ въ теченіе года угловое разстояніе 61 Лебедя отъ двухъ сосѣднихъ звѣздъ, слабость блеска и неподвижность которыхъ, повидимому, указывали на ихъ громадное разстояніе. Изъ колебаній въ раз-



Фиг. 85. 61 Лебедя и двѣ сосѣднія звѣзды, которыми пользовался Бессель.

стояніяхъ σa, σb (фиг. 85) оказалось возможнымъ вычислить размѣры крошечнаго эллипса, описываемаго σ. Въ концѣ 1838 года онъ обнародовалъ результатъ своихъ изслѣдованій, изъ котораго явствовало, что звѣзда обладаетъ годичнымъ параллаксомъ около $\frac{1''}{3}$ (гл. VIII, § 161), т.-е. она находится на такомъ разстояніи, что наибольшее угловое удаленіе земли отъ солнца, если смотрѣть на него со звѣзды (уголъ $S\sigma E$ на фиг. 86, гдѣ S солнце, а E земля), измѣряется этимъ ничтожнымъ

угломъ [1]). За небольшими измѣненіями этотъ результатъ подтвердился новыми изслѣдованіями Бесселя отъ 1839—1840 года, но дальнѣйшія изысканія, повидимому, показываютъ, что параллаксъ нѣсколько меньше $\frac{1}{2}''$ [2]). При этой послѣдней оцѣнкѣ орбита земли, если наблюдать ее со звѣзды, имѣетъ для глаза такой же діаметръ, какъ полупенсовая монета на разстояніи слишкомъ трехъ миль. Другими словами, разстояніе звѣзды отъ насъ почти въ 400.000 разъ превосходитъ разстояніе земли отъ солнца, равное 141.000.000 верстъ. Миля или верста, разумѣется, представляютъ собой слишкомъ ничтожныя единицы для измѣренія такихъ огромныхъ разстояній; удобнѣе всего выражать такія разстоянія въ промежуткахъ времени, потребнаго для прохожденія свѣта. Распространяясь со скоростью 186.000 миль (288.000 верстъ) въ секунду (§ 283), свѣтъ достигаетъ къ намъ отъ 61 Лебедя немного больше, чѣмъ въ шесть лѣтъ.



Фиг. 86. Параллаксъ 61 Лебедя.

279. За рѣшеніемъ Бесселемъ великой проблемы, озабочивавшей астрономовъ со времени Коперника, немедленно послѣ-

---

[1]) На рисункѣ пропорціи сильно преувеличены, такъ какъ уголъ S σ E здѣсь равняется 10°, т.-е. въ 10.000 разъ больше истиннаго.

[2]) Р. Боллъ и покойный профессоръ Притчардъ получили соотвѣтственно 0.47″ и 0.43″; среднюю величину, 0.45″, можно пока считать не особенно далекой отъ истины.

довало два другихъ. Въ началѣ 1839 года *Ѳома Гендерсонъ* (1798—1844) объявилъ параллаксъ почти въ 1″ для яркой звѣзды α Центавра, которую наблюдалъ на мысѣ Доброй Надежды, а въ слѣдующемъ году *Фридрихъ Георгъ Вильгельмъ Струве* (1793—1864) изъ наблюденій, сдѣланныхъ въ Пулковѣ, получилъ для Веги параллаксъ въ $\frac{1}{4}''$; послѣдующими изысканіями эти числа уменьшены соотвѣтственно до $\frac{3}{4}''$ и $\frac{1}{10}''$.

Впослѣдствіи найдено было много другихъ параллаксовъ. Интересное измѣненіе въ методъ нахожденія ихъ внесъ покойный профессоръ *Чарльзъ Притчардъ* (1808—1893) изъ Оксфорда; онъ фотографировалъ изслѣдуемую звѣзду и ея сосѣдокъ, а затѣмъ измѣрялъ разстоянія на фотографіи, вмѣсто того, чтобы измѣрять угловыя разстоянія непосредственно микрометромъ.

Въ настоящее время извѣстно, что, по крайней мѣрѣ, 50 звѣздныхъ параллаксовъ поддаются болѣе или менѣе основательному измѣренію, если и не совсѣмъ точно опредѣлены въ данный моментъ; α Центавра все еще считается ближайшей звѣздой, такъ какъ свѣтъ ея достигаетъ къ намъ почти въ четыре года. Изслѣдовано было значительное число и другихъ звѣздъ съ отрицательнымъ или крайне ненадежнымъ результатомъ, указывавшимъ, что ихъ параллаксы слишкомъ малы, чтобы ихъ можно было измѣрить современными средствами, а, значитъ, ихъ разстоянія соотвѣтственно громадны.

280. Въ истекшемъ столѣтіи составлено было множество звѣздныхъ каталоговъ и картъ, перечисленіе которыхъ было бы утомительно; они отмѣчаютъ собой быстрый прогрессъ нашихъ знаній о поло-

женіяхъ звѣздъ. Такимъ образомъ, былъ накопленъ свѣжій матеріалъ для точнаго опредѣленія (путемъ сравненія состояній неба въ различныя эпохи), какъ собственнаго движенія звѣздъ, такъ и величины прецессіи. Къ наиболѣе важнымъ трудамъ этого рода относится большой каталогъ 324.198 звѣздъ сѣвернаго полушарія, извѣстный подъ названіемъ *Боннскаго Обозрѣнія, Bonner Durchmusterung*, и изданный въ 1859—1862 годахъ ученикомъ Бесселя, *Фридрихомъ Вильгельмомъ Августомъ Аргеландеромъ* (1799—1875); онъ былъ дополненъ (1875—1885) 133.659 звѣздами нѣкоторой части южнаго полушарія трудами *Эдуарда Шенфельда* (1828—1891); а сравнительно въ недавнее время докторъ *Гилль* произвелъ на мысѣ Доброй Надежды фотографическое обозрѣніе остальной части южнаго полушарія; редукцію этихъ наблюденій для составленія каталога (первая часть котораго была обнародована въ 1896 г.) произвелъ профессоръ *Каптейнъ* изъ Гронингена. Положенія звѣздъ, данныя этими каталогами, не претендуютъ на безусловную точность, а во многихъ случаяхъ важно бываетъ знать съ величайшей возможной точностью положенія хотя бы и меньшаго количества звѣздъ. Грандіознѣйшее предпріятіе этого рода, начатое Германскимъ Астрономическимъ Обществомъ въ 1867 году, ставитъ себѣ цѣлью составленіе, путемъ сотрудничества нѣсколькихъ обсерваторій, каталоговъ около 130.000 звѣздъ, заключающихся въ «приблизительныхъ» каталогахъ Аргеландера и Шенфельда; въ настоящее время уже обнародована большая часть этихъ трудовъ.

Еще болѣе грандіозный методъ обозрѣнія неба дается фотографированіемъ звѣздъ; на Междуна-

родномъ парижскомъ конгрессѣ 1887 года рѣшено было составить фотографическую карту неба съ менѣе подробнымъ (чѣмъ карта) каталогомъ, основаннымъ на ней. Все небо подѣлено между 18 обсерваторіями, расположенными въ различныхъ частяхъ свѣта, отъ Гельсингфорса на сѣверѣ до Мельбурна на югѣ, и на каждой изъ этихъ обсерваторій фотографируется небо при помощи тождественныхъ инструментовъ. Разсчитано, что вся карта, на которой отпечатаются звѣзды до 14 величины включительно [1]), будетъ усѣяна 20.000.000 звѣздъ, изъ которыхъ 2.000.000 будутъ, кромѣ того, занесены въ каталогъ.

281. Подъ заголовкомъ наблюдательной астрономіи удобно трактовать и другую великую проблему объ опредѣленіи разстоянія солнца.

Оба прохожденія Венеры (гл. X, §§ 202, 227), случившіяся въ 1874 и 1882 годахъ, наблюдались въ самыхъ широкихъ размѣрахъ, причемъ старые методы (наблюденіе промежутковъ времени) дополнены были фотографіей и прямыми микрометрическими измѣреніями положеній Венеры во время ея прохожденія.

Методъ нахожденія разстоянія солнца при помощи наблюденій Марса въ эпохи противостояній (гл. VIII, § 161) примѣнялся во многихъ случаяхъ съ значительнымъ успѣхомъ, особенно же докторомъ Джиллемъ въ 1877 году. Въ этомъ случаѣ примѣненъ былъ методъ, которымъ первоначально пользовался Флэмстидъ, — методъ, впослѣдствіи

---

[1]) Средняя звѣзда 14 величины свѣтитъ въ 100.000 разъ слабѣе, чѣмъ звѣзда 4 величины, которая, въ свою очередь почти въ 150 разъ слабѣе Сиріуса. См. § 316.

забытый, но извлеченный на свѣтъ Божій *Джорджемъ Бидделлемъ Эйри* (1801—1892), покойнымъ королевскимъ астрономомъ. Для нахожденія параллакса планеты, ее необходимо наблюдать съ двухъ различныхъ мѣстъ, разстояніе между которыми извѣстно; обыкновенно для этого берутся двѣ различныя обсерваторіи, удаленныя одна отъ другой по широтѣ какъ можно больше. Эйри показалъ, что того же результата можно достигнуть и на одной и той же обсерваторіи, если производить наблюденія черезъ промежутки въ нѣсколько часовъ, такъ какъ вращеніе земли на своей оси за такой промежутокъ произведетъ извѣстное перемѣщеніе положенія наблюдателя и доставитъ необходимый операціонный базисъ. Кажущееся отклоненіе положенія планеты всего легче удостовѣрить, измѣривъ (при помощи микрометра) разстоянія ея отъ сосѣднихъ неподвижныхъ звѣздъ. Этотъ методъ (извѣстный подъ названіемъ **суточнаго метода**), между прочимъ, обладаетъ громаднымъ преимуществомъ — простотой приложенія, для котораго требуется всего лишь одинъ наблюдатель и инструментъ.

Суточный методъ прилагался съ большимъ успѣхомъ и къ нѣкоторымъ изъ малыхъ планетъ (§ 294). Обращаясь между Марсомъ и Юпитеромъ, онѣ всѣ [1])

---

[1]) Кромѣ одной, именно Эроса, открытаго 14 августа 1898 г. астрономомъ Виттомъ, на обсерваторіи «Уранія» въ Берлинѣ. Эта планета открыта при помощи фотографіи и, по вычисленіямъ Берберихa, движется по орбитѣ, часть которой лежитъ между орбитой земли и Марса, а остальная часть — за орбитой Марса. Она приближается къ намъ въ нѣкоторыя эпохи на 20 слишкомъ милліоновъ верстъ, и тогда блеститъ, какъ звѣзда шестой величины. *Прим. переводч.*

отстоятъ отъ насъ дальше перваго; но это нѣсколько возмѣщается тѣмъ обстоятельствомъ, что малая планета, въ отличіе отъ Марса, обыкновенно не обнаруживаетъ замѣтнаго диска, и потому ея угловое разстояніе отъ сосѣдней звѣзды гораздо легче измѣрить. На преимущества малыхъ планетъ въ этомъ отношеніи впервые указалъ берлинскій професоръ *Галле* въ 1872 году, и недавнія наблюденія малыхъ планетъ Викторіи, Сафо и Ириды, 1888—1889 годовъ, произведенныя на множествѣ обсерваторій, подъ общимъ руководствомъ доктора Джилля, привели къ одной изъ наиболѣе удовлетворительныхъ оцѣнокъ разстоянія солнца [1]).

282. Астрономамъ-математикамъ XVIII вѣка было извѣстно, что разстояніе солнца можно получить, зная величину нѣкоторыхъ возмущеній; Лапласъ, напримѣръ, получилъ солнечный параллаксъ изъ лунной теоріи. Усовершенствованія, внесенныя истекшимъ столѣтіемъ въ астрономію тяготѣнія и въ область наблюденія планетъ и луны, значительно повысили цѣнность этихъ методовъ. Извѣстная неправильность въ лунномъ движеніи, называемая **параллактическимъ неравенствомъ**, и другая, въ движеніи солнца, такъ-называемое **лунное уравненіе**, обусловливаемое перемѣщеніемъ земли подъ вліяніемъ притяженія луны, обѣ зависятъ отъ отношенія между разстояніями солнца и луны отъ земли; если наблюденіе даетъ величину каждаго изъ этихъ неравенствъ, то отсюда можно вывести разстояніе солнца, такъ какъ разстояніе луны извѣстно съ

---

[1]) Благодаря своей близости къ землѣ, Эросъ можетъ доставить наиболѣе надежное средство опредѣленія параллакса солнца.
Прим. переводч.

большой точностью. Приложивъ первый изъ этихъ методовъ, Ганзенъ (§ 286) во время тщательной разработки лунной теоріи, удостовѣрился въ 1854 году, что общепринятая оцѣнка разстоянія солнца безусловно велика, а Леверье (§ 288) подтвердилъ его поправку, примѣнивъ второй методъ въ 1858 году.

Далѣе, нѣкоторыя измѣненія въ орбитахъ нашихъ двухъ сосѣдей, Венеры и Марса, зависятъ, какъ извѣстно, отъ соотношенія между массами солнца и земли; значитъ, ихъ можно связать, по принципамъ тяготѣнія, съ искомой величиной. Въ 1861 году Леверье показалъ, что движенія Венеры и Марса, подобно луннымъ, не соотвѣтствуютъ полученной оцѣнкѣ солнечнаго разстоянія; позднѣе онъ болѣе полно разработалъ этотъ пріемъ и вывелъ (1872) оцѣнки параллакса. Наблюдаемыя смѣщенія крайне незначительны, и точное опредѣленіе ихъ — дѣло далеко не легкое, но оба они относятся къ разряду вѣковыхъ (гл. XI, § 242), такъ что современемъ ихъ можно будетъ подвергнуть очень точному измѣренію. Методъ Леверье, даже и въ настоящее время представляющійся весьма цѣннымъ, почти неизбѣжно долженъ, поэтому, вытѣснить всѣ остальные, извѣстные въ настоящее время; поэтому, трудно допустить, чтобы прохожденія Венеры, ожидающіяся въ 2004 и 2012 годахъ, могли имѣть какое-нибудь значеніе для опредѣленія разстоянія солнца.

283. Въ XIX вѣкѣ придуманъ былъ еще одинъ методъ для опредѣленія разстоянія солнца, который примѣнялся въ двухъ нѣсколько различныхъ видахъ. Перемѣщеніе звѣзды въ силу аберраціи (гл. X, § 210) зависитъ отъ отношенія

скорости свѣта къ скорости движенія земли по ея орбитѣ; а наблюденія спутниковъ Юпитера по методу Ремера (гл. VIII, § 162) даютъ **уравненіе свѣта** или время, затрачиваемое свѣтомъ на прохожденіе отъ солнца къ землѣ. Каждой изъ этихъ астрономическихъ величинъ — изъ коихъ аберрація извѣстна точнѣе — можно воспользоваться для опредѣленія скорости свѣта, если извѣстны размѣры солнечной орбиты, и наоборотъ. Независимаго метода нахожденія скорости свѣта не знали вплоть до 1849 года, когда *Ипполитъ Физо* (1819—1896) изобрѣлъ и успѣшно примѣнилъ свой лабораторный способъ.

Послѣ того были изобрѣтаемы все новые методы, а сравнительно въ недавнее время было предпринято три ряда опытовъ: *Корню* во Франціи (въ 1874 и 1876 гг.), докторомъ *Михельсономъ* (1879) и профессоромъ *Ньюкомбомъ* (1880—82) въ Соединенныхъ Штатахъ; опыты эти сходны между собой въ существенныхъ чертахъ и въ общемъ даютъ одинъ и тотъ же результатъ — 186.300 англійскихъ миль (299.800 километровъ) или около 288.000 верстъ въ секунду; при помощи постояннаго числа аберраціи отсюда получается солнечный параллаксъ 8″.8 [1]).

284. Оцѣнка Энке солнечнаго параллакса, въ 8″.571, выведенная изъ прохожденій Венеры (гл. X, § 227) въ 1761 и 1769 годахъ и обнародованная въ 1835 году, соотвѣтствовала разстоянію почти въ 95 милліоновъ миль (142.5 милліона верстъ) и

---

[1]) Скорость свѣта по Ньюкомбу и постоянная аберраціи по Нирену (20″.4621) даютъ для параллакса 8″.794; постоянная аберраціи Струве (20″.445), Леви (20″.447) и Голля (20″.454) даютъ каждая 8″.81.

пользовалась всеобщимъ признаніемъ до середины минувшаго столѣтія. Между тѣмъ гравитаціонные методы Ганзена и Леверье, прежнія опредѣленія скорости свѣта и наблюденія Марса въ противостояніи 1862 года единогласно указывали на значительно большій параллаксъ; новый пересмотръ наблюденій XVIII вѣка показалъ, что изъ нихъ можно вывести большую оцѣнку по сравненію съ результатомъ Энке, и нѣкоторое время (начиная приблизительно съ 1860 года) въ большомъ ходу былъ параллаксъ въ 8″.95, соотвѣтствовавшій разстоянію въ 136 милліоновъ верстъ слишкомъ. Однако, съ теченіемъ времени въ новыхъ методахъ обнаружены были нѣкоторыя малыя погрѣшности, и вѣроятная оцѣнка параллакса снова возросла. Три наиболѣе надежныхъ метода — суточный методъ въ приложеніи къ Марсу въ 1877 году, онъ же самый въ приложеніи къ малымъ планетамъ въ 1888—1889 годахъ и методъ аберраціи — согласно дали результаты, отличающіеся отъ 8″.80 не больше, чѣмъ на двѣ-три сотыхъ секунды. Результаты послѣднихъ прохожденій Венеры, обнародованіе и разработка которыхъ растянулась на много лѣтъ, указываютъ на нѣсколько большій параллаксъ. Большинство астрономовъ, повидимому, согласно въ томъ, что параллаксъ въ 8″.8, соотвѣтствующій разстоянію почти въ 139.5 милліоновъ верстъ, прекрасно согласуется съ наиболѣе надежными данными.

285. Чрезвычайная точность современныхъ наблюденій отлично иллюстрируется недавнимъ открытіемъ измѣненій въ широтѣ нѣкоторыхъ обсерваторій. Берлинскія наблюденія 1884—1885 года указываютъ на чрезвычайно малое измѣненіе широты; съ

цѣлью провѣрки этого обстоятельства предприняты были спеціальныя наблюденія на различныхъ европейскихъ обсерваторіяхъ, а затѣмъ на Гонолулу и въ Кордобѣ. Въ результатѣ обнаружилось періодическое измѣненіе широты, доходящее до $\frac{1}{2}''$). Такъ какъ широта (гл. X, § 221) есть уголъ, образуемый вертикалью даннаго мѣста съ плоскостью экватора, т.-е. то же самое, что высота полюса надъ горизонтомъ, то она измѣняется отъ всякой перемѣны въ положеніи экватора, а, значитъ, и въ положеніи земныхъ полюсовъ или концовъ оси, на которой земля вращается.

Д-ру *С. Чэндлеру* удалось показать (въ 1891 году и позже), что упомянутыя явленія можно въ значительной мѣрѣ объяснить такимъ предположеніемъ: положеніе земной оси претерпѣваетъ чрезвычайно малыя колебанія такого рода, что каждый изъ ея полюсовъ описываетъ около своего средняго положенія окружность въ 427-дневный періодъ, причемъ наибольшее отклоненіе не превышаетъ 30 футовъ. Изъ теоріи динамики отлично извѣстно, что вращающееся тѣло, вродѣ земли, можетъ испытывать подобныя неправильности, но что если бы земля была совершенно неупруга, то періодъ равнялся бы 306 днямъ, вмѣсто 427. Различіемъ между этими двумя цифрами остроумно пользовались для нахожденія предѣловъ, въ которыхъ земля способна — на манеръ эластическаго шара — поддаваться силамъ, стремящимся растянуть ее.

286. Со времени Лапласа всѣ великія проблемы астрономіи тяготѣнія были заново разсмотрѣны, и намѣчены новые пути къ ихъ разрѣшенію.

Лунная теорія Лапласа была впервые развита *Мари Шарлемъ Теодоромъ Дамуазо* (1768—1846), *Лунныя таблицы* (1824 и 1828) котораго одно время находились во всеобщемъ употребленіи. Нѣкоторыми спеціальными задачами лунной и планетной теоріи занимался *Симеонъ Денисъ Пуассонъ* (1781—1840), болѣе, впрочемъ, извѣстный, какъ писатель по различнымъ отдѣламъ математической физики, чѣмъ какъ астрономъ. *Джіованни Антоній Амедей Плана* (1781—1869) обнародовалъ въ 1832 году тщательно разработанную по общимъ методамъ Лапласа и очень подробную теорію луны, но безъ таблицъ. Въ 1846 году появился общій трактатъ по лунной и планетной теоріи, по тому времени самый полный, написанный *Филиппомъ Густавомъ Дульсе де-Понтекуланомъ* (1795—1874), подъ заголовкомъ: *Аналитическая теорія системы міра;* не особенно полная лунная теорія, сходная съ вышеприведенной, выпущена была въ 1830—1834 годахъ *Джономъ Вильямомъ Леббокомъ* (1803—1865).

Громадный шагъ впередъ въ лунной теоріи сдѣлалъ *Петръ Андреасъ Ганзенъ* (1795—1874) изъ Готы, издавшій въ 1838 и 1862—1864 годахъ два трактата, обыкновенно извѣстные подъ названіемъ *Fundamenta* [1]) и *Darlegung* [2]); въ 1857 году онъ выпустилъ столь точныя таблицы луннаго движенія, что раз-

---

[1]) *Fundamenta Nova Investigationis Orbitae Verae, quam Luna perlustrat* — «Новыя основы для изслѣдованія истинной орбиты, описываемой луной».

[2]) *Darlegung der theoretischen Berechnung der in der Mondtafeln angewandten Störungen*, т.-е. «Изложеніе теоретическаго опредѣленія встрѣчающихся въ лунныхъ таблицахъ неправильностей».

ногласія между ними и наблюденіями, веденными въ столѣтній промежутокъ между 1750 и 1850 годами, рѣдко достигали 1″ или 2″. Этими таблицами сейчасъ же воспользовались для вычисленія *Морского календаря* и другихъ періодическихъ изданій въ этомъ родѣ; за небольшими измѣненіями онѣ находятся въ употребленіи и по настоящій день.

Совершенно новая лунная теорія, представлявшая громадный математическій интересъ и соотвѣтственныя усложненія и трудности, обнародована была *Шарлемъ Делонэ* (1816—1872) въ 1860 и 1867 годахъ. Къ несчастью, творецъ ея скончался, не успѣвъ выработать соотвѣтствующихъ таблицъ.

Профессоръ Ньюкомбъ изъ Вашингтона (§ 283) оказалъ лунной теоріи, равно какъ и другимъ отдѣламъ астрономіи, массу цѣнныхъ услугъ путемъ сложныхъ и тонкихъ вычисленій, изъ которыхъ наибольшей извѣстностью пользуется произведенное имъ сравненіе таблицъ Ганзена съ наблюденіями и вытекавшія отсюда поправки.

Новые методы разработки лунной теоріи изобрѣтены были покойнымъ профессоромъ *Джономъ Каучемъ Адамсомъ* изъ Кэмбриджа (1819 — 1892); сходные съ ними методы получили развитіе у д-ра *Г. Гилля* изъ Вашингтона; но такъ какъ они не были разработаны въ деталяхъ, то не годились для вычисленія таблицъ, и въ настоящее время представляютъ скорѣе математическій, чѣмъ практическій интересъ; впрочемъ, теперь производится необходимая детальная обработка ихъ, и вообще отъ этихъ и родственныхъ методовъ можно ожидать значительнаго уменьшенія необычайной запутанности и сложности, характеризующихъ лунную теорію.

287. Одинъ пунктъ лунной теоріи заслуживаетъ здѣсь особаго упоминанія. Вѣковое ускореніе средняго движенія луны, столь озадачивавшее астрономовъ со времени его открытія Галлеемъ (гл. X, § 201), получило, какъ мы видѣли (гл. XI, § 240), объясненіе со стороны Лапласа въ 1787 году. Провѣряя вычисленія, Адамсъ нашелъ, что нѣкоторыя величины, опущенныя Лапласомъ какъ малозначущія, на самомъ дѣлѣ оказываютъ чувствительное вліяніе на результатъ, такъ что, напримѣръ, одна величина, выражающая скорость возрастанія луннаго движенія, оказалась равной $5''-6''$, вмѣсто $10''$, которыя получилъ Лапласъ и которыхъ требовало наблюденіе. Необходимость этой поправки вначалѣ оспаривалась крупными спеціалистами, но впослѣдствіи получила независимое подтвержденіе отъ Делонэ, и теперь всѣми признается. Такимъ образомъ, скорость луны подвержена нѣкоторому очень малому возрастанію, которому теорія тяготѣнія не находитъ объясненія. Въ 1865 году Делонэ предложилъ остроумное, хотя и не строго обоснованное объясненіе. Уже Кантъ замѣтилъ, что **приливное треніе**, т.-е. треніе между твердой землей и океаномъ, возникающее вслѣдствіе приливнаго движенія воды, могло бы замедлять до нѣкоторой степени вращеніе земли; но такъ какъ это замедленіе считалось крайне ничтожнымъ и недоступнымъ точному вычисленію, то имъ обыкновенно пренебрегали. Однако, въ 1853 году *Вилльямъ Феррель* попытался вычислить его величину, причемъ указалъ, что такъ какъ періодъ вращенія земли, т.-е. сутки, служитъ основной единицей нашего времясчисленія, то уменьшеніе скорости вращенія земли влечетъ за

собой удлиненіе нашей единицы времени и, слѣдовательно, вызываетъ кажущееся возрастаніе скорости всѣхъ другихъ движеній, измѣряемыхъ этой единицей. Делонэ независимо пришелъ къ аналогичнымъ заключеніямъ и показалъ, что приливное треніе способно произвести какъ разъ такое измѣненіе въ движеніи луны, какое дается наблюденіемъ; если принять это объясненіе, то наблюденное движеніе луны дастъ мѣру дѣйствія приливнаго тренія. Чрезвычайная малость данныхъ, съ которыми здѣсь приходится имѣть дѣло, явствуетъ изъ того обстоятельства, что измѣненія во вращеніи земли, равносильнаго удлиненію сутокъ на $\frac{1}{10}$ секунды въ 10.000 лѣтъ, было бы достаточно для объясненія разсматриваемаго ускоренія. Кромѣ того, мы не можемъ сказать съ увѣренностью, чтобы обычная оцѣнка величины этого ускоренія (отчасти основанная на древнихъ наблюденіяхъ затменій) была непогрѣшима, но даже и въ этомъ случаѣ оно, можетъ быть, отчасти вызывается какимъ-нибудь косвеннымъ вліяніемъ тяготѣнія, еще болѣе темнымъ, чѣмъ открытое Лапласомъ, или же иной неизвѣстной причиной.

288. Многіе изъ вышеперечисленныхъ теоретиковъ луннаго движенія сдѣлали добавленія и къ различнымъ частямъ планетной теоріи, но больше всѣхъ со времени Лапласа двинулъ впередъ планетную теорію французскій математикъ, *Урбэнъ Жанъ Жозефъ Леверрье* (1811—1877); мы уже упоминали о принадлежащихъ ему методахъ нахожденія разстоянія солнца (§ 282). Первой важной астрономической его работой (1839) было разсужденіе объ устойчивости (гл. XI, § 245) системы, образуемой солн-

цемъ и тремя величайшими и отдаленнѣйшими для того времени планетами — Юпитеромъ, Сатурномъ и Ураномъ. Далѣе онъ заново переработалъ теорію движенія солнца и каждой изъ главныхъ планетъ, и составилъ для нихъ таблицы, далеко оставившія за собой всѣ прежнія и понынѣ лежащія въ основѣ главныхъ планетныхъ вычисленій *Nautical Almanac*'а и многихъ другихъ астрономическихъ календарей. Леверрье не удалось достигнуть полнаго согласія между наблюденіями и теоріей Меркурія — планеты, всегда доставлявшей астрономамъ не мало хлопотъ, — и онъ склоненъ былъ объяснять разногласія вліяніемъ или одной планеты, обращающейся между Меркуріемъ и солнцемъ, или множества малыхъ тѣлъ вродѣ астероидовъ (§ 294).

Гуго Гюльденъ (1841—1896) произвелъ изысканія болѣе отвлеченнаго характера, находящіяся въ связи съ нѣкоторыми новѣйшими успѣхами чистой математики, а одинъ изъ знаменитѣйшихъ современныхъ математиковъ, *Анри Пуанкаре* изъ Парижа, недавно заинтересовался спеціально астрономіей и въ настоящее время занятъ изслѣдованіями, которыя пока еще имѣютъ мало отношенія къ астрономіи, но все же проливаютъ свѣтъ на нѣкоторыя общія проблемы небесной механики.

289. О замѣчательномъ тріумфѣ теоріи тяготѣнія, объ открытіи Нептуна, писалось такъ часто и много, что мы считаемъ возможнымъ ограничиться самымъ краткимъ очеркомъ на эту тему. Вскорѣ послѣ открытія Урана оказалось (гл. XII, § 253), что планета эта была наблюдаема еще въ 1690 году, и послѣ этого нѣсколько разъ, хотя и не подъ видомъ планеты.

Когда были сдѣланы первыя попытки тщательнаго вычисленія ея орбиты, то оказалось невозможнымъ примирить болѣе или менѣе удовлетворительнымъ образомъ древнѣйшія наблюденія съ позднѣйшими, такъ что, напримѣръ, въ таблицахъ Бувара (гл. XI, § 247, примѣчаніе), обнародованныхъ въ 1821 году, древнѣйшія наблюденія не приняты въ разсчетъ. Но даже и это сильное средство не устранило затрудненій; разногласія между вычисленными и наблюденными положеніями снова выступили на сцену и возрастали изъ года въ годъ. Предлагалось много объясненій, и нѣкоторые астрономы высказывали предположеніе, что неправильности могутъ обусловливаться притяженіемъ неизвѣстной планеты. Первая серьезная попытка вывести изъ неправильностей движенія Урана положеніе гипотетическаго тѣла сдѣлана была Адамсомъ сейчасъ же послѣ пріобрѣтенія имъ ученой степени (1843). Къ октябрю 1845 года онъ успѣлъ уже вычислить орбиту новой планеты и указать ея мѣсто, отличавшееся (какъ мы теперь знаемъ) менѣе, чѣмъ на 2° (четыре поперечника полной луны) отъ истиннаго ея положенія. Однако, цѣлесообразныхъ поисковъ не было предпринято. Между тѣмъ Леверрье произвелъ независимо отъ Адамса такое же точно изслѣдованіе и 31 августа 1846 года опредѣлилъ, подобно Адамсу, орбиту и положеніе возмущающаго тѣла. 23 числа слѣдующаго мѣсяца д-ръ Галле, астрономъ при Берлинской обсерваторіи, получилъ отъ Леверрье письмо съ просьбою поискать планету и въ тотъ же вечеръ нашелъ близко къ мѣсту, указанному Леверрье, новое свѣтило, представлявшее небольшой планетный дискъ

и оказавшееся новой планетой, получившей названіе Нептуна [1]).

Надобно замѣтить, что неравенство въ движеніи Урана, приведшее къ этому замѣчательному открытію, не превосходило 2′— величина, незамѣтная для обыкновеннаго глаза; такъ что, если бы на небѣ находились рядомъ двѣ звѣзды, одна на истинномъ мѣстѣ Урана, а другая въ положеніи, данномъ таблицами Бувара, то наблюдатель съ обыкновенной силой зрѣнія увидѣлъ бы только одну звѣзду.

290. Лунныя таблицы Ганзена и профессора Ньюкомба, планетныя и солнечныя таблицы Леверрье, Ньюкомба и д-ра Гилля представляютъ движенія этихъ тѣлъ гораздо точнѣе, чѣмъ соотвѣтствующія таблицы, основанныя на трудахъ Лапласа, подобно тому, какъ и эти послѣднія въ свое время были гораздо точнѣе таблицъ Эйлера, Клеро и Галлея. Но и теперь согласіе между теоріей и наблюденіемъ не можетъ считаться полнымъ, и разногласія во многихъ случаяхъ оказываются такъ велики, что ихъ нельзя отнести на счетъ неизбѣжныхъ несовершенствъ нашихъ наблюденій.

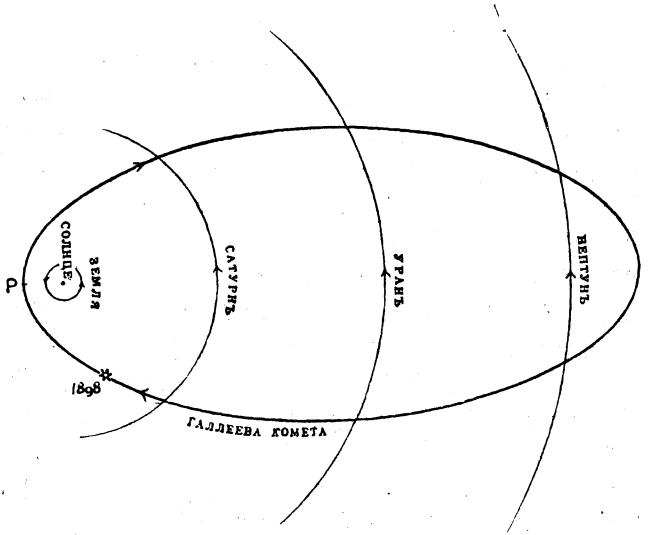
Два поразительнѣйшихъ примѣра представляютъ Меркурій и луна. Предложенное Леверрье объясненіе неправильностей перваго (§ 288) ни разу не было вполнѣ доказано или признано всѣми; положенія луны, какія даетъ *Nautical Almanac* и другіе астрономическіе календари, вычисляются при помощи поправокъ

---

[1]) Справедливость требуетъ замѣтить, что элементы, вычисленные Леверрье, вовсе не соотвѣтствуютъ элементамъ Нептуна, такъ что открытіе этой планеты, по совѣсти, Леверрье не долженъ былъ приписывать себѣ. Честь этого открытія всецѣло принадлежитъ Адамсу. *Прим. переводч.*

къ таблицамъ Ганзена, выведенныхъ Ньюкомбомъ изъ наблюденія и не оправдываемыхъ теорій тяготѣнія.

291. Благодаря открытію нѣсколькихъ кометъ, обращающихся вокругъ солнца сравнительно въ короткіе періоды, вычисленіе ихъ орбитъ пріобрѣло немаловажное значеніе въ истекшемъ столѣтіи. Гал-



Фиг. 87. Путь галлеевой кометы.

леева комета (гл. X, § 231), какъ и слѣдовало, появилась въ 1835 году, пройдя черезъ перигелій почти точно въ моментъ, назначенный тремя самостоятельно дѣйствовавшими вычислителями; разница была всего лишь въ нѣсколько дней; мы смѣло можемъ ожидать ея возвращенія около 1910 года. Теперь намъ извѣстно еще четыре кометы, обращающіяся, подобно галлеевой, по удли-

неннымъ эллиптическимъ орбитамъ, съ періодами въ 70—80 лѣтъ; изъ нихъ двѣ уже наблюдались дважды, именно, комета Ольберса въ 1815 и 1887 годахъ и комета Понсъ-Брукса въ 1812 и 1884 годахъ. Четырнадцать другихъ кометъ, съ періодами отъ $3^1/_3$ года (комета Энке) до 14 лѣтъ (комета Тэттля), возвращались болѣе одного раза; еще около дюжины обладаютъ періодами менѣе, чѣмъ въ 100 лѣтъ; а отъ 20 до 30 другихъ кометъ движутся по орбитамъ несомнѣнно эллиптическимъ, хотя періоды ихъ очень длинны и потому не могутъ быть опредѣлены съ полной точностью. Все-таки астрономы вычислили орбиты 230—240 кометъ, изъ которыхъ нѣкоторыя, правда, весьма далеки отъ истины.

292. Первымъ важнымъ успѣхомъ въ теоріи приливовъ послѣ изданія *Небесной механики* была сводка многочисленныхъ наблюденій надъ приливами и сопоставленіе ихъ съ теоретическими результатами. Піонерами этого предпріятія явились Леббокъ (§ 286), представившій въ 1830—1837 годахъ рядъ статей по этому предмету въ Королевское Общество, и *Виллльямъ Уэвелль* (1794—1866), статьи котораго вышли между 1833 и 1851 годами. Эйри (§ 281), состоявшій въ то время королевскимъ астрономомъ, обнародовалъ въ 1845 году цѣнный трактатъ по тому же вопросу, предметомъ котораго было подробное разсмотрѣніе теоріи приливовъ въ водяныхъ массахъ ограниченныхъ размѣровъ и спеціальной формы. Новые методы, предложенные лордомъ *Кельвиномъ* и профессоромъ *Дарвиномъ*, значительно подвинули впередъ анализъ приливныхъ наблюденій, произведенныхъ въ большомъ ко-

личествѣ во всѣхъ частяхъ свѣта. Мы теперь обладаемъ массой свѣдѣній относительно того, какимъ образомъ приливы измѣняются въ зависимости отъ мѣстности и различныхъ положеній солнца и луны.

Въ послѣдніе годы большое вниманіе обращаетъ на себя вопросъ объ измѣненіяхъ въ самой землѣ, аналогичныхъ приливамъ, какія могли бы вызываться притяженіемъ луны и солнца. Такъ какъ абсолютно неупругихъ тѣлъ не существуетъ, то разсматриваемыя силы могли бы, поэтому, производить въ землѣ нѣкоторыя приливныя явленія. Эту задачу впервые изслѣдовалъ лордъ Кельвинъ въ 1863 году, затѣмъ профессоръ Дарвинъ и другіе. Хотя и въ настоящее время едва ли можно ожидать опредѣленныхъ числовыхъ результатовъ, однако, работы уже указываютъ на сравнительную ничтожность этихъ приливовъ и на вытекающую отсюда значительную неупругость земного шара — результатъ, представляющій большой интересъ въ связи съ геологическими изслѣдованіями относительно природы внутренняго ядра земли.

О нѣкоторыхъ умозрѣніяхъ, связанныхъ съ приливнымъ треніемъ, мы поговоримъ въ другомъ мѣстѣ (§ 320).

293. Пуассонъ и Леверрье съ своей стороны подтвердили и расширили положенія объ устойчивости солнечной системы, выставленныя Лагранжемъ и Лапласомъ (гл. XI, §§ 244, 245); на нихъ нужно смотрѣть, какъ на абстрактныя предложенія, выводимыя математически изъ нѣкоторыхъ опредѣленныхъ допущеній. Что же касается притязаній упомянутыхъ математиковъ предсказать дѣйствительное

состояніе солнечной системы на отдаленныя будущія времена, то въ настоящее время они представляются гораздо менѣе основательными, чѣмъ прежде. Въ общей своей тенденціи научная мысль идетъ къ болѣе полному выясненію лишь приблизительности и вѣроятности тѣхъ областей нашего знанія, которыя наилучшимъ образомъ удостовѣрены; «точно», «всегда» и «достовѣрно»—эти слова постепенно исчезаютъ изъ научнаго лексикона и употребляются скорѣе въ качествѣ удобныхъ сокращеній. Положенія ,претендующія,—или имѣющія право, по обычнымъ представленіямъ, считаться «точными» и неизмѣнными до отдаленныхъ будущихъ временъ, — встрѣчаются, поэтому, съ значительнымъ недовѣріемъ, если они не предлагаются въ формѣ чистыхъ абстракцій.

Тѣ пункты, въ которыхъ предположенія Лагранжа и Лапласа не подтверждаются дѣйствительнымъ состояніемъ солнечной системы, начинаютъ теперь выясняться подъ вліяніемъ успѣховъ астрономіи и физики.

Для вывода теоремъ объ устойчивости понадобилось предположеніе, что тѣла солнечной системы совершенно неупруги; другими словами, движенія частей какого-нибудь тѣла относительно другъ друга не принимались въ разсчетъ. Такимъ образомъ, были упущены изъ виду какъ обыкновенные океаническіе приливы, такъ и приливы твердаго вещества, на существованіе которыхъ указываютъ современныя изслѣдованія. Приливное треніе, измѣряющееся, правда, въ настоящее время крайне ничтожной величиной (§ 287), существенно отличается отъ возмущеній, составляющихъ главный предметъ астро-

номіи тяготѣнія, поскольку дѣйствіе его непреложно. Теоремы устойчивости показывали, что обыкновенныя возмущенія порождаютъ вліянія, рано или поздно компенсирующія другъ друга, такъ что если какое-нибудь движеніе теперь ускоряется, то бываетъ время, когда оно замедляется; но не таково дѣйствіе приливнаго тренія. Напримѣръ, приливное взаимодѣйствіе между землей и луной постепенно удлиняетъ сутки и мѣсяцъ и увеличиваетъ разстояніе между этими тѣлами. Солнечное приливное вліяніе порождаетъ такія же, хотя и меньшія по размѣрамъ явленія между землей и солнцемъ. Ничтожность конечнаго эффекта въ обоихъ случаяхъ (насколько мы вообще въ состояніи измѣрять такія величины) превосходитъ всякое воображеніе, но этому процессу не имѣется соотвѣтствующей компенсаціи. Такимъ образомъ, энергія упомянутыхъ тѣлъ мало-по-малу уменьшается. Далѣе, современныя теоріи свѣта и электричества требуютъ, чтобы пространство было заполнено «эѳиромъ», обладающимъ способностью передавать извѣстныя волнообразныя движенія; и хотя нѣтъ прямыхъ указаній на то, чтобы онъ оказывалъ какое-нибудь вліяніе на движенія земли или планетъ, однако, трудно вообразить себѣ среду, настолько отличную отъ всѣхъ извѣстныхъ намъ формъ обыкновенной матеріи, чтобы она не оказывала никакого сопротивленія движущемуся въ ней тѣлу. Результатъ такого сопротивленія выразился бы въ медленномъ приближеніи членовъ солнечной системы къ солнцу и постепенномъ уменьшеніи временъ ихъ обращенія вокругъ него. Вотъ еще одна тенденція, компенсаціи которой мы не знаемъ.

Съ точки зрѣнія Лагранжа и Лапласа солнечная система уподобляется часамъ, которые хотя и идутъ не совсѣмъ правильно, то спѣша, то отставая, но тѣмъ не менѣе не нуждаются въ томъ, чтобы ихъ заводили; между тѣмъ современныя изслѣдованія наталкиваютъ насъ на аналогію съ часами, которыхъ пружина въ общемъ «сходитъ», хотя и крайне медленнымъ темпомъ. Современныя изслѣдованія о солнечной теплотѣ (§ 319) также указываютъ на неуклонную тенденцію нашей солнечной системы къ «развинчиванію», хотя и инымъ путемъ.

294. Очеркъ современной описательной астрономіи всего удобнѣе будетъ начать съ планетныхъ открытій.

Первый день XIX вѣка ознаменовался открытіемъ новой планеты, получившей названіе Цереры. Она была открыта *Джузеппе Піацци* (1746—1826) подъ видомъ новой звѣзды въ области неба, для которой онъ составлялъ карту, и вскорѣ оказалась планетой, такъ какъ измѣняла свое положеніе. Ея орбита (впервые вычисленная Гауссомъ, § 276) оказалась лежащей въ пространствѣ между Марсомъ и Юпитеромъ, незаполненность котораго еще со времени Кеплера представлялась ненормальнымъ явленіемъ. Такимъ образомъ, открытіе планеты въ этой области не явилось большой неожиданностью; но открытіе *Генрихомъ Ольберсомъ* (1758—1840) въ мартѣ 1802 года второго тѣла (Паллады), обращающагося почти на такомъ же разстояніи отъ солнца, было совсѣмъ неожиданно и обнаружило совершенно новый порядокъ распредѣленія планетъ. Весьма естественно было предположить, что если нашлось мѣсто для двухъ планетъ,

то найдется и для большаго числа, и, дѣйствительно, вскорѣ послѣдовало еще два новыхъ открытія (Юнона въ 1804, Веста въ 1807 году).

Новыя планеты оказались гораздо меньше всѣхъ другихъ планетъ; не говоря уже о томъ, что онѣ не представляли планетныхъ дисковъ, подобно ихъ сосѣдямъ Марсу и Юпитеру, ихъ даже трудно было отличить отъ неподвижныхъ звѣздъ, развѣ что въ самые могущественные телескопы того времени; для отличія отъ другихъ планетъ ихъ стали называть **астероидами** (названіе, предложенное Вильямомъ Гершелемъ) или **малыми планетами**. Гершель пытался измѣрить ихъ величину и опредѣлилъ діаметръ крупнѣйшей изъ нихъ почти въ 200 миль или 300 верстъ (діаметръ Меркурія, наименьшей изъ большихъ планетъ, равенъ 3000 миль или 4500 верстамъ), но эта задача въ дѣйствительности оказалась не по силамъ даже самымъ могучимъ методамъ тогдашняго наблюденія. Характерной для малыхъ планетъ особенностью является значительное наклоненіе и эксцентрицитетъ нѣкоторыхъ орбитъ; орбита Паллады, напримѣръ, составляетъ съ эклиптикой уголъ въ 35°, а эксцентрицитетъ ея равенъ $\frac{1}{4}$, такъ что наименьшее ея удаленіе отъ солнца не на много превышаетъ половину наибольшаго разстоянія. Эти особенности навели Ольберса на мысль, что малыя планеты представляютъ собой обломки первоначальной планеты среднихъ размѣровъ, нѣкогда разлетѣвшейся въ куски, и его теорія, отвѣчавшая большей части извѣстныхъ въ то время фактовъ, была съ энтузіазмомъ принята въ тотъ вѣкъ, когда «катастрофы» считались самымъ моднымъ изъ научныхъ объясненій.

Въ теченіе сорока лѣтъ извѣстно было только четыре вышепоименованныхъ планеты; пятая была открыта въ 1845 году *Карломъ Людвигомъ Генке* (1793—1866) послѣ 15-тилѣтнихъ поисковъ. Еще двѣ открыто было въ 1847 году, въ 1848 еще одна, и съ тѣхъ поръ число ихъ непрерывно увеличивалось. Процедура открытія ихъ значительно упростилась съ усовершенствованіемъ звѣздныхъ картъ, а позже со введеніемъ фотографіи. Въ этомъ послѣднемъ методѣ, впервые примѣненномъ д-ромъ *Максомъ Вольфомъ* изъ Гейдельберга въ 1891 году, фотографическая пластинка экспонируется нѣсколько часовъ; планета, находящаяся въ фотографируемой области неба, за эти нѣсколько часовъ успѣваетъ ощутительно передвинуться по отношенію къ звѣздамъ, и узнается по свѣтлому слѣду или полоскѣ, оставляемой ея изображеніемъ на пластинкѣ. Прилагаемый рисунокъ показываетъ (близъ центра) слѣдъ малой планеты Свеи, открытой Вольфомъ 21 марта 1892 года.

Къ концу 1897 года извѣстно было не менѣе 432 малыхъ планетъ, изъ которыхъ 92 открыто было только однимъ наблюдателемъ, г. *Шарлуа* изъ Ниццы, и 83 — профессоромъ *Пализа* изъ Вѣны [1]).

Орбиты малыхъ планетъ занимаютъ все пространство между орбитами Марса и Юпитера, хотя лишь немногія изъ нихъ приходятся у границъ этой области; больше всѣхъ наклонена къ эклиптикѣ орбита Паллады, эксцентрицитеты же колеблются отъ нуля (почти) до $\frac{1}{3}$.

---

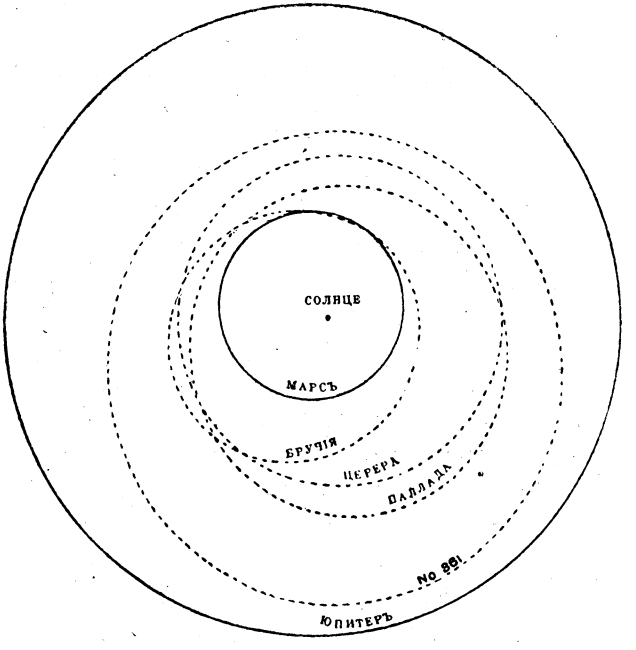
[1]) Теперь мы ихъ знаемъ свыше 480.

Прим. переводч.

Фиг. 88. Фотографическій слѣдъ малой планеты.

(Къ стр. 536).

Фиг. 89 изображаетъ орбиты двухъ первыхъ по времени открытія малыхъ планетъ, планеты № 323 (Бручіи, больше всего приближающейся къ солнцу [1]) и планеты № 361 (Бононія), которая больше всего удаляется отъ него. Всѣ орбиты описываются въ прямомъ направленіи, т. - е. съ запада черезъ югъ на



Фиг. 89. Пути малыхъ планетъ.

востокъ. Наиболѣе характерной особенностью въ распредѣленіи малыхъ планетъ, впервые подмѣченной въ 1866 году *Даніиломъ Кирквудомъ* (1815—1895), является существованіе сравнительно пустыхъ про-

[1]) Теперь это вѣрно для Эроса, но не для Бручіи.
Прим. переводч.

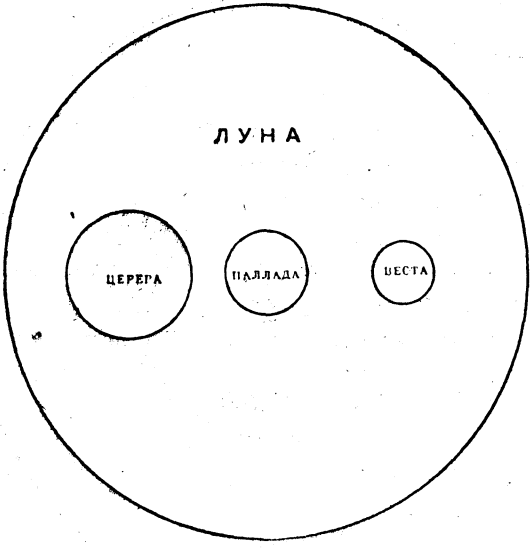
странствъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ возмущающее дѣйствіе Юпитера проявляется, по принципу Лагранжа (гл. XI, § 243), всего сильнѣе: напримѣръ, на разстояніи, составляющемъ около пяти восьмыхъ разстоянія Юпитера отъ солнца, планета обращалась бы, по закону Кеплера, ровно вдвое быстрѣе Юпитера; приблизительно на такомъ разстояніи между малыми планетами замѣчается пробѣлъ.

Оцѣнки размѣровъ и массъ малыхъ планетъ и теперь еще носятъ весьма гадательный характеръ. Первыя изъ болѣе или менѣе надежныхъ прямыхъ измѣреній ихъ дисковъ принадлежатъ профессору *Э. Барнарду* и произведены на Ликской обсерваторіи въ 1894 и 1895 годахъ; изъ нихъ явствуетъ, что три крупнѣйшія изъ малыхъ планетъ, Церера, Паллада и Веста, обладаютъ діаметрами въ 500, 300 и 250 миль соотвѣтственно (750, 450 и 375 верстъ). Величина ихъ сравнительно съ луной показана на діаграммѣ (фиг. 98). Единственный примѣнимый здѣсь (если не считать немногихъ крупнѣйшихъ изъ малыхъ планетъ) методъ заключается въ измѣреніи количества получаемаго свѣта, откуда выводятся размѣры, въ предположеніи, что отражательная сила одинакова съ отражательной способностью какой-нибудь извѣстной планеты. Этотъ методъ даетъ діаметры приблизительно въ 300 миль для самыхъ яркихъ и около дюжины миль для самыхъ слабыхъ изъ извѣстныхъ нынѣ астероидовъ.

Изъ возмущеній Марса Леверрье вычислилъ, что общая масса всѣхъ извѣстныхъ или неизвѣстныхъ тѣлъ, обращающихся между Марсомъ и Юпитеромъ, не можетъ превосходить четвертой доли массы земли; но наши свѣдѣнія о ихъ размѣрахъ, какія

мы можемъ почерпнуть изъ свѣтовыхъ измѣреній, показываютъ, что вся масса извѣстныхъ въ настоящее время астероидовъ во много сотенъ разъ меньше этого предѣла.

295. Нептунъ и астероиды — единственныя планеты, открытыя въ девятнадцатомъ столѣтіи, но,



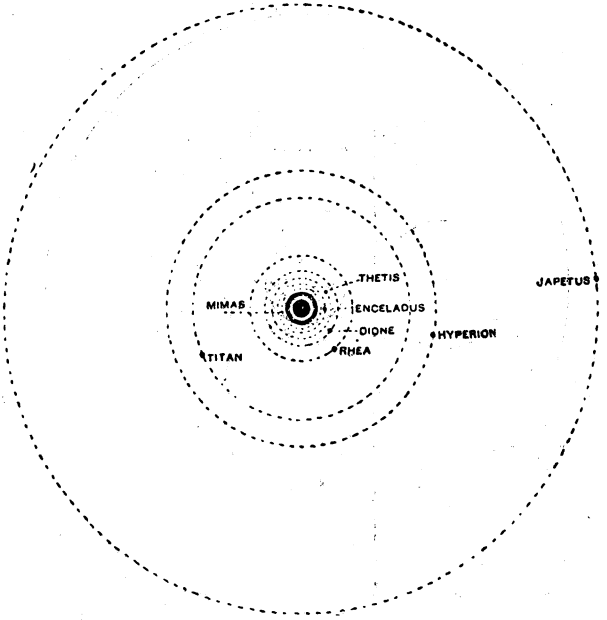
Фиг. 90. Сравнительная величина трехъ малыхъ планетъ и луны.

кромѣ нихъ, присоединено было къ нашей системѣ еще и нѣсколько спутниковъ.

Не прошло и двухъ недѣль послѣ открытія Нептуна (1846), какъ уже найденъ былъ и его спутникъ *Вильямомъ Лasселемъ* (1799—1880) въ Ливерпулѣ. Подобно спутникамъ Урана, онъ обращается вокругъ своей планеты съ востока черезъ югъ на западъ, т. е. въ направленіи, обратномъ всѣмъ

другимъ извѣстнымъ намъ движеніямъ солнечной системы (если не считать нѣкоторыхъ кометъ съ большимъ періодомъ).

Два года спустя (16 сентября 1848 года) *Вильямъ Крэнчъ Бондъ* (1789—1859) открылъ на обсерваторіи Гарвардскаго Колледжа восьмого спутника Сатурна,



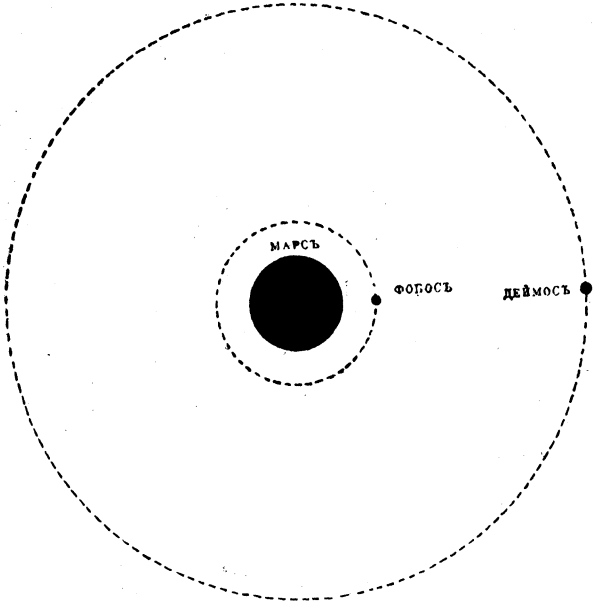
Фиг. 91. Сатурнъ и его система.

названнаго Гиперіономъ который независимо отъ того былъ замѣченъ Ласселемъ двумя днями позже [1]).

[1]) Весной 1899 года астрономъ Пикерингъ открылъ девятаго спутника Сатурна, изслѣдуя фотографическіе снимки, полученные въ горной обсерваторіи Арекипа, въ Перу, въ серединѣ августа 1898 года. Для него предложено имя Фебея, яркость его около 16-й звѣздной величины, время обращенія—полтора года.

Прим. переводч.

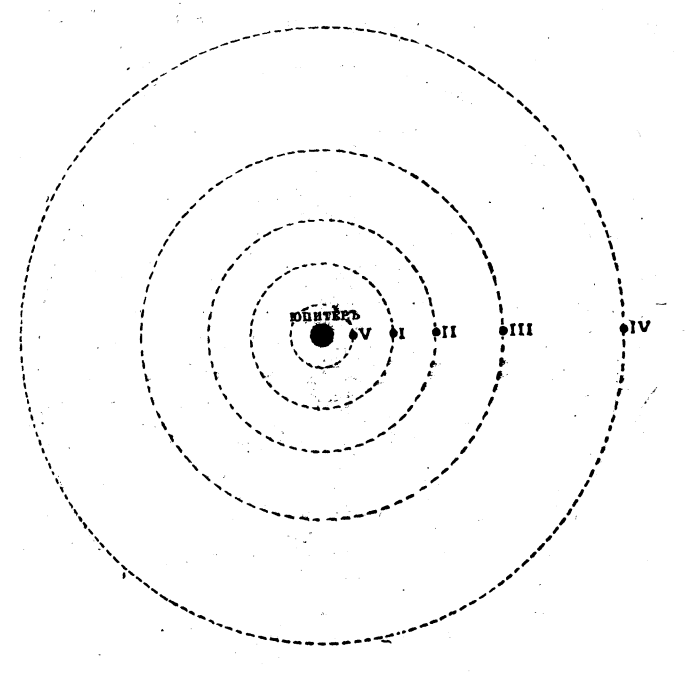
Въ слѣдующемъ году Бондъ замѣтилъ, что Сатурнъ окруженъ третьимъ, такъ-называемымъ **темнымъ** или **флеровымъ кольцомъ**, лежащимъ непосредственно внутри свѣтлыхъ колецъ (фиг. 95); такое же открытіе было независимо сдѣлано двѣ недѣли спустя *Вильямомъ Реттеромъ Даусомъ* (1799—1868)



Фиг. 92. Марсъ и его спутники.

въ Англіи. Лассель открылъ въ 1851 году двухъ новыхъ спутниковъ Урана, доведя общее число ихъ до четырехъ. Затѣмъ послѣдовало открытіе двухъ спутниковъ Марса — Деймоса и Фобоса, сдѣланное профессоромъ *Асафомъ Голлемъ* изъ Вашингтона 11 и 17 августа 1877 года. Они замѣчательны своей близостью къ планетѣ и крайне быстрымъ движе-

ніемъ; внутренній обращается быстрѣе, чѣмъ Марсъ вращается на оси, такъ что для марсіанъ онъ восходитъ на западѣ и заходитъ на востокѣ. Наконецъ, система Юпитера, спустя три вѣка послѣ ея открытія, обогатилась крайне слабымъ пятымъ



Фиг. 93. Юпитеръ и его спутники.

спутникомъ, открытымъ на Ликской обсерваторіи профессоромъ Барнардомъ 9 сентября 1892 года; этотъ спутникъ гораздо ближе къ Юпитеру, чѣмъ ближайшій изъ открытыхъ Галилеемъ (гл. VI, § 121).

296. Цѣлая армія наблюдателей съ величайшимъ тщаніемъ занималась изученіемъ поверхности различныхъ планетъ и спутниковъ, но значительная

часть этихъ наблюденій осталась безъ удовлетворительнаго разъясненія, и потому объ устройствѣ и физическихъ условіяхъ вышеозначенныхъ тѣлъ мы знаемъ очень мало.

Само собой разумѣется, астрономы лучше всего знакомы съ поверхностью нашего ближайшаго сосѣда, луны. Видимая ея половина самымъ старательнымъ образомъ нанесена на карту, высоты главныхъ горныхъ хребтовъ измѣрены при помощи отбрасываемыхъ ими тѣней. Современныя знанія значительно разсѣяли воззрѣніе, поддерживавшееся первыми наблюдателями, и отчасти раздѣлявшееся даже Гершелемъ, именно, что луна близко походитъ на землю и пригодна для обитателей, подобныхъ намъ. Темныя пространства, съ самаго начала принятыя за моря и понынѣ еще удерживающія это названіе, очевидно, представляютъ собой сушу, а всѣ кратеры, которыми усѣяна луна,—потухшіе вулканы, за однимъ-двумя сомнительными исключеніями; длинныя темныя полоски, называемыя **трещинами** и первоначально принимавшіяся за русла рѣкъ, безусловно не содержатъ въ себѣ влаги. Нѣсколько труднѣе вопросъ о лунной атмосферѣ: если тамъ и есть воздухъ, то плотность его должна быть крайне ничтожна, во много сотенъ разъ разрѣженнѣе, чѣмъ наша атмосфера у поверхности земли; но за этимъ ограниченіемъ не представляется препятствій къ существованію лунной атмосферы значительной протяженности, и если не допускать существованія нѣкоторой атмосферы, то трудно было бы объяснить иныя наблюденія.

297. Марсъ, будучи ближайшей изъ верхнихъ планетъ, находится въ наиболѣе благопріятныхъ

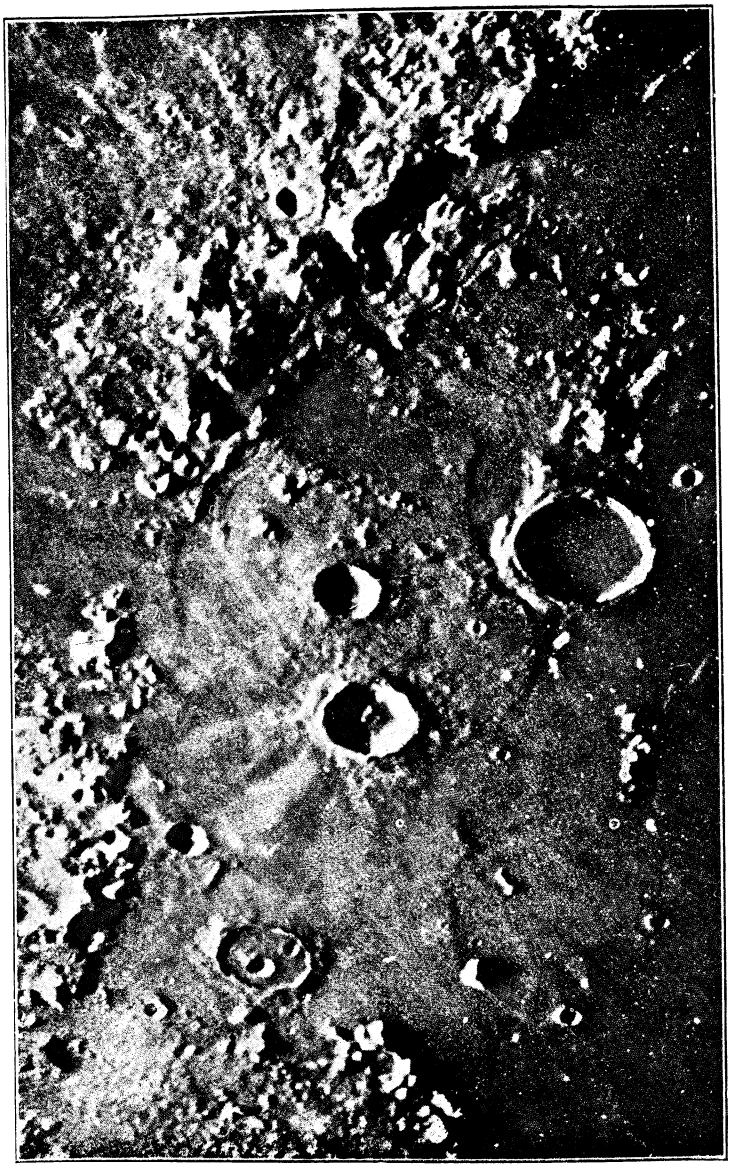
условіяхъ для наблюденія. Главныя отмѣтины его поверхности, пока принимаемыя за сушу и воду, носятъ постоянный характеръ, и потому ихъ легко изучать; составлено довольно много картъ, сносно изображающихъ его поверхность, а изъ наблюденій надъ нѣкоторыми разительными ея особенностями опредѣлено время вращенія съ точностью до дробныхъ долей секунды. Въ эпоху противостоянія 1877 года миланскій профессоръ *Скіапарелли* открылъ на дискѣ Марса массу пересѣкающихся темныхъ линій, такъ-называемые **каналы**. Изъ наблюденій противостоянія 1881—1882 года оказалось, что нѣкоторые изъ нихъ удваиваются — вмѣсто одной линіи появляются двѣ, почти строго параллельныя между собой. Эти замѣчательныя явленія были замѣчены и другими наблюдателями, но не получили еще надлежащаго объясненія [1]).

Видимыя поверхности Юпитера и Сатурна, надо думать, представляютъ собой слои облаковъ; малая плотность обѣихъ планетъ (1.3 и 0.7 соотвѣтственно, принимая плотность воды за 1, а земли въ 5.5), быстрыя перемѣны на поверхности и другіе факты указываютъ на то, что эти планеты находятся еще въ жидкомъ состояніи и обладаютъ высокой

---

[1]) Вопросъ о происхожденіи и удвоеніи каналовъ Марса живѣйшимъ образомъ интересуетъ астрономовъ послѣдняго десятилѣтія; имъ непрерывно занимаются такіе видные ученые, какъ Лоуэлль, Пикерингъ и многіе другіе. Предлагаются всевозможныя гипотезы — гипотеза оптической иллюзіи, гипотеза искусственныхъ сооруженій, приписываемыхъ жителямъ Марса, и т. п., но все это не болѣе, какъ гипотезы; достовѣрно же мы знаемъ только то, что по физическимъ своимъ условіямъ Марсъ больше, нежели какая-нибудь иная планета, походитъ на нашу собственную.

Прим. переводч.



Фиг. 94. Апеннины и смежныя области луны. Съ фотографіи Парижской обсерваторіи. *(Къ стр. 544).*

температурой на небольшомъ сравнительно разстояніи отъ видимой поверхности. Отмѣтины дисковъ обѣихъ планетъ носятъ характеръ, достаточно опредѣленный для того, чтобы можно было вычислить съ нѣкоторой точностью періоды ихъ вращенія; надо, впрочемъ, полагать, что у Юпитера, а, можетъ быть, и у Сатурна, различныя части поверхности, подобно солнечной (§ 298), движутся съ неодинаковыми скоростями. Лапласъ показалъ, что кольцо (или кольца) Сатурна не можетъ представлять собой однороднаго твердаго тѣла, какъ это кажется на первый взглядъ; не вдаваясь въ подробныя изслѣдованія, онъ сдѣлалъ поспѣшный выводъ, что оно можетъ представлять собой твердое тѣло неправильнаго строенія. Первый важный шагъ впередъ въ теоріи кольца сдѣланъ былъ *Джемсомъ Клеркъ Максвеллемъ* (1831—1879), писателемъ болѣе всего извѣстнымъ въ области электричества и другихъ отдѣловъ физики. Максвелль показалъ (въ 1857 г.), что кольца не могутъ быть ни непрерывно твердыми, ни жидкими тѣлами, но что, сообразно всѣмъ наличнымъ динамическимъ условіямъ, они должны состоять изъ безчисленнаго множества крохотныхъ твердыхъ тѣлецъ, самостоятельно обращающихся вокругъ Сатурна [1]). Эта теорія, построенная на математическихъ основаніяхъ, была до нѣкоторой степени подтверждена телескопическими наблюденіями. Такимъ образомъ, кольца по отношенію къ Сатурну играютъ приблизительно такую же роль, какъ малыя планеты относительно солнца; въ 1867 году

[1]) Эта мысль приходила въ голову и нѣкоторымъ прежнимъ писателямъ.

Кирквудъ показалъ, что кассиніево дѣленіе между двумя главными кольцами можно объяснить какъ результатъ возмущеній, вызванныхъ какими-нибудь изъ спутниковъ, точно такъ же, какъ соотвѣтствующій пробѣлъ въ области малыхъ планетъ можетъ быть объясненъ вліяніемъ Юпитера (§ 294).

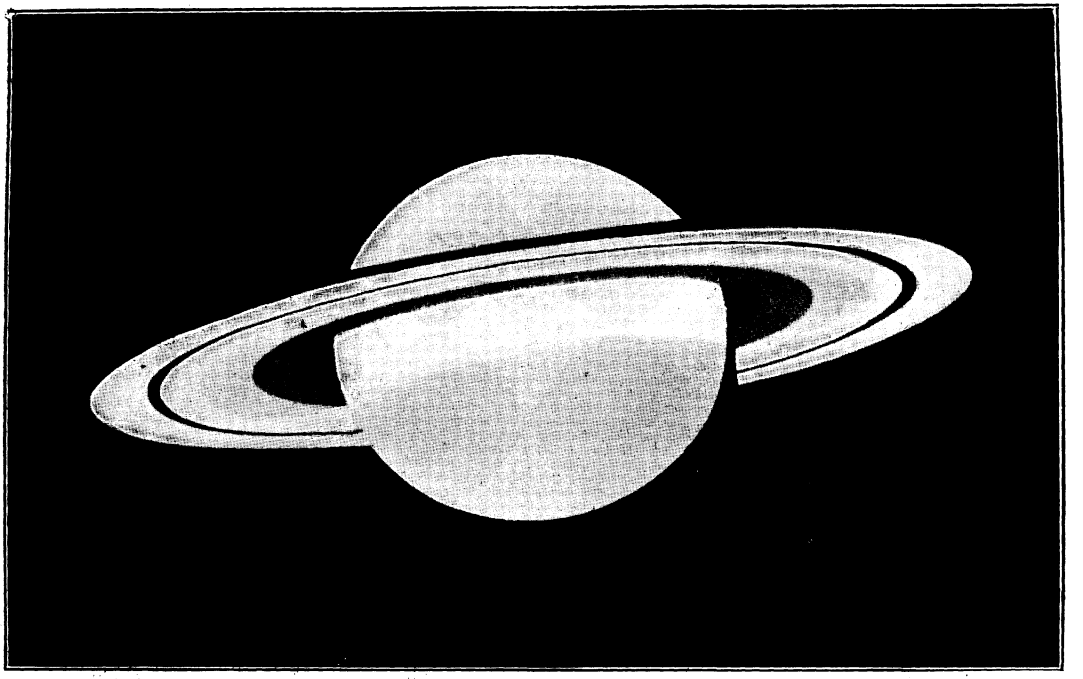
Громадное разстояніе Урана и Нептуна, естественно, затрудняетъ изученіе ихъ поверхности, и мы очень мало знаемъ о внѣшнемъ видѣ или строеніи этихъ планетъ; даже періоды ихъ вращенія на ихъ осяхъ крайне гадательны.

Меркурій и Венера, въ качествѣ нижнихъ планетъ, никогда не удаляются отъ солнца на большое угловое разстояніе, и потому ихъ чрезвычайно трудно наблюдать болѣе или менѣе удовлетворительнымъ образомъ. На ихъ поверхности замѣчены разнообразныя темныя и свѣтлыя пятна, но различные наблюдатели разно ихъ описываютъ. Періоды вращенія также оцѣниваются весьма гадательно, хотя многіе астрономы придерживаются воззрѣній Скіапарелли, опредѣлившаго въ 1882 году для Меркурія, а въ 1890 для Венеры періоды, равные времени ихъ обращенія вокругъ солнца, такъ что эти планеты постоянно обращены къ солнцу одной и той же стороной [1]). Подобное движеніе (аналогичное обращенію луны вокругъ земли и Япета вокругъ Сатурна, гл. XII, § 267) легко

---

[1]) Въ самое послѣднее время нашъ русскій астрономъ, *Бѣлопольскій* (Пулково), по перемѣщенію линій въ спектрѣ Венеры, замѣченному помощью фотографіи, заключилъ, что она вращается на своей оси гораздо быстрѣе, чѣмъ полагаетъ Скіапарелли, именно, въ очень короткій промежутокъ, заключающійся въ среднемъ между 16 и 37 часами, т.-е. около сутокъ.

Прим. перевод.



Фиг. 95. Сатурнъ съ кольцомъ. Съ рисунка профессора Барнарда. *(Къ стр. 546).*

могло бы быть объяснено какъ результатъ приливнаго вліянія въ отдаленныя прошедшія времена, когда планеты находились въ полужидкомъ состояніи.

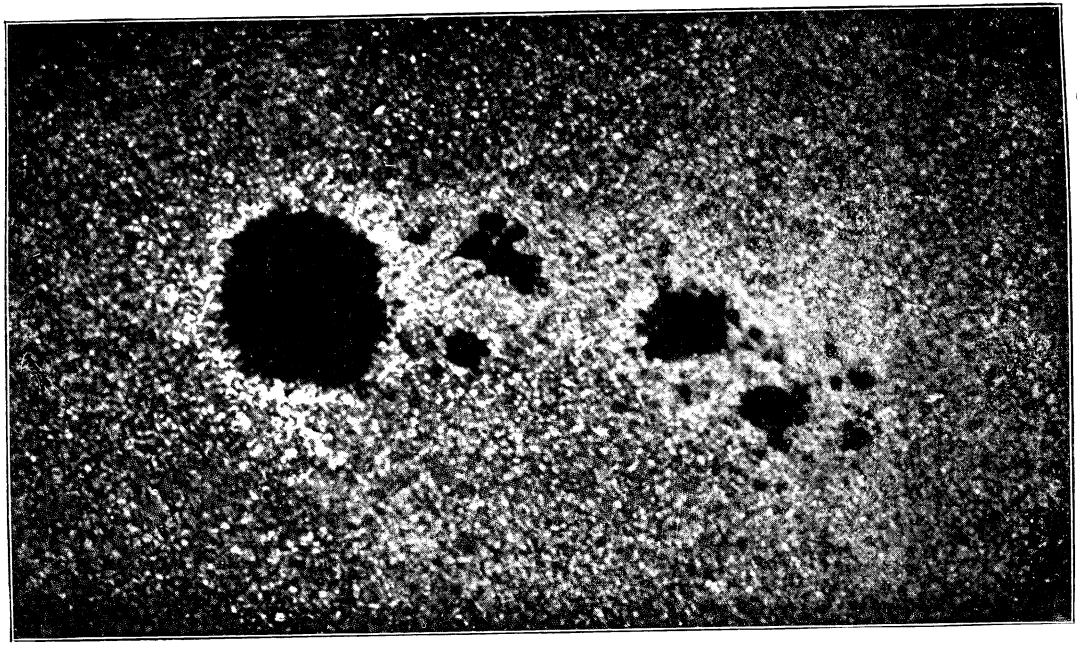
298. Телескопическое изученіе поверхности солнца въ теченіе XIX вѣка увѣнчалось накопленіемъ огромной массы детальнѣйшихъ свѣдѣній насчетъ различныхъ особенностей солнечнаго диска. Самые интересные результаты общаго характера касаются распредѣленія и періодичности солнечныхъ пятенъ. Уже первые наблюдатели замѣтили, что количество пятенъ, видимыхъ на солнцѣ, мѣняется отъ времени до времени, но только въ 1851 году установлена была закономѣрность этихъ колебаній, когда *Генрихъ Швабе* изъ Дессау (1789—1875) напечаталъ въ *Космосѣ* Гумбольдта результаты своихъ двадцатипятилѣтнихъ наблюденій надъ солнечными пятнами, изъ которыхъ видно было, что число солнечныхъ пятенъ довольно правильно возрастаетъ и уменьшается въ теченіе десятилѣтняго промежутка времени.

Прежнія записи и послѣдующія наблюденія подтвердили этотъ общій результатъ; въ настоящее время періодъ оцѣнивается приблизительно въ 11 съ небольшимъ лѣтъ, хотя онъ подверженъ значительнымъ колебаніямъ. Годъ спустя (1852) три независимыхъ изслѣдователя: *Эдуардъ Сабинъ* (1788—1883) въ Англіи, *Рудольфъ Вольфъ* (1816—1893) и *Альфредъ Готье* (1793—1881) въ Швейцаріи, обратили вниманіе на замѣчательное соотвѣтствіе между періодическими измѣненіями солнечныхъ пятенъ и земными магнитными явленіями. Кромѣ того, что ихъ періоды одинаковы, неизмѣнно случается такъ, что въ эпохи особенной многочисленности солнеч-

ныхъ пятенъ на землѣ разражаются сильнѣйшія магнитныя бури и возмущенія; равнымъ образомъ совпадаютъ и періоды ослабленія этихъ двухъ категорій явленій. Эта совершенно неожиданная и донынѣ необъясненная связь подтверждается многократными случаями совпаденія сильныхъ магнитныхъ возмущеній съ одновременными быстрыми измѣненіями на солнечной поверхности.

Длинный рядъ наблюденій надъ положеніями пятенъ на солнцѣ, предпринятый *Ричардомъ Христофоромъ Кэррингтономъ* (18.6—1875), привелъ къ первому точному установленію неравенства скоростей вращенія различныхъ частей солнечной поверхности; для экватора установленъ (1859) періодъ въ 25 дней, а для средней широты между экваторомъ и полюсами на двое съ половиной сутокъ больше; кромѣ этого пятна, обнаружили еще самостоятельныя «собственныя движенія». Кэррингтонъ констатировалъ (1858) скудость пятенъ въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ экваторомъ и подтвердилъ статистически ихъ преобладаніе въ смежныхъ областяхъ и крайнюю малочисленность въ широтахъ выше 35°; далѣе онъ подмѣтилъ нѣкоторыя правильныя перемѣны въ распредѣленіи пятенъ на протяженіи 11-тилѣтняго цикла.

Теорія Вильсона (гл. XII, § 268), по которой пятна суть вдавленія солнечной поверхности, подтверждается обширной коллекціей фотографій, снятыхъ въ Кью съ 1858 по 1872 годъ и обнаруживающихъ рѣшительное преобладаніе подмѣченныхъ имъ случаевъ перспективнаго вліянія; но, съ другой стороны, *Ф. Гоулетъ*, наблюдавшій солнце въ теченіе 35 лѣтъ и зарисовавшій нѣсколько ты-



Фиг. 96. Группа солнечныхъ пятенъ. Съ фотографіи, снятой Жансеномъ въ Медонѣ 1 апр. 1894 г. (*Къ стр. 548*).

сячъ пятенъ, заявляетъ (1894), что его наблюденія рѣшительнымъ образомъ противорѣчатъ теоріи Вильсона. Остальные наблюдатели расходятся во мнѣніяхъ.

299. **Спектральный анализъ**, сыгравшій столь видную роль въ астрономической наукѣ послѣднихъ лѣтъ, можно опредѣлить, какъ методъ изслѣдованія природы тѣла путемъ разложенія получаемаго отъ него свѣта на составные лучи.

Ньютонъ (гл. IX, § 168) первый установилъ въ 1665—1666 году, что обыкновенный бѣлый свѣтъ, напримѣръ, солнечный, есть не простой, а сложный, и что солнечный лучъ, пропущенный съ необходимыми предосторожностями черезъ стеклянную призму, разлагается на различные цвѣта; если разложенный такимъ образомъ пучокъ свѣта принять на экранъ, то получится цвѣтная полоса, такъ-называемый **спектръ**, ограниченный съ одного конца краснымъ, а съ другого фіолетовымъ цвѣтами.

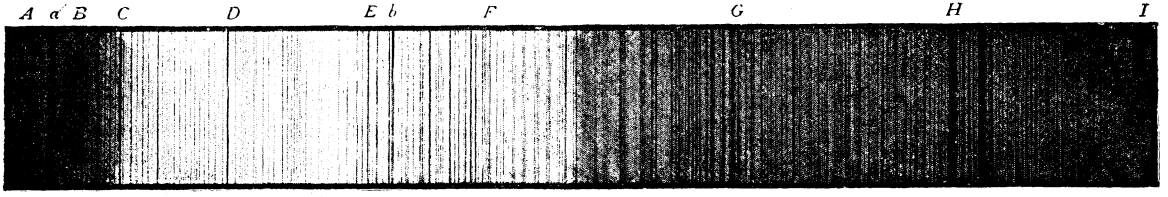
По современнымъ теоріямъ [1]), свѣтъ есть не что иное, какъ рядъ волнъ, передающихся черезъ крайне ничтожные, но правильные промежутки отъ свѣтящаго объекта къ глазу; среда, въ которой распространяются волны, называется **эѳиромъ**. Важнѣйшимъ признакомъ отличія одного цвѣта отъ другого является или время одного колебанія, или разстояніе между одной волной и слѣдующей, обыкновенно называемое **длиной волны**. Различіями въ длинѣ волнъ обусловливается разнообразіе цвѣтовъ, такъ

---

[1]) Свойства недавно открытаго элемента «радія» грозятъ совершенно опрокинуть эти воззрѣнія на природу свѣта и воскресить ньютонову «теорію истеченія», сданную уже въ архивъ науки. *Прим. перевод.*

что, опредѣленному цвѣту, находящемуся въ опредѣленной части спектра, соотвѣтствуетъ волна опредѣленной длины. У крайняго конца фіолетовой части спектра длина волны составляетъ около пятнадцати милліонныхъ дюйма, красная же волна почти вдвое длиннѣе; зная скорость свѣта, можно вычислить (§ 283), что когда мы смотримъ на красный конецъ спектра, то нашъ глазъ получаетъ въ секунду около 400 билліоновъ волнъ и вдвое больше этого числа, когда мы смотримъ на фіолетовый. Такимъ образомъ, опытъ Ньютона показываетъ, что призма сортируетъ сложный лучъ свѣта по длинамъ волнъ, соотвѣтствующихъ различнымъ цвѣтамъ. Тотъ же результатъ достигается и при помощи **диффракціонной рѣшетки**, обладающей многими преимуществами передъ призмой. Вообще же для полученія возможно болѣе чистаго и широкаго спектра необходимо пропускать свѣтъ черезъ узкую щель и пользоваться комбинаціей линзъ съ одной или нѣсколькими призмами, либо рѣшетками; для этого употребляется аппаратъ, въ которомъ спектръ наблюдается не на экранѣ, но непосредственно глазомъ или же фотографируется. Этотъ приборъ называется **спектроскопомъ**.

Солнечный спектръ представлялся Ньютону непрерывной лентой цвѣтовъ; но въ 1802 году *Вильямъ Гайдъ Волластонъ* (1766—1828) замѣтилъ нѣсколько темныхъ линій, пересѣкающихъ спектръ; онъ увидѣлъ въ нихъ границы естественныхъ цвѣтовъ. Немного лѣтъ спустя (1814—1815) знаменитый мюнхенскій оптикъ, *Іосифъ Фраунгоферъ* (1787—1826), гораздо тщательнѣе изслѣдовалъ солнечный спектръ и открылъ около 600 темныхъ линій, изъ



Фиг. 97. Фраунгоферова карта солнечнаго спектра (красный конецъ спектра слѣва, фіолетовый справа).

(Къ стр. 550).

которыхъ 324 занесъ на карту (фиг. 97). Эти темныя линіи получили названіе **фраунгоферовыхъ линій**; для болѣе удобнаго распознаванія, онъ обозначилъ самыя замѣтныя изъ нихъ буквами алфавита, остальныя же распознаются по длинѣ волны соотвѣтствующей свѣтовой полоски.

Постепенно обнаруживалось, что темныя полосы можно вызывать въ спектрѣ искусственнымъ путемъ, пропуская свѣтовой лучъ черезъ различно окрашенныя вещества, и что, съ другой стороны, нѣкоторые спектры пересѣчены различными свѣтлыми линіями.

Къ объясненію и установленію какой-нибудь связи между этими различными наблюденіями дѣлалось не мало попытокъ, но первое удовлетворительное и довольно полное объясненіе дано было въ 1859 году *Густавомъ Робертомъ Кирхгофомъ* (1824—1887) изъ Гейдельберга, сперва работавшимъ въ сотрудничествѣ съ химикомъ Бунзеномъ.

Кирхгофъ показалъ, что свѣтящееся твердое или жидкое (или, какъ мы теперь знаемъ, сильно сгущенное газообразное) тѣло даетъ непрерывный спектръ; тогда какъ вещества, находящіяся въ газообразномъ состояніи, даютъ спектръ, состоящій изъ свѣтлыхъ линій (на слабомъ непрерывномъ спектрѣ или безъ него), и эти свѣтлыя линіи зависятъ отъ рода вещества и его характерныхъ особенностей. Слѣдовательно, о присутствіи въ данномъ раскаленномъ тѣлѣ какого-нибудь вещества въ газообразной формѣ можно судить по наличности его характерныхъ линій въ спектрѣ. Темныя линіи солнечнаго спектра объясняются изъ основного принципа, часто называемаго закономъ Кирхгофа,

именно, что способность тѣла задерживать или поглощать волны данной длины прямо пропорціональна его способности испускать, при подобныхъ же условіяхъ, тѣ же самые лучи; короче говоря, поглощательная способность тѣла прямо пропорціональна его лучеиспускательной способности. Если, напримѣръ, свѣтъ раскаленнаго твердаго или жидкаго тѣла проходитъ черезъ газъ, то газъ поглощаетъ тѣ лучи, которые самъ способенъ испускать; если онъ испускаетъ ихъ больше, чѣмъ поглощаетъ, то въ спектрѣ появляются соотвѣтствующія свѣтлыя линіи, если же онъ поглощаетъ ихъ больше, чѣмъ самъ испускаетъ, то этотъ недостатокъ волнъ извѣстной длины сказывается присутствіемъ въ спектрѣ соотвѣтственныхъ темныхъ линій, т.-е. спектръ перерѣзывается темными линіями въ тѣхъ самыхъ мѣстахъ, въ которыхъ должны бы приходиться свѣтлыя линіи спектра газа. Больше ли, меньше ли газъ поглощаетъ лучей, чѣмъ испускаетъ — существенно зависитъ отъ температуры, такъ что если свѣтъ раскаленной жидкости или твердаго тѣла проходитъ черезъ газъ, обладающій болѣе высокой температурой, то въ спектрѣ появятся свѣтлыя линіи, если же температура газа ниже температуры раскаленнаго тѣла, то въ спектрѣ видны будутъ темныя линіи.

300. Присутствіе фраунгоферовыхъ линій въ солнечномъ спектрѣ показываетъ, что солнечный свѣтъ исходитъ изъ раскаленнаго твердаго или жидкаго тѣла (или чрезвычайно уплотненнаго, находящагося подъ высокимъ давленіемъ газа) и по пути проходитъ черезъ менѣе раскаленные газы, поглощающіе свѣтовыя волны, соотвѣтствующія темнымъ линіямъ. Эти газы должны находиться

или вокругъ солнца, или въ нашей атмосферѣ; и нетрудно показать, что хотя нѣкоторыя изъ фраунгоферовыхъ линій принадлежатъ нашей атмосферѣ, огромное большинство не имѣетъ такого происхожденія и, слѣдовательно, вызвано газами солнечной атмосферы.

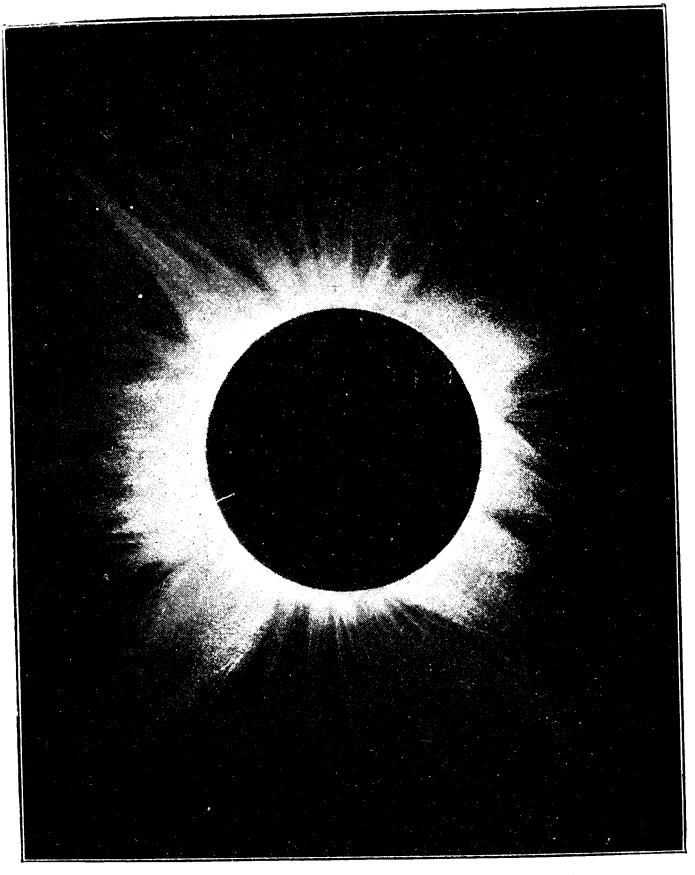
Напримѣръ, металлъ натрій при испареніи даетъ спектръ, характеризующійся двумя почти совпадающими свѣтлыми линіями въ желтой части спектра; положеніе ихъ соотвѣтствуетъ парѣ темныхъ линій (D) солнечнаго спектра (фиг. 97); отсюда Кирхгофъ заключилъ, что солнечная атмосфера содержитъ натрій. Изъ сравненія темныхъ линій солнечнаго спектра съ свѣтлыми линіями спектровъ металловъ и другихъ веществъ можно, такимъ образомъ, удостовѣриться въ ихъ существованіи въ солнечной атмосферѣ. Для желѣза, обладающаго чрезвычайно сложнымъ спектромъ, Кирхгофу удалось констатировать совпаденіе 60 линій (съ тѣхъ поръ ихъ найдено больше 2000) съ темными линіями солнечнаго спектра. Такимъ же путемъ Кирхгофъ убѣдился въ присутствіи на солнцѣ еще около полудюжины земныхъ элементовъ.

Такъ положено было начало изученію химическаго состава солнца, за которое съ усердіемъ ухватились многіе изслѣдователи. Усовершенствованные методы и возраставшая тщательность наблюденій повели къ составленію множества картъ солнечнаго спектра, начиная съ карты Кирхгофа, напечатанной въ 1861—1862 г.; сложность и точность спектральныхъ картъ непрерывно возрастаетъ съ каждымъ днемъ. Сильно расширилось наше знакомство со спектрами металловъ. Въ настоящее время на

солнцѣ доказано присутствіе 30—40 элементовъ, изъ которыхъ наибольшій интересъ представляютъ, кромѣ вышеупомянутыхъ, водородъ, кальцій, магній и углеродъ.

Первыя спектроскопическія изслѣдованія солнца касались анализа солнечнаго свѣта въ цѣломъ, но вскорѣ оказалось, что если направлять изображеніе солнца въ щель спектроскопа помощью телескопа, то можно получить спектръ какой-нибудь отдѣльной части солнечной поверхности, напримѣръ, пятна или факела; такого рода наблюденій произведено огромное количество.

301. Наблюденія надъ полными солнечными затменіями показали, что яркая поверхность, которую мы обыкновенно наблюдаемъ, не есть граница солнца, но что за нею еще находится какая-то оболочка, слишкомъ блѣдная, чтобы ее можно было видѣть при обыкновенныхъ условіяхъ, но явственно видимая въ моменты, когда ослѣпительный дискъ солнца заслоняется луной. О бѣломъ сіяніи, широко окружающемъ затмившееся солнце и нынѣ носящемъ названіе **короны**, упоминаетъ Плутархъ и довольно пространно — Кеплеръ (гл. VII, § 145). Нѣкоторые астрономы XVIII вѣка замѣчали красную полосу, простиравшуюся за общій край солнца и луны, и красныя пятна или облачка, разсѣянныя тамъ и сямъ (гл. X, § 205). Но до полнаго солнечнаго затменія 1842 года на эти явленія обращалось мало вниманія. Сдѣланныя тогда и во время затменій 1851 и 1860 года наблюденія (во время послѣдняго затменія впервые съ успѣхомъ примѣнена была фотографія) съ очевидностью показали, что красная полоса принадлежитъ сплошной обо-



Фиг. 98. Полное затменіе солнца 29 августа 1886 г. Съ рисунка, сдѣланнаго по фотографіямъ д-ра Шустера и Майдерса.

(Къ стр. 554).

лочкѣ, окружающей солнце и получившей названіе **хромосферы**, и что красныя образованія, обыкновенно называемыя **выступами** или **протуберанцами**, вообще, представляютъ собой выдавшіяся части или языки хромосферы, иногда отъ нея отрывающіеся. Во время затменія 1868 года полученъ былъ спектръ выступовъ и хромосферы; онъ состоялъ изъ свѣтлыхъ линій, откуда слѣдовало, что онъ принадлежитъ газообразному веществу. Вслѣдъ за тѣмъ *Жансенъ*, въ числѣ прочихъ наблюдавшій затменіе, и *Норманъ Локіеръ* независимо другъ отъ друга придумали способъ, позволявшій наблюдать спектры выступовъ у солнечнаго края во всякое время, не дожидаясь солнечнаго затменія; въ слѣдующемъ году (1869) этотъ методъ былъ видоизмѣненъ *Вильямомъ Гэггинсомъ* такимъ образомъ, что получилась возможность наблюдать спектроскопически самую форму выступа. Недавно (1892) профессору *Гэлю* изъ Чикаго удалось получить помощью фотографіи полное изображеніе хромосферы и выступовъ; этотъ методъ даетъ также возможность получать фотографіи факеловъ (гл. VIII, § 153) на видимой поверхности солнца.

Важнѣйшими изъ линій спектра хромосферы являются линіи водорода, двѣ линіи (H и K), принадлежащія, по всей вѣроятности, кальцію, и желтая линія, принадлежащая **гелію**, только недавно (1895) открытому на землѣ. Но когда хромосфера бываетъ сильно возмущена, то многіе выступы даютъ спектръ, содержащій и нѣкоторыя другія линіи.

Корону первое время считали оптической иллюзіей, получающейся благодаря атмосферному влія-

нію. На ея дѣйствительную принадлежность къ солнцу указали впервые въ 1869 году американскіе астрономы, профессора *Гаркнесъ* и *Юнгъ*, открывшіе въ ея спектрѣ свѣтлую линію неизвѣстнаго происхожденія, изъ чего явствуетъ, что она состоитъ отчасти изъ раскаленнаго газа. Дальнѣйшія спектроскопическія изслѣдованія показали, что корона свѣтитъ отчасти отраженнымъ солнечнымъ свѣтомъ.

Въ послѣднія 30 лѣтъ корона тщательно наблюдалась при каждомъ солнечномъ затменіи какъ спектроскопомъ, такъ и при помощи телескопа, снабженнаго фотографической камерой; насчетъ ея строенія предлагалось нѣсколько остроумныхъ теорій; но при настоящемъ состояніи нашихъ знаній едва ли мы можемъ прибавить что-нибудь къ словамъ профессора Юнга: «Неимовѣрно разрѣженное облако газа, тумана и пыли, окружающее солнце, образованное и сформированное силами, дѣйствующими на солнцѣ».

302. Спектроскопъ приноситъ намъ свѣдѣнія и о нѣкоторыхъ движеніяхъ, происходящихъ на солнцѣ. Въ 1842 году *Христіанъ Допплеръ* (1803—1853) высказалъ, правда, въ несовершенной и отчасти ошибочной формѣ, мысль, что когда свѣтящееся тѣло перемѣщается относительно наблюдателя, то свѣтовыя волны какъ бы догоняютъ одна другую и достигаютъ глаза черезъ болѣе короткіе промежутки, чѣмъ когда тѣло находится въ покоѣ, и потому измѣняется самый характеръ свѣтового луча. И окраска, и положеніе спектральныхъ линій зависятъ отъ промежутка между одной волной и слѣдующей за нею, такъ что если тѣло, испускаю-

щее свѣтовыя волны опредѣленной длины, напримѣръ, голубые лучи, соотвѣтствующіе водородной линіи F, быстро приближается къ наблюдателю, то линія спектра слегка уклоняется отъ своего обычнаго положенія, перемѣщаясь къ фіолетовому концу; если же тѣло удаляется, то линія смѣщается къ красному концу спектра. Таковъ **принципъ Допплера.** Величину подобнаго смѣщенія можно выразить численно. Если, напримѣръ, тѣло приближается со скоростью, составляющей $\frac{1}{1000}$ скорости свѣта, то въ глазъ или спектроскопъ входитъ 1001 волна, тогда какъ при обыкновенныхъ условіяхъ, когда тѣло неподвижно, ихъ вошло бы только 1000; такимъ образомъ, волна какъ бы укорачивается въ отношеніи 1000 къ 1001. Значитъ, если окажется, что спектральная линія даннаго тѣла уклонилась отъ своего нормальнаго положенія на величину, соотвѣтствующую укороченію волны на $\frac{1}{1000}$ часть, то можно заключить, что тѣло приближается къ намъ съ вышеуказанной скоростью, около 288 верстъ въ секунду, а если длина волны возросла на такую же величину (причемъ линія перемѣщается къ красному концу спектра), то это значитъ, что тѣло удаляется отъ насъ съ той же скоростью.

Самыя раннія наблюденія выступовъ, принадлежащія Локіеру (1868), а также наблюденія его и другихъ астрономовъ надъ пятнами и другими особенностями солнечной поверхности обнаружили смѣщенія и искривленія спектральныхъ линій, которыя вскорѣ оказалось возможнымъ объяснить изъ того же принципа; они указывали на существованіе грандіозныхъ возмущеній въ атмосферѣ солнца,

на взрывы, совершающіеся со скоростями, иногда достигающими 300 миль (450 верстъ) въ секунду. Непогрѣшимость этого метода получила интересное подтвержденіе въ наблюденіяхъ спектра противоположныхъ краевъ солнечнаго диска, изъ которыхъ одинъ приближался, а другой удалялся согласно вращенію солнца. Помощью такого процесса профессоръ *Дунеръ* въ Упсалѣ измѣрилъ (1887—1889) скорость вращенія солнечной поверхности за предѣлами зоны, въ которой попадаются солнечныя пятна, и, слѣдовательно, за предѣлами доступныхъ Кэррингтону наблюденій (§ 298).

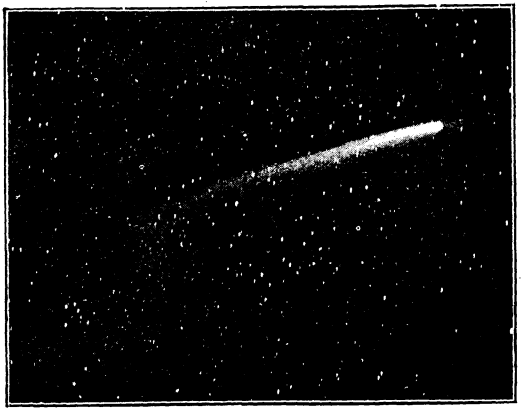
303. Спектроскопъ говоритъ намъ, что солнечная атмосфера содержитъ въ себѣ желѣзо и другіе металлы въ парообразномъ состояніи; фотосфера, дающая непрерывную часть солнечнаго спектра, должна обладать еще болѣе высокой температурой. Кромѣ того, все, что мы знаемъ о способахъ, какими теплота передается отъ одной части тѣла къ другой, показываетъ, что внѣшнія области солнца, излучающія массу свѣта и тепла, должны быть самыми холодными частями его и что по направленію къ центру температура, по всей вѣроятности, очень быстро возрастаетъ. Эти факты, въ связи съ малой плотностью солнца (около одной четвертой плотности земли) и крайне неспокойнымъ состояніемъ его поверхности показываютъ, что внутреннее ядро солнца представляетъ собой необычайно раскаленную массу газа, находящагося подъ страшнымъ давленіемъ. Далѣе идетъ фотосфера, обыкновенно принимаемая за облачный слой, за нею **обращающій слой**, дающій большую часть фраунгоферовыхъ линій, затѣмъ хромосфера и выступы и,

наконецъ, корона. Солнечныя пятна, факелы и выступы объяснялись различными способами, какъ соединенный результатъ разнообразныхъ солнечныхъ возмущеній; но всѣ, даже и самыя детальныя теоріи объясняютъ лишь часть наблюдаемыхъ фактовъ и пользуются лишь самымъ ограниченнымъ довѣріемъ среди опытныхъ астрономовъ.

304. Въ девятнадцатомъ вѣкѣ открыто было болѣе 200 кометъ; движенія большинства изъ нихъ подвергались наблюденіямъ, на основаніи которыхъ вычислены орбиты (§ 291); въ огромномъ большинствѣ случаевъ ихъ внѣшній видъ и строеніе изслѣдованы телескопически, а въ послѣднее время пришли на помощь спектральный анализъ и фотографія.

Различныя изслѣдованія указываютъ на крайне непостоянный характеръ кометы, кромѣ, можетъ быть, яркой центральной части или **ядра**, почти всегда имѣющагося налицо. Кометы неоднократно, какъ, напримѣръ, въ 1767 году (гл. XI, § 248), проходили по близости нѣкоторыхъ членовъ солнечной системы, но никогда не оказывали на ихъ движенія сколько-нибудь замѣтнаго вліянія. Масса кометы, поэтому, очень мала, но, съ другой стороны, ея размѣры или объемъ обыкновенно бываетъ очень великъ — хвостъ можетъ простираться на милліоны верстъ въ длину; плотность ея, такимъ образомъ, должна быть крайне ничтожна. Далѣе, звѣзды были часто наблюдаемы сквозь хвостъ кометы (фиг. 99) и даже сквозь ея голову въ небольшомъ разстояніи отъ ядра, причемъ яркость ихъ совсѣмъ не ослабѣвала или лишь въ самой ничтожной степени. Земля, по малой мѣрѣ, два раза

(1819, 1861) проходила черезъ хвостъ кометы, но это такъ мало на нее повліяло, что самый фактъ прохожденія установленъ былъ лишь путемъ послѣдующихъ вычисленій. Уже давно (гл. III, § 69) было замѣчено, что хвостъ кометы обращенъ въ сторону, противоположную солнцу; это обстоятельство подтвердилось многочисленными наблюденіями; изъ него слѣдуетъ, что въ нѣкоторыя эпохи положеніе кометнаго хвоста должно претерпѣвать быстрыя перемѣны. Напримѣръ, комета 1843 года прошла по близости солнца съ такой быстротой, что въ два часа перешла съ одной стороны его на противоположную; наблюдать ее въ это время, по причинѣ близости къ солнцу, было невозможно, но если она подчинялась обычному закону, то хвостъ ея, обладавшій громадной длиной, долженъ былъ совершенно перемѣнить свое направленіе за этотъ короткій промежутокъ. Трудно удержаться отъ вывода, что хвостъ — не постоянная часть кометы, но является потокомъ матеріи, отторгаемой отъ нея нѣкоторымъ вліяніемъ солнца, и въ этомъ отношеніи уподобляется струѣ дыма, выходящаго изъ трубы. Этотъ взглядъ подтверждается тѣмъ обстоятельствомъ, что хвостъ развивается лишь съ приближеніемъ кометы къ солнцу, вдали отъ котораго комета представляется обыкновенно неяснымъ пятномъ туманнаго свѣта, иногда съ болѣе яркимъ пятнышкомъ на мѣстѣ ядра. Далѣе, если хвостъ образуется истеченіемъ кометнаго вещества, что случается только тогда, когда комета находится по близости солнца, то чѣмъ чаще комета приближается къ нему, тѣмъ больше должно истощаться ея вещество; дѣйствительно, оказывается,



Фиг. 99. Большая комета 1882 года (II), 7 ноября.
Съ фотографіи д-ра Джилля.

(Къ стр. 560).

что кометы съ короткимъ періодомъ, возвращающіяся въ сосѣдство солнца черезъ частые промежутки (§ 291), по большей части, еле замѣтны для простого глаза или въ слабыя трубы. Эта теорія подтверждается и наблюденіями надъ формой хвоста. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ онъ прямой, но чаще всего слегка искривленъ, и кривизна всегда направлена назадъ относительно движенія кометы. По обыкновеннымъ динамическимъ принципамъ вещество, источаемое головой кометы, когда она обращается вокругъ солнца, должно стремиться какъ бы отставать все больше и больше по мѣрѣ удаленія его отъ головы; въ результатѣ долженъ получиться видимый изгибъ или искривленіе хвоста, больше или меньше, въ зависимости отъ скорости, съ которой отталкиваются частицы, образующія хвостъ. Измѣнчивость кривизны хвостовъ различныхъ кометъ и существованіе двухъ или болѣе различно изогнутыхъ хвостовъ при одной и той же кометѣ легко объясняется предположеніемъ, что они состоятъ изъ различныхъ веществъ, отталкиваемыхъ отъ головы кометы съ различными скоростями.

Впервые примѣнилъ спектроскопъ къ изученію кометъ, въ 1864 году, *Джамбатиста Донати* (1826—1873), больше прославившійся открытіемъ великолѣпной кометы 1858 года. Получился спектръ изъ трехъ яркихъ полосъ, болѣе широкихъ, нежели обыкновенныя «линіи», не похожій ни на одинъ изъ извѣстныхъ спектровъ. Четыре года спустя, Вилльямъ Гэггинсъ получилъ аналогичный спектръ, въ которомъ призналъ сложный спектръ углерода и водорода. Почти всѣ дальнѣйшія изслѣдованія кометъ давали спектры съ яркими полосами,

указывавшими на присутствіе того или иного углеводорода, а въ незначительномъ количествѣ случаевъ замѣчены были и другія вещества. Отсюда слѣдуетъ, что комета, по крайней мѣрѣ, отчасти, самосвѣтяща и посылаетъ намъ свѣтъ раскаленнаго газа. Въ значительной мѣрѣ она свѣтитъ и отраженнымъ солнечнымъ свѣтомъ; почти всегда получается и непрерывный спектръ, а въ немногихъ случаяхъ (первый разъ въ 1881 году) въ немъ удавалось отчетливо различить фраунгоферовы линіи. Но возможно, что непрерывный спектръ получается отчасти отъ твердаго или жидкаго вещества самой кометы, достаточно раскаленнаго, чтобы свѣтить собственнымъ свѣтомъ.

305. За послѣднія 30—40 лѣтъ установлена замѣчательная связь между кометами и крохотными тѣльцами, наблюдающимися въ видѣ **метеоровъ** или **падающихъ звѣздъ.** Мы, однако, упомянемъ здѣсь лишь наиболѣе важные факты. Дожди падающихъ звѣздъ, случавшіеся и въ древности, происходятъ, какъ теперь доказано, отъ прохожденія земли черезъ рой тѣлецъ, обращающихся по эллиптическимъ орбитамъ вокругъ солнца. Орбиты четырехъ такихъ роевъ или потоковъ опредѣлены были довольно точно въ 1866—1867 годахъ, причемъ оказалось, что каждая изъ нихъ близко совпадаетъ съ орбитой какой-нибудь извѣстной кометы. Съ тѣхъ поръ констатировано немало случаевъ совпаденія орбиты метеорнаго потока съ орбитой кометы. Одна изъ четырехъ вышеупомянутыхъ кометъ, именно комета Біелы, съ періодомъ въ шесть-семь лѣтъ, наблюдалась во время нѣсколькихъ послѣдовательныхъ возвращеній, но въ 1845—1846 году появилась въ нѣсколько

искаженномъ видѣ, а затѣмъ раздѣлилась на двѣ кометы; въ слѣдующее возвращеніе эта пара еще разъ была наблюдаема (1852); но съ тѣхъ поръ обѣ части исчезли. Каждый годъ въ концѣ ноября земля почти пересѣкаетъ путь этой кометы, а два раза (въ 1872 и 1885) она прошла черезъ мѣсто пересѣченія почти какъ разъ въ то время, когда тамъ должна была находиться комета; если, какъ представляется вѣроятнымъ, комета раздробилась на мелкія части со времени своего послѣдняго появленія, то весьма возможно, что земля столкнулась съ остатками ея, и это предположеніе подтверждается тѣмъ, что въ обоихъ случаяхъ были наблюдаемы необыкновенно обильные и блестящіе метеорные дожди.

Комета Біелы не единственная, обнаружившая признаки разложенія; бруксова комета 1889 года, по всей вѣроятности тождественная съ лекселевой (гл. XI, § 248), найдена была въ сопровожденіи трехъ малыхъ спутниковъ; такъ какъ эта комета неоднократно проходила въ очень близкомъ разстояніи отъ Юпитера, то ея разложеніе на части можно объяснить притягательной силой этой планеты. Кромѣ того, открыты были нѣкоторыя кометныя системы, члены которыхъ обращаются по одной и той же орбитѣ, но раздѣлены значительными промежутками времени. Комета Теббута 1881 года движется, въ сущности, по той же орбитѣ, что и комета 1807 года, а большая комета 1880 года, большая комета 1882 года (показанная на фиг. 99) и третья, появившаяся въ 1887 году, всѣ движутся по орбитамъ, весьма похожимъ на путь кометы 1843 года, тогда какъ комета 1668 года не такъ прочно свя-

зана съ этой системой. Трудно не видѣть въ членахъ такой системы обломковъ первоначальной кометы, прошедшей черезъ стадіи, въ которыхъ мы наблюдали кометы Біелы и Брукса.

Всѣ эти факты единогласно указываютъ на какую то внутреннюю связь между кометами и метеорами, хотя было бы, можетъ быть, преждевременнымъ утверждать, что метеоры представляютъ собой остатки погибшихъ кометъ или, наоборотъ, что кометы суть метеорные рои.

306. Каждая изъ великихъ проблемъ звѣздной астрономіи, которыя Гершель поставилъ и пытался рѣшить, тщательно изучалась астрономами XIX вѣка. Умноженіе обсерваторій, усовершенствованіе телескоповъ и введеніе фотографіи (упоминаемъ только объ этихъ трехъ несомнѣнныхъ факторахъ прогресса) сильно увеличили глубину и точность нашихъ познаній о звѣздахъ, а примѣненіе спектральнаго анализа пролило совершенно новый свѣтъ на нѣкоторые важные вопросы.

Прямымъ послѣдователемъ Вильяма Гершеля явился его сынъ *Джонъ Фридрихъ Вильямъ* (1792—1871), много сдѣлавшій не только для астрономіи, но и въ области чистой математики, физики, зарождавшейся въ то время фотографіи и философіи научныхъ открытій. Свою астрономическую дѣятельность онъ началъ около 1816 года, измѣривъ сперва одинъ, а затѣмъ въ сотрудничествѣ *Джемса Саута* (1785—1867), нѣкоторыя изъ двойныхъ звѣздъ, открытыхъ его отцомъ. Первымъ результатомъ этой работы явился каталогъ нѣсколькихъ сотенъ детально измѣренныхъ двойныхъ и множественныхъ звѣздъ (изданъ въ 1824 году), давшій возможность

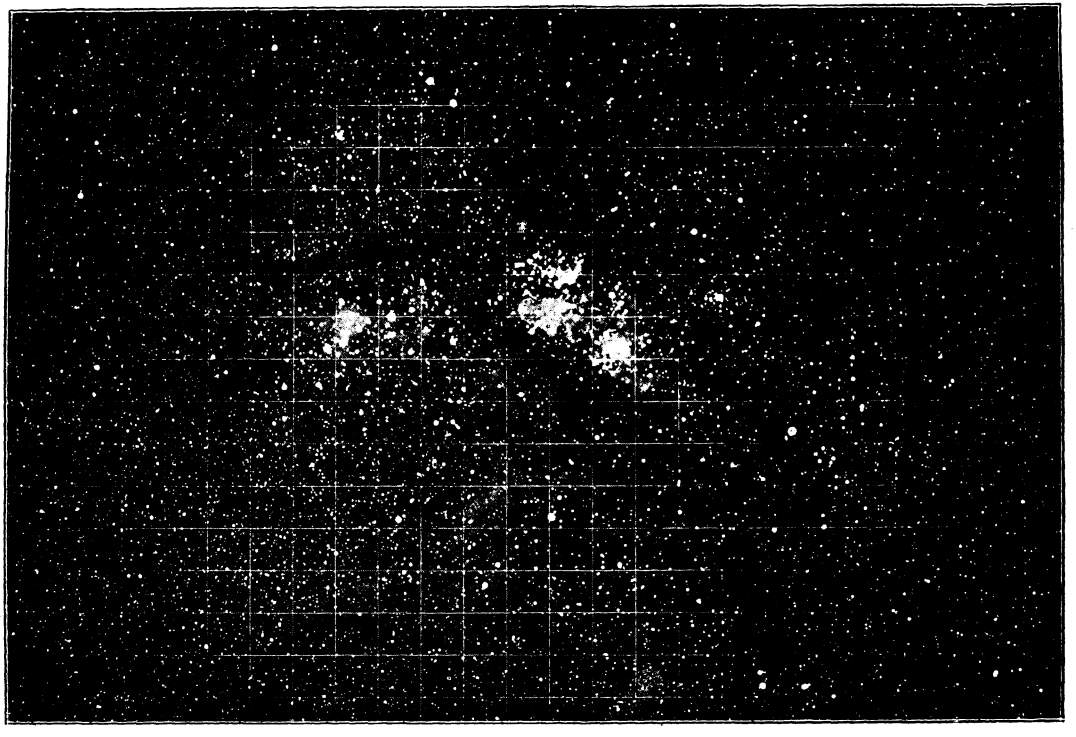
подвергнуть сравненію наблюденія его отца отъ 1781—1782 и 1802—1803 и подтвердить въ нѣсколькихъ случаяхъ наличность медленныхъ обращательныхъ движеній, начало которыхъ наблюдалось раньше. Далѣе онъ обозрѣлъ массу туманностей, выпустивъ въ 1833 году каталогъ около 2500 изъ нихъ, изъ коихъ 500 было новыхъ, а 2000 открыты его отцомъ, и только немногія — другими наблюдателями; мимоходомъ онъ открылъ свыше 3000 звѣздныхъ паръ, достаточно тѣсныхъ, чтобы ихъ можно было отнести къ двойнымъ звѣздамъ.

307. За этими трудами послѣдовала знаменитая экспедиція на мысъ Доброй Надежды (1833—1838), гдѣ онъ «выметалъ» южное небо почти такимъ же манеромъ, какъ его отецъ изслѣдовалъ небесныя области нашихъ широтъ. Тамъ онъ открылъ и изучилъ около 1200 двойныхъ и множественныхъ звѣздъ и еще большее количество новыхъ туманностей, и заново наблюдалъ около 500 прежде открытыхъ туманностей; систему черпанія звѣздъ онъ примѣнялъ въ самыхъ широкихъ размѣрахъ. Почти случайно онъ произвелъ при этомъ обозрѣніи неба нѣсколько интересныхъ наблюденій спеціальнаго характера: надъ замѣчательной перемѣнной звѣздой η Аргуса и окружающей ее туманностью (на фиг. 100 воспроизведена современная фотографія съ нея), надъ замѣчательнымъ скопленіемъ туманныхъ пятенъ и звѣздъ, носящимъ названіе магеллановыхъ облаковъ и надъ галлеевой кометой; два слабѣйшихъ изъ извѣстныхъ тогда спутниковъ Сатурна (гл. XII, § 255) были наблюдаемы здѣсь впервые со времени кончины открывшаго ихъ астронома.

Во время пребыванія на мысѣ Доброй Надежды Гершель произвелъ (1837) одно очень важное изслѣдованіе нѣсколько иного характера, именно, относительно количества теплоты, получаемой нами отъ солнца; его результатъ оказался въ довольно близкомъ согласіи съ производившимися въ то же самое время во Франціи самостоятельными изслѣдованіями *Клода Серве Матіаса Пулье* (1791—1868). Въ обоихъ случаяхъ измѣрена была теплота, получаемая данной площадью земной поверхности въ данный промежутокъ времени отъ прямого дѣйствія солнечныхъ лучей; вычтя вѣроятную потерю теплоты черезъ поглощеніе солнечныхъ лучей атмосферой, оба ученые опредѣлили все количество теплоты, ежегодно получаемой землей отъ солнца, а отсюда и полную величину солнечной радіаціи во всѣ стороны, которой только ничтожная дробь (около $\frac{1}{2.000.000}$) приходится на долю земли. Но оцѣнка количества теплоты, поглощаемой нашей атмосферой, по необходимости, была недостовѣрной, и позднѣйшія работы, особенно д-ра *Ланглея* отъ 1880—1881, показываютъ, что и Гершель, и Пулье оцѣнили его слишкомъ низко. По вычисленіямъ Гершеля теплоты, ежегодно получаемой землей отъ солнца (считая и ту, которая задерживается атмосферой), было бы достаточно, чтобы растопить слой льда толщиной въ 120 футовъ, покрывающій всю землю; по вычисленіямъ Ланглея, ея хватило бы и на толщину въ 160 футовъ [1]).

308. Съ возвращеніемъ въ Англію въ 1838 году окончилась карьера Гершеля, какъ наблюдателя; но

[1]) Наблюденія, сдѣланныя въ 1897 году на Монбланѣ подъ руководствомъ Жансена, даютъ цифру, нѣсколько выше ланглеевой.



Фиг. 100. Туманность около η Аргуса. Съ фотографіи д-ра Джилля.

(Къ стр. 567).

разработка результатовъ наблюденій, сдѣланныхъ на мысѣ Доброй Надежды, приведеніе въ порядокъ и каталогизированіе его собственныхъ и отцовскихъ открытій потребовало многолѣтней работы. Въ 1847 году появился великолѣпный томъ *Результатовъ астрономическихъ наблюденій, сдѣланныхъ въ теченіе 1834—1838 годовъ на мысѣ Доброй Надежды;* въ 1864 году представленъ былъ въ Королевское Общество каталогъ всѣхъ извѣстныхъ туманностей и звѣздныхъ кучъ, числомъ до 5079; каталогъ же свыше 10.000 двойныхъ и множественныхъ звѣздъ не былъ оконченъ, хотя собранные для него матеріалы обнародованы въ 1879 году, послѣ смерти ихъ автора. Большой каталогъ туманностей Джона Гершеля былъ пересмотрѣнъ и дополненъ д-ромъ *Дрейеромъ,* выпустившимъ списокъ 7840 туманностей и звѣздныхъ скопленій, открытыхъ до конца 1887 года; тотъ же писатель издалъ дополнительный списокъ открытій, сдѣланныхъ въ промежуткѣ 1888—1894 года, числомъ до 1529, такъ что общее количество извѣстныхъ нынѣ туманностей и звѣздныхъ кучъ колеблется между 9 и 10 тысячами, изъ коихъ больше половины открыто обоими Гершелями.

309. Кромѣ Гершелей, двойныя звѣзды были открыты и изучены также и другими астрономами. Однимъ изъ неутомимѣйшихъ работниковъ на этомъ полѣ былъ старшій Струве (§ 279), послѣдовательно состоявшій директоромъ двухъ русскихъ обсерваторій, Дерптской и Пулковской. Онъ наблюдалъ въ общемъ около 2640 двойныхъ и болѣе сложныхъ звѣздъ, тщательно измѣряя въ каждомъ случаѣ длину и направленіе линій, соединяющихъ компо-

ненты, и отмѣчая другія особенности, вродѣ цвѣтовыхъ контрастовъ между членами пары. Онъ обращалъ вниманіе только на такія пары, компоненты которыхъ раздѣлены промежутками не болѣе чѣмъ въ 32″, оставивъ, такимъ образомъ, въ сторонѣ много паръ, которыми бы занялся Вильямъ Гершель; такъ какъ число извѣстныхъ двойныхъ звѣздъ быстро возрастало, то, очевидно, необходимо было останавливаться на тѣхъ, которыя представляли больше всего шансовъ на физическую связь между компонентами (гл. XII, § 264).

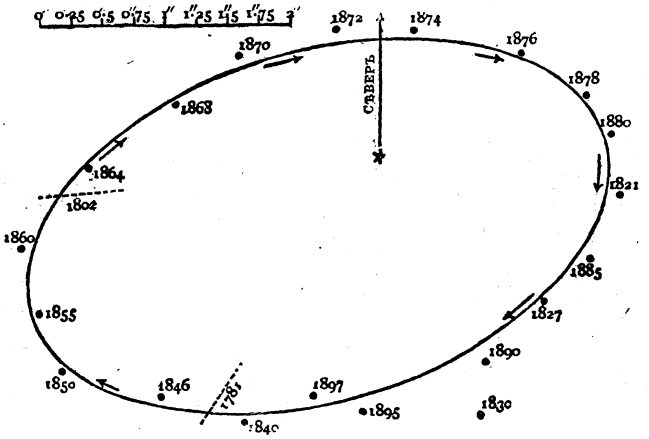
Помимо множества мелкихъ статей Струве напечаталъ три отдѣльныхъ книги по этому вопросу въ 1827, 1837 и 1852 годахъ [1]). Сравненіе его собственныхъ первоначальныхъ и позднѣйшихъ наблюденій между собой и съ первыми наблюденіями Гершеля обнаружило около 100 случаевъ перемѣны въ относительныхъ положеніяхъ членовъ пары, что указывало болѣе или менѣе явственнымъ образомъ на относительное движеніе, а изъ сравненія наблюденій Струве съ наблюденіями позднѣйшихъ изслѣдователей получились аналогичные результаты.

Наблюденіе Вильяма Гершеля надъ двойными системами (гл. XII, § 264) показали только, что существуютъ нѣкоторыя обращательныя движенія; приходилось только догадываться, что члены пары притягиваются по закону тяготѣнія и что эти обращенія аналогичны обращенію планеты вокругъ солнца; если же это такъ, то каждая звѣзда пары

---

[1]) *Catalogus novus stellarum duplicium, stellarum duplicium et multiplicium mensurae micrometricae* и *stellarum fixarum imprimis duplicium et multiplicium positiones mediae pro epocha 1830.*

должна описывать эллипсъ (либо другое коническое сѣченіе) около другой или обѣ около общаго центра тяжести, по законамъ Кеплера, и видимый путь ея на небѣ долженъ носить именно такой характеръ, видоизмѣняясь сообразно закону проэкціи на небесный сводъ. Первая попытка показать, что такъ оно происходитъ на самомъ дѣлѣ, сдѣлана *Феликсомъ Савари* (1797—1841) въ 1827 г.,



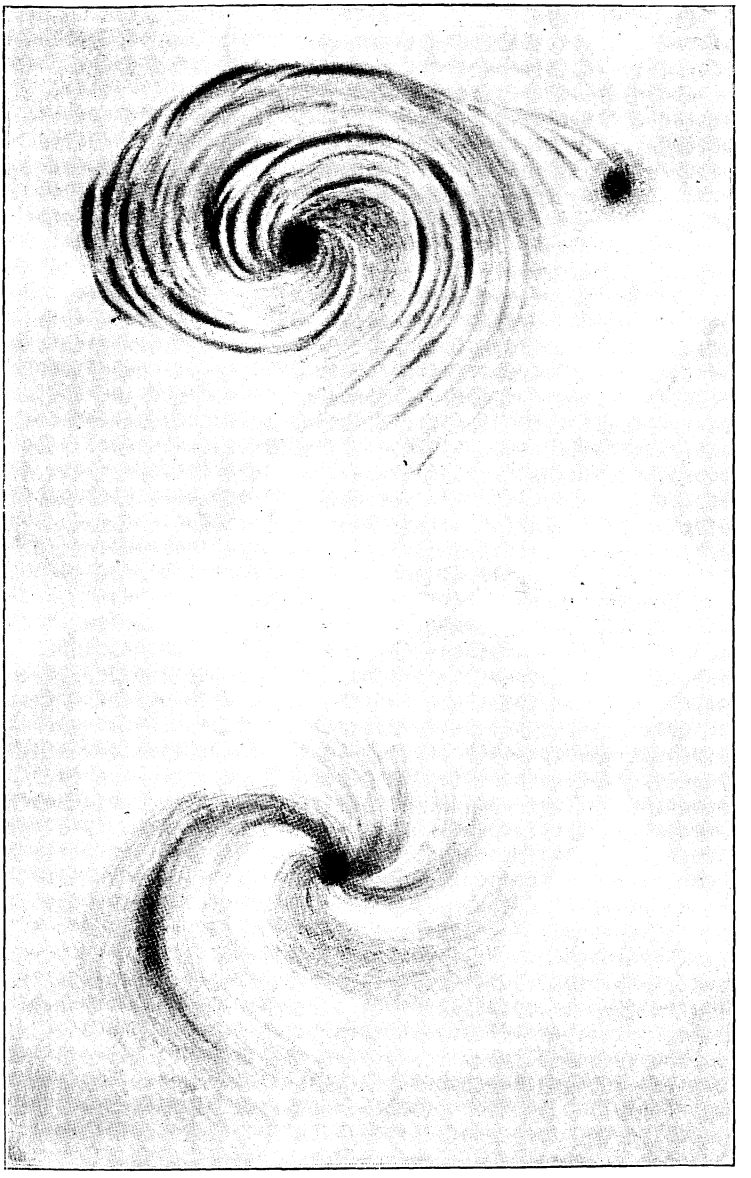
Фиг. 101. Орбита ξ Медвѣдицы, показывающая относительныя положенія двухъ компонентовъ въ различные моменты между 1781 и 1897 годами.

относительно звѣзды ξ Медвѣдицы обращающейся въ 60-тилѣтній періодъ.

Двойныхъ звѣздъ было открыто тысячи Гершелями, Струве и многими другими наблюдателями, изъ которыхъ нѣкоторые работаютъ и въ настоящее время; между ними первенствующее положеніе занимаетъ профессоръ *С. В. Бернгэмъ* изъ Чикаго, открывшій около 1300 звѣздныхъ паръ. Изъ нихъ

около 300 можно считать физическими парами, но болѣе или менѣе точныя орбиты вычислены только для 40 или 50. Одной изъ наилучше опредѣленныхъ орбитъ является орбита ξ Медвѣдицы, изображенная на фиг. 101. Кромѣ паръ, открытыхъ спектроскопическимъ методомъ (§ 314) и образующихъ до нѣкоторой степени особый классъ, всѣ остальныя изъ изученныхъ звѣздъ обладаютъ періодами отъ десяти лѣтъ до нѣсколькихъ столѣтій, а нѣкоторыя, по всей вѣроятности, и гораздо бо̀льшими.

310. Телескопы Вильяма Гершеля нѣкоторое время представляли предѣлъ того, что можетъ быть достигнуто въ сооруженіи рефлекторовъ; первый шагъ впередъ былъ сдѣланъ лордомъ *Россомъ* (1800—1867), который послѣ ряда менѣе удачныхъ попытокъ соорудилъ (1845) въ Парсонстоунѣ въ Ирландіи отражательный телескопъ почти въ 60 футовъ длиной, съ зеркаломъ діаметромъ въ шесть футовъ; при помощи этого телескопа онъ «черпнулъ» слишкомъ вдвое больше того, что доступно было гигантскому телескопу Гершеля. Первымъ дѣломъ лордъ Россъ изслѣдовалъ новымъ инструментомъ массу извѣстныхъ въ его время туманностей и въ теченіе нѣсколькихъ слѣдующихъ лѣтъ открылъ въ нихъ разнообразныя новыя черты, особенно спиральную форму нѣкоторыхъ туманностей (фиг. 102); кромѣ того, онъ разложилъ на звѣзды нѣкоторыя туманности, которыхъ Гершель не въ состояніи былъ разрѣшить и относилъ, поэтому, къ классу «свѣтящихся жидкостей» (гл. XII, § 260). Это послѣднее открытіе, аналогичное тому, какое сдѣлалъ Гершель, когда приступилъ къ изслѣдованію туманностей, которые были наблюдаемы до него въ



Фиг. 102. Спиральныя туманности. По рисункамъ лорда Росса.

(Къ стр. 571)

слабые телескопы, естественно вызвало къ жизни старинное воззрѣніе, что туманности и звѣздныя кучи суть одно и то же, хотя многіе изъ аргументовъ Гершеля и другихъ, въ сущности, не опровергались новыми открытіями.

311. Вопросъ о составѣ туманностей въ своей простѣйшей формѣ былъ рѣшенъ съ первымъ приложеніемъ спектральнаго анализа. Фраунгоферъ (§ 299) уже въ 1823 году замѣтилъ, что звѣздные спектры, подобно солнечному, характеризуются темными линіями, а болѣе полныя изслѣдованія, предпринятыя различными астрономами, вскорѣ послѣ открытій Кирхгофа, особенно Вильямомъ Гэггинсомъ и знаменитымъ астрономомъ, іезуитомъ *Анджело Секки* (1818—1878), подтвердили этотъ результатъ относительно почти всѣхъ звѣздъ.

Первый спектръ туманности полученъ былъ Вильямомъ Гэггинсомъ въ 1864 году, въ видѣ трехъ свѣтлыхъ линій; въ 1868 году онъ изслѣдовалъ 70 спектровъ, изъ коихъ около трети, въ томъ числѣ и спектръ туманности Оріона, оказались состоящими изъ тѣхъ же свѣтлыхъ линій. Значитъ, свѣтящаяся часть такихъ туманностей газообразна, и, такимъ образомъ, предположенія Гершеля о «свѣтящейся жидкости» подтвердились самымъ удовлетворительнымъ образомъ. Во всѣхъ почти случаяхъ наблюдались три яркихъ линіи, изъ которыхъ одна водородная, другія же двѣ неизвѣстнаго происхожденія, а немногія изъ болѣе яркихъ туманностей давали въ спектрѣ и нѣкоторыя другія линіи. Съ другой стороны, значительное число туманностей, между прочимъ, и такихъ, которыя подавали надежды разрѣшиться въ звѣзды въ полѣ телескопа,

даютъ непрерывный спектръ, такъ что нѣтъ ясныхъ спектроскопическихъ указаній на ихъ отличіе отъ звѣздныхъ кучъ, ибо темныя линіи, обыкновенно наблюдаемыя въ спектрѣ послѣднихъ, едва ли могутъ быть видимы въ спектрахъ столь слабо свѣтящихъ объектовъ, какъ туманности.

312. Звѣзды классифицировались сперва Секки, затѣмъ нѣсколько иначе—другими, по общему расположенію темныхъ линій въ ихъ спектрахъ; на основаніи такихъ различій нѣкоторые пытались вывести заключенія объ относительномъ «возрастѣ» или, во всякомъ случаѣ, стадіяхъ развитія различныхъ звѣздъ.

Гэггинсъ первый въ 1864 году отождествилъ нѣкоторыя темныя линіи звѣздныхъ спектровъ съ линіями земныхъ элементовъ — водорода, желѣза, натрія, кальція; такимъ образомъ, установлено извѣстное тождество матеріаловъ, изъ которыхъ построена наша земля и столь отдаленныя тѣла, какъ неподвижныя звѣзды.

Кромѣ вышеупомянутыхъ звѣздныхъ классовъ, спектроскопъ обнаружилъ существованіе крайне интереснаго и немного загадочнаго класса звѣздъ, распадающагося на нѣсколько подраздѣленій; эти звѣзды образуютъ, повидимому, связующее звено между обыкновенными звѣздами и туманностями; не отличаясь телескопически отъ обыкновенныхъ звѣздъ, онѣ періодически или постоянно даютъ въ своихъ спектрахъ свѣтлыя линіи. Къ этому классу относится много перемѣнныхъ и нѣсколько «новыхъ» звѣздъ, появлявшихся и исчезавшихъ въ недавнее время.

313. Первое приложеніе къ неподвижнымъ звѣздамъ спектральнаго метода (§ 302) опредѣленія

движенія къ наблюдателю или отъ него, т.-е. по лучу зрѣнія, сдѣлано Вильямомъ Гэггинсомъ въ 1868 году. Онъ констатировалъ микроскопическое смѣщеніе темной водородной линіи (F) въ спектрѣ Сиріуса, откуда заключилъ, что эта звѣзда удаляется отъ солнечной системы съ значительной скоростью. Въ слѣдующемъ году такимъ же путемъ изслѣдовано было еще нѣсколько звѣздъ, и съ этихъ поръ ими занимается много другихъ наблюдателей, особенно въ Потсдамѣ подъ управленіемъ профессора *Фогеля* и въ Гринвичѣ.

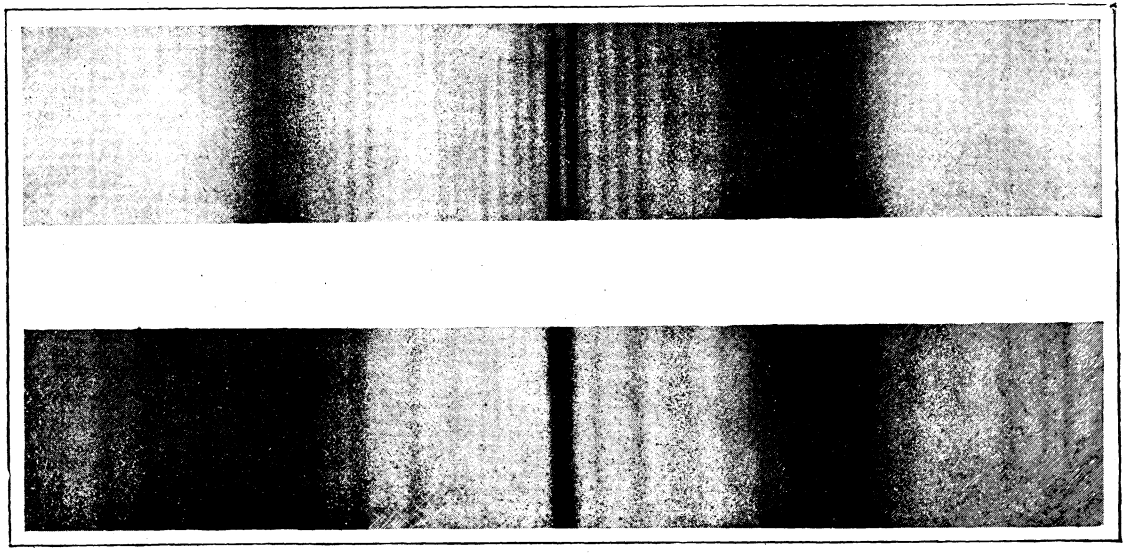
314. Недавно сдѣлано было замѣчательное приложеніе этого метода къ физическимъ звѣзднымъ парамъ. Если двѣ звѣзды обращаются одна около другой, то движенія ихъ къ землѣ и отъ нея измѣняются правильно и самостоятельно; значитъ, если пропустить свѣтъ обѣихъ звѣздъ въ спектроскопъ, то получатся два спектра (по одному отъ каждой звѣзды), линіи которыхъ правильно смѣщаются по отношенію другъ къ другу. Если какая-нибудь линія, скажемъ F, общая обоимъ спектрамъ, наблюдается въ то время, когда одна звѣзда движется къ землѣ, а другая отъ нея съ одинаковой скоростью — что случается дважды во время обращенія, то—видна только одна линія; если же онѣ движутся неодинаково и мы обладаемъ настолько сильнымъ спектроскопомъ, что онъ въ состояніи обнаружить ничтожную разницу, то линія удвоится — одна изъ составляющихъ принадлежитъ одной звѣздѣ, другая—другой. Такого рода періодическое удвоиваніе линій замѣчено было въ концѣ 1889 года профессоромъ *Э. Пикерингомъ* изъ Гарварда въ спектрѣ ξ Медвѣдицы, оказавшейся, такимъ образомъ, физи-

ческой парой, съ замѣчательно короткимъ періодомъ въ 104 дня. Почти сейчасъ же послѣ этого открытія профессоръ Фогель замѣтилъ періодическое смѣщеніе темныхъ линій въ спектрѣ Альголя, перемѣнной звѣзды въ созвѣздіи Персея (гл. XII, § 266); но такъ какъ въ этомъ случаѣ не замѣчается удвоенія линій, то можно заключить, что спутникъ ея почти или совсѣмъ теменъ, такъ что во время ихъ взаимнаго обращенія другъ около друга смѣщаются только линіи яркой звѣзды. Такимъ образомъ, теорія затмеваемости Альголя получила блестящее подтвержденіе.

Съ тѣхъ поръ открыто было немало паръ обоихъ спектроскопическихъ классовъ. Верхняя часть фиг. 103 показываетъ удвоеніе одной изъ линій спектра двойной звѣзды β Возничаго, а нижняя соотвѣтствующую часть спектра, когда линія не удвоена.

315. Въ девятнадцатомъ вѣкѣ, особенно въ послѣдніе годы, удѣлялось очень много вниманія различнаго рода перемѣннымъ звѣздамъ. Теперь извѣстно около 400 перемѣнныхъ, и много звѣздъ подозрѣвается въ этомъ смыслѣ; что же касается причинъ перемѣнчивости, то онѣ, за немногими исключеніями вродѣ Альголя, совершенно невыяснены.

316. Широко развилось и поставлено на научныя основанія изученіе сравнительной яркости звѣздъ — такъ-называемая звѣздная **фотометрія**. Традиціонная классификація звѣздъ по величинамъ была почти совершенно произвольна и потому не отличалась точностью. Когда потребовались болѣе обширныя и точныя количественныя сравненія звѣздъ различной яркости, то сразу ощутился недостатокъ



фиг. 103. Спектръ β Возничаго, показывающій линію *k* въ простомъ и удвоенномъ видѣ. Съ фотографіи, снятой въ Гарвардѣ. *(Къ стр. 574).*

въ болѣе точной системѣ классификаціи. Однимъ изъ піонеровъ въ этой области былъ Джонъ Гершель; онъ предложилъ шкалу, позволявшую производить точныя оцѣнки и приблизительно соотвѣтствовавшую, по крайней мѣрѣ, для звѣздъ, видимыхъ невооруженнымъ глазомъ, прежней системѣ; во время пребыванія на мысѣ Доброй Надежды онъ тщательно измѣрилъ свѣтъ множества яркихъ звѣздъ и классифицировалъ ихъ по своему принципу. По нынѣ принятой шкалѣ, впервые предложенной въ 1856 году *Норманомъ Робертомъ Поггсономъ* (1829—1851), яркость звѣзды какой-нибудь величины находится въ постоянномъ отношеніи (оно принимается въ 2,512) къ яркости звѣзды слѣдующей величины. Это число подобрано такимъ образомъ, что звѣзда шестой величины оказывается во сто разъ слабѣе звѣзды первой величины [1]). Звѣзды промежуточныхъ степеней яркости обозначаются дробными величинами, которыя можно вычислить по простому математическому закону, если извѣстно отношеніе яркости данной звѣзды къ яркости звѣзды, принятой за образецъ [2]).

---

[1]) Именно 2,512 выбрано какъ число, логариѳмъ котораго равенъ 0,4, такъ что $(2{,}512)^5 = 100$.

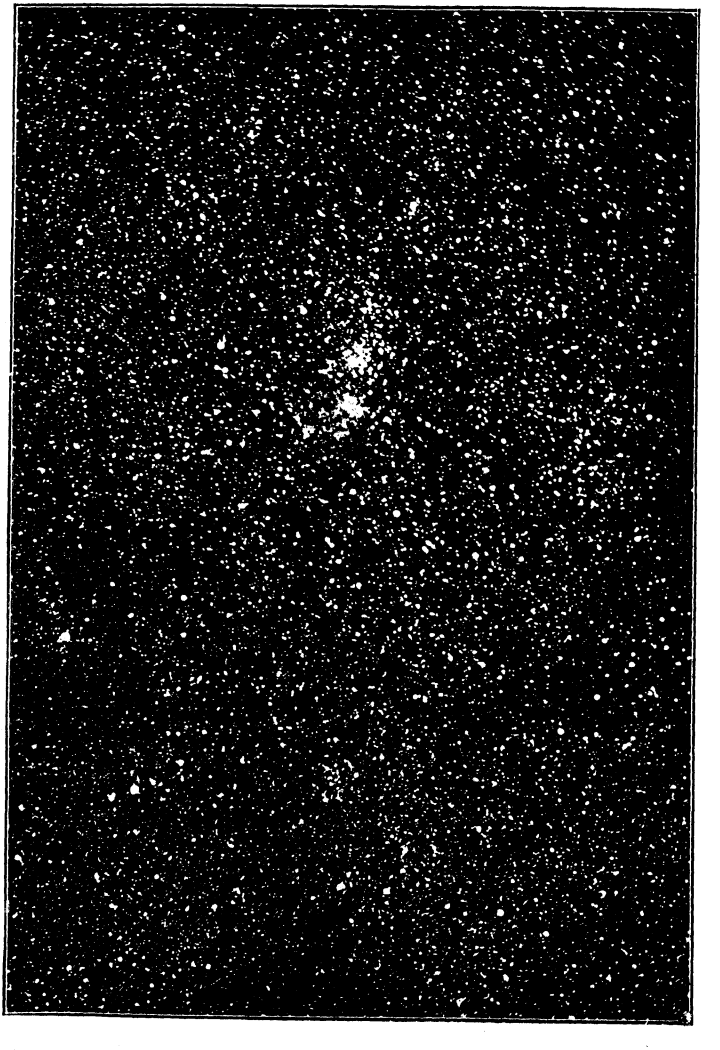
[2]) Если L есть отношеніе яркости какой-нибудь звѣзды къ яркости образцовой звѣзды первой величины, въ родѣ Альтаира или Альдебарана, то величина m дается формулой:

$$L = \left(\frac{1}{2{,}512}\right)^{m-1} = \left(\frac{1}{100}\right)^{\frac{m-1}{5}}, \text{ откуда } m - 1 = -\frac{5}{2}\log. L.$$

Звѣзда, болѣе яркая, нежели Альдебаранъ, имѣетъ величину меньше 1, а яркость Сиріуса, почти въ девять разъ превосходящаго яркостью Альдебаранъ, будетъ количество отрицательное, — 1,4 по Гарвардской фотометріи.

Многіе изъ большихъ каталоговъ (§ 280) содержатъ въ себѣ и оцѣнки звѣздныхъ величинъ. Самыя обширныя и точныя измѣренія звѣздной яркости выполнены въ Гарвардѣ и въ Оксфордѣ подъ руководствомъ профессора Пикеринга въ первомъ городѣ и покойнаго профессора Притчарда во второмъ. Оба каталога составлены для звѣздъ, доступныхъ невооруженному глазу; Гарвардскій каталогъ (опубликованный въ 1884 году) обнимаетъ 4260 звѣздъ между сѣвернымъ полюсомъ и 30° южнаго склоненія, а *Uranometria Nova Oxoniensis* (1885), какъ называется Оксфордскій каталогъ, охватываетъ только звѣзды до 10° къ югу отъ экватора, числомъ 2784. Недавно обнародованы нѣкоторыя части болѣе обширныхъ каталоговъ, составляющихся въ Гарвардѣ и Потсдамѣ для слабыхъ звѣздъ.

317. Великая проблема, которой Гершель удѣлялъ столько вниманія, именно вопросъ объ общемъ распредѣленіи звѣздъ и строеніи системы, образуемой, быть можетъ, звѣздами и туманностями, различнымъ образомъ видоизмѣнялась въ зависимости отъ расширенія нашихъ познаній о неподвижныхъ звѣздахъ. Но мы настолько еще далеки отъ болѣе или менѣе удовлетворительнаго рѣшенія этой проблемы, что ни одна изъ современныхъ теорій не можетъ претендовать на столь же вѣрное объясненіе извѣстныхъ намъ фактовъ, какое теорія Гершеля давала гораздо болѣе скудному количеству ихъ, имѣвшемуся въ его распоряженіи. Въ этомъ случаѣ, какъ и во многихъ другихъ, расширеніе познаній показало несостоятельность прежней теоріи, но не замѣнило ее новой. Детальное изученіе формы



Фиг. 104. Млечный Путь близъ кучи въ Персеѣ. Съ фотографіи проф. Барнарда. *(Къ стр. 577).*

Млечнаго Пути (фиг. 104) и отношенія его къ общей массѣ звѣздъ показало, что онѣ не подчиняются какому-либо простому закону распредѣленія; особенности этого распредѣленія нельзя объяснить ни теоріей расколотаго жернова, принадлежащей Вильяму Гершелю, ни теоріей кольца, придуманной его сыномъ, въ результатѣ изслѣдованій на мысѣ Доброй Надежды, ни болѣе сложными формами, изобрѣтенными позднѣйшими писателями. Далѣе, всѣ наши свѣдѣнія о разстояніяхъ звѣздъ, сравнительно съ ихъ яркостью, показываютъ, что въ ихъ истинныхъ размѣрахъ, какъ и видимой величинѣ, существуетъ громадное разнообразіе, и этимъ опровергаютъ предположеніе объ извѣстной равномѣрности и однообразіи, лежащее въ основѣ многихъ работъ Гершеля. «Островная» теорія туманностей, частью оставленная Гершелемъ послѣ 1791 года (гл. XII, § 260), но воскрешенная открытіями лорда Росса (§ 310), потеряла кредитъ послѣ того, какъ была спектроскопически доказана газообразность нѣкоторыхъ туманностей. Съ другой стороны, обнаружилась нѣкоторая общая внутренняя связь между туманностями и звѣздами. Гершелево наблюденіе, что туманности тѣснѣе скучены въ областяхъ, удаленныхъ отъ Млечнаго Пути, подтвердилось многократными примѣрами, по крайней мѣрѣ, относительно неразрѣшимыхъ туманностей, тогда какъ явныя звѣздныя кучи, съ своей стороны, обнаруживаютъ тенденцію къ распредѣленію по близости Млечнаго Пути. Во многихъ случаяхъ отдѣльныя звѣзды или звѣздныя группы, наблюдаемыя въ сосѣдствѣ туманностей, оказались въ дѣйствительной связи съ ними, по особенностямъ спектра или расположенія.

Другое связующее звено между звѣздами и туманностями составляютъ звѣзды со свѣтлыми линіями въ спектрахъ (§ 312).

Такимъ образомъ, масса фактовъ согласно указываетъ на то, что въ расположеніи, размѣрахъ и строеніи тѣлъ, съ которыми насъ знакомитъ телескопъ, существуетъ гораздо большее разнообразіе, чѣмъ это казалось вѣроятнымъ въ ту эпоху, когда только приступали къ серьезному изученію звѣздной астрономіи; эти же факты указываютъ и на болѣе вѣроятную принадлежность означенныхъ тѣлъ къ одной, хотя бы и непостижимо сложной системѣ, чѣмъ къ нѣсколькимъ совершенно различнымъ системамъ болѣе простого типа.

318. Небулярная гипотеза Лапласа (гл. X, § 250) обнародована немного больше столѣтія тому назадъ (1796), и успѣхи различныхъ отраслей астрономическаго знанія имѣли на нее сильное вліяніе. Открытіе новыхъ планетъ и спутниковъ (§§ 294, 295) до нѣкоторой степени нарушило однообразіе и симметрію движеній солнечной системы, о которыхъ такъ заботился Лапласъ; но кажется, что дать разумное объясненіе понятнымъ движеніямъ спутниковъ обѣихъ отдаленнѣйшихъ планетъ и громаднымъ эксцентрицитетамъ и наклоненіямъ орбитъ нѣкоторыхъ астероидовъ не есть дѣло невозможное; а за этими исключеніями число тѣлъ, движенія которыхъ обладаютъ указанными Лапласомъ характерными чертами, значительно возросло. Значитъ, шансовъ въ пользу общаго происхожденія тѣлъ солнечной системы, можетъ быть, столько же выиграно, сколько потеряно. Далѣе, телескопическія доказательства, которыя приводилъ Гершель (гл. XII,

§ 261) въ пользу существованія въ туманностяхъ извѣстныхъ сгустительныхъ процессовъ, подкрѣпляются позднѣйшими открытіями такого же характера и различными аргументами, вродѣ указанной уже нами связи между туманностями и отдѣльными звѣздами или звѣздными кучами. Различіе звѣздныхъ спектровъ также весьма удовлетворительно объясняется различными стадіями сгущенія, въ которыхъ онѣ находятся.

319. Совершенно новый свѣтъ пролили на эту проблему новѣйшія открытія и изслѣдованія относительно природы теплоты, завершившіяся признаніемъ (около 1840—1850) того, что **теплота** есть особый родъ того, что физики теперь называютъ **энергіей**; эта послѣдняя проявляется въ различныхъ формахъ, напримѣръ, въ движеніи тѣлъ, въ разъединеніи взаимнопритягивающихся частицъ, равно какъ и въ различнаго рода электрическихъ, химическихъ и другихъ явленіяхъ. Съ этимъ открытіемъ тѣсно связана общая теорія **сохраненія энергіи**, по которой энергія, хотя и способна подвергаться всевозможнымъ превращеніямъ, однакоже, никогда не создается изъ ничего и не уничтожается безслѣдно. Но тѣло, излучающее, подобно солнцу, свѣтъ и тепло въ пространство, этимъ самымъ безвозвратно теряетъ энергію, уподобляясь приведенной въ дѣйствіе машинѣ; а потому, или оно должно получать энергію изъ посторонняго источника для возмѣщенія потерь, или же запасъ его энергіи истощается, ибо тѣло, неопредѣленно излучающее свѣтъ и теплоту, безъ пополненія запаса энергіи—все равно, что машина, безконечно работающая безъ помощи двигательной силы. Между тѣмъ, и то, и другое — вещь невозможная.

Результаты, полученные Джономъ Гершелемъ и Пулье въ 1836 году (§ 307), заставили задуматься надъ кололоссальными тепловыми потерями солнца, и, такимъ образомъ, передъ астрономами возникла проблема — объяснить, какимъ образомъ солнце можетъ расходовать такую массу теплоты и свѣта. Ни въ тѣ нѣсколько тысячъ лѣтъ, которыя охватываютъ историческія лѣтописи, ни въ огромные періоды, насчитываемые геологами и біологами, количество теплоты, ежегодно получаемое землей отъ солнца, не претерпѣло, повидимому, значительнаго измѣненія. Поэтому, теорія солнечной теплоты должна объяснить непрерывныя потери количествъ теплоты подобныхъ современнымъ и притомъ за огромный періодъ времени. Напрашивающееся сравненіе солнца съ печкой, получающей теплоту отъ сгоранія, совершенно падаетъ подъ ударами цифрового анализа, такъ какъ въ этомъ случаѣ солнце могло бы существовать самое большее нѣсколько тысячъ лѣтъ Нынѣ общимъ признаніемъ пользуется объясненіе, предложенное знаменитымъ нѣмецкимъ физикомъ *Германомъ фонъ-Гельмгольцемъ* (1821—1894) въ популярной лекціи 1854 года. Солнце обладаетъ громаднымъ запасомъ энергіи въ видѣ взаимнаго тяготѣнія его частей; если оно почему-нибудь сжимается, то нѣкоторая часть притягательной энергіи необходимо теряется, принимая другія формы. Въ сокращеніи солнца мы имѣемъ, такимъ образомъ, возможный источникъ энергіи. Точное вычисленіе количества энергіи, освобождаемой опредѣленной степенью сокращенія солнца, зависитъ отъ внутренняго распредѣленія плотности въ солнцѣ, извѣстнаго намъ весьма неточно; сдѣлавъ нѣкоторыя раціональныя

допущенія въ этой области, мы найдемъ, что сжатіе, необходимое для возмѣщенія тепловыхъ потерь солнца, ежегодно уменьшало бы его діаметръ только на нѣсколько сотъ футовъ, что при современныхъ телескопическихъ средствахъ оставалось бы незамѣтнымъ въ теченіе многихъ столѣтій; древнія же астрономическія лѣтописи не настолько точны, чтобы изъ нихъ мы могли обнаружить это сжатіе. По тѣмъ же принципамъ легко вычислить количество энергіи, освобождаемое тѣломъ вродѣ солнца при уплотненіи изъ крайне разрѣженнаго состоянія до настоящей степени, а изъ настоящаго состоянія до любой предуказанной степени плотности. Такимъ образомъ, мы можемъ предвычислить величину тепловыхъ потерь солнца на милліоны лѣтъ впередъ или назадъ. Если же скорость уплотненія въ отдаленныя времена была или когда-нибудь будетъ меньше настоящей, то соотвѣтственно съ этимъ надо растянуть и періодъ.

Всѣ другія причины могутъ объяснить лишь ничтожную часть современныхъ тепловыхъ потерь солнца. Теорія же тяготѣнія удовлетворяетъ всѣмъ требованіямъ астрономіи въ собственномъ смыслѣ и до нѣкоторой, по крайней мѣрѣ, степени идетъ навстрѣчу запросамъ біологіи и геологіи.

Если мы, такимъ образомъ, примемъ на время вышеизложенную теорію, то придемъ къ заключенію, что солнце нѣкогда обладало гораздо большимъ объемомъ и меньшей плотностью, нежели теперь, а углубившись достаточно въ прошлое, мы найдемъ его въ стадіи, недалекой отъ состоянія первобытной туманности, о которой думалъ Лапласъ, съ той только разницей, что ей не зачѣмъ быть раскаленной.

320. Профессоръ Дарвинъ своими изслѣдованіями приливнаго тренія (§ 287 и §§ 292, 293) пролилъ новый свѣтъ на вопросъ о развитіи земли и луны. Такъ какъ приливы увеличиваютъ продолжительность сутокъ и мѣсяца и постепенно отторгаютъ луну отъ земли, то отсюда слѣдуетъ, что въ прошломъ луна была ближе къ землѣ, чѣмъ теперь, и что тогда приливы дѣйствовали гораздо сильнѣе. Руководясь этимъ принципомъ, профессоръ Дарвинъ цѣлымъ рядомъ тщательныхъ вычисленій, обнародованныхъ въ 1879—1881 годахъ доказалъ, что было время, когда луна находилась въ близкомъ сосѣдствѣ съ землей, обращаясь вокругъ нея въ такое же время, въ какое земля вращалась на оси—для той отдаленной эпохи немного болѣе двухъ часовъ. Оба тѣла двигались тогда такъ, какъ если бы были скрѣплены между собой. Трудно удержаться отъ предположенія, что въ болѣе ранней стадіи они дѣйствительно составляли одно цѣлое и что луна представляетъ собой часть земли, оторвавшуюся отъ нея подъ вліяніемъ быстраго вращенія или инымъ путемъ.

Профессоръ Дарвинъ задавался вопросомъ, нельзя ли такимъ же образомъ объяснить происхожденіе спутниковъ другихъ планетъ и самихъ планетъ отъ солнца, но система луны и земли находится, повидимому, въ исключительныхъ условіяхъ; въ другихъ случаяхъ приливное вліяніе проявлялось не такъ сильно, хотя имъ удовлетворительно объясняются нѣкоторыя особенности планетъ и ихъ спутниковъ. Въ недавнее время (1892) д-ръ *Си* пытался аналогичнымъ путемъ объяснить при помощи приливнаго вліянія развитіе двойныхъ звѣздъ изъ первобытнаго туманнаго состоянія.

Вообще же, можно сказать, что въ XIX вѣкѣ изученіе проблемы происхожденія солнечной системы различнымъ образомъ дискредитировало детали гипотезы Лапласа, но зато поставило на болѣе прочное основаніе общій взглядъ, по которому солнечная система образовалась путемъ сгущенія изъ первобытной крайне разрѣженной массы, въ общемъ сходной съ наблюдаемыми въ телескопъ туманностями, и что звѣзды, по всей вѣроятности, прошли аналогичный процессъ развитія; и далѣе, эта общая, но неясная теорія дополняется теоріей приливнаго тренія, разъясняющей процессъ, который служилъ, повидимому, преобладающимъ факторомъ въ развитіи системы, образуемой нашей землей и луной, и который, во всякомъ случаѣ, сыгралъ важную роль во множествѣ другихъ системъ.

КОНЕЦЪ.

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕНЪ.

Абулъ Вэфа, см. Вэфа.
Адамсъ. 523, 524, 527.
Аделяръ, см. Ателяръ.
Аламберъ Д', см. Даламберъ.
Александръ. 47.
Алкуинъ. 117.
Альба. 249.
Альбэтеній. 101, 110, 118, 123, 155, 157.
Альбертъ Великій. 120.
Альбертъ Прусскій. 174.
Аль-Мамунъ. 109, 110, 123.
Альманзоръ. 107, 108.
Аль-Рашидъ. 108.
Альфонсъ X. 119, 120, 121, 175.
Анаксагоръ. 26.
Анаксимандръ. 15.
Апіанъ. 128, 178, 268.
Аполлоній. 57, 60, 65, 85, 96, 101, 358.
Араго. 461.
Арґеландеръ. 514.
Арзахель. 113, 119.
Аристархъ. 36, 48, 49, 69, 70, 76, 103, 140, 141.
Аристиллъ. 48, 50, 71.
Аристотель 37, 41, 43, 45, 46, 47, 88, 99, 108, 119, 120, 124, 126, 131, 144, 183, 205, 213, 220, 247, 291.
Аристофанъ. 30.
Архимедъ. 101, 114.
д'Асколи, Чекко. 120.
Ателяръ. 118.
Байеръ. 492.
Байльи. 429.
Барберини. 221, 226, 235, 236, 238.
Барнардъ. 214, 538, 542.
Бароній. 222.
Барроу. 293.
Бегъ, Улугъ, см. Улугъ-Бегъ.
Беллярминъ. 223.
Бентли. 333.
Берберихъ. 516.
Бернгемъ. 570.
Берней, миссъ. 477.
Бернулли, Даніилъ. 409.
Бернулли, Жанъ. 407, 408.
Бернулли, Яковъ. 408.
Бессель. 351, 379, 501, 502, 509, 510, 512, 514.
Билле. 182.
Блиссъ. 381.
Боллъ. 512.
Бондъ. 510, 541.
Борелли. 297.
Браге, Тихо. 112, 114, 178, 180, 181—200, 202, 208, 225, 252—257, 260, 261, 266, 267, 269, 270, 275, 277, 289, 349, 351, 356, 395, 467, 506.
Брадлей. 350, 359—381, 382, 390, 392, 393, 395, 396, 397, 419, 467, 468, 481, 484, 501, 502, 504, 506, 509.
Бредихинъ. 564.
Бреннеръ. 544.
Брудзевскій. 133.

Бруно. 239.
Буваръ. 449, 527.
Бугеръ. 383, 388.
Булліальдъ. 490
Булліо, см. Булліальдъ.
Бунзенъ. 551.
Буркгардтъ. 435.
Бѣлопольскій. 546.
Бэда. 117.
Бэконъ, Роджеръ. 120, 208.
Бэконъ, Францискъ. 247, 248, 291.
Бэръ. 191.
Бюрги. 179, 189, 282.
Бюргъ. 435.

Валленштейнъ. 270.
Вальтеръ. 124, 127, 178.
Варгентинъ. 377.
Вариньонъ. 315.
Ватцельроде. 132.
Вероника. 18.
Вильгельмъ IV. 178, 179, 180, 184, 191, 192, 197.
Вильсонъ. 497, 548, 549.
Винчи. 127.
Виттъ. 516.
Волластонъ. 550.
Вольфъ, Максъ. 536.
Вольфъ, Рудольфъ. 547
Вольтеръ. 32, 407.
Вэфа, Абулъ. 111, 112, 123, 157, 200.

Гайнцель. 181.
Галенъ. 31, 108, 205.
Галилей, Винченцо. 202.
Галилей, Галилео. 47, 89, 137, 176, 180, 202 — 229, 231, 232, 234—248, 249, 252, 255, 265, 266, 273, 275, 276, 278, 282, 290, 291, 293, 294, 297—299, 302, 311, 314, 323, 330, 341, 377, 459, 467, 481, 496, 511, 542.
Галифаксъ, Джонъ, см. Сакробоско.
Галифаксъ, Маркизъ. 334.
Галле. 517, 527.
Галлей. 282, 308, 309, 310, 334, 351, 352, 354—360, 377, 392, 394, 397, 400, 412, 413, 419, 421, 439, 486, 524, 528.
Ганзенъ. 518, 520, 522, 528, 529.
Гаркнесъ. 556.
Гаррисонъ. 397.
Гарріотъ. 209, 216.
Гарунъ-аль-Рашидъ. 108.
Гаскойнь. 181—349.
Гауссъ. 506, 508, 509, 534.
Гевелій. 276, 277, 349, 496.
Гезіодъ. 29, 31.
Гельмгольцъ. 581.
Гендерсонъ. 513.
Генке. 536.
Георгъ III. 460, 464.
Гераклитъ. 36.
Герардо изъ Кремоны. 119.
Гербертъ. 118.
Гершель, Александръ. 456.
Гершель, Вильямъ. 295, 392, 401, 453, 455 — 504, 535, 543, 561, 566—571, 576—579.
Гершель, Джонъ. 17, 390, 437, 465, 466, 564, 567, 568, 575.
Гершель, Каролина. 456, 460, 461, 463—465, 479.
Геттонъ. 383.
Гиббонъ. 102.
Гизе. 139.
Гилль. 420, 523, 528.
Гипатія. 102.
Гиппархъ. 19, 38, 41, 48 — 50, 56—58, 60, 63—74, 76, 77, 80—85, 87, 90, 91, 94, 95, 97—99, 101—104, 115, 126, 136, 155, 199, 266.
Гиппократъ. 107.
Гицетій. 36, 140.
Годэнъ. 388.
Голивудъ, см. Сакробоско.
Голль. 519, 511.

Гольварда. 490.
Гонейнъ бенъ Ишакъ. 109.
Горроксъ. 281, 320, 357.
Горькій. 214.
Готье. 547.
Гоулеттъ. 548.
Грасси. 225.
Грегори. 294, 355.
Григорій XIII. 33.
Гудрике. 491.
Гукъ. 307, 309, 361, 362, 370.
Гумбольдтъ. 547.
Гулагу-Ханъ. 113.
Гэггинсъ. 555.
Гэль. 555.
Гюйгенсъ. 215, 277, 278, 280, 281, 282, 283, 297, 299, 301, 333.
Гюльденъ. 526.

Да-Винчи, см. Винчи.
Даламберъ. 375, 408, 411, 414, 415, 416—418, 420, 421, 423, 427, 428, 432.
Дамуазо. 522.
Данте. 210.
Дарвинъ. 530, 531, 582, 583.
Даусъ. 541.
Декартъ. 290, 291, 310.
Деламбръ. 380, 501, 502.
Делонэ. 523—525.
Де-Морганъ. 101.
Джилль. 515.
Джильбертъ. 272.
Диггсъ, Леонардъ. 208.
Диггсъ, Томасъ. 176.
Дидро. 415.
Донати. 561.
Допплеръ. 556, 557.
Дрейеръ. 567.
Дунеръ. 558.

Екатерина II. 400, 416.

Жансенъ. 555.

Ибнъ-Юнисъ. 112, 114, 123.
Ишакъ бенъ Гонейнъ. 109.

Иоахимъ, см. Ретикъ.

Класъ. 192.
Калиппъ. 30, 41.
Кантъ. 451, 477, 524.
Капелла, см. Марціанъ Капелла.
Каптейнъ. 514.
Карлейль. 415.
Карломанъ. 117.
Карлъ II. 347.
Картезій, см. Декартъ.
Кассини, графъ. 385, 390.
Кассини, Жанъ Доминикъ. 284—286, 288, 289, 326, 376, 384, 385, 388, 389, 459, 494, 546.
Кассини, Жакъ. 385, 390.
Кассини де-Тюри. 385.
Кастелли. 221.
Каччини. 221.
Кельвинъ. 530, 531.
Кеплеръ. 99, 102, 175, 183, 194, 195, 202, 214, 234, 240, 249—274, 275, 281, 285, 294, 296, 300, 301, 309, 330, 338, 340, 540, 343, 355, 358, 385, 405, 442, 538, 554, 569.
Кирквудъ. 537.
Кирхгофъ. 551, 553.
Клеро. 408, 411, 412, 413, 415—417, 419—422, 427, 432, 449, 528.
Климентъ VII. 138.
Клиффордъ. 306.
Козьма Медичи. 213.
Коломбъ, Людовико. 211.
Колумбъ. 127, 131.
Ла-Кондаминъ, см. Лакондаминъ.
Конти. 221.
Коперникъ. 36, 104, 106, 114, 129, 130, 110—172, 173—177, 179, 184, 189, 196, 199, 207, 226—229, 255, 271, 323, 338, 466, 512.
Корню. 519.
Корра, Табитъ-бенъ, см. Табитъ,
Котесъ (Котесъ). 336.
Кроступэтъ. 351.

Куза, Николай, см. Николай Кузанскій.
Кукъ. 400.
Кэвендишъ. 383, 384.
Кэррингтонъ. 548.

Лавуазье. 429.
Лагранжъ. 337, 408, 414, 418, 427, 428, 430, 431, 432, 433, 439—445, 447—449, 455, 531, 532, 534.
Лакайль. 390, 391—395, 400, 422, 475.
Лакондаминъ. 383, 388.
Лаландъ. 423, 435, 449, 488.
Ламбертъ. 439, 487.
Лами. 315.
Лапглей. 566, 567.
Ландграфъ Гессенскій, см. Вильгельмъ IV.
Лансбергъ. 282.
Лапласъ. 400, 402, 408, 414, 430—435, 440—444, 446—454, 455, 464, 501, 504, 517, 521, 522, 524, 525, 528, 531, 532, 534, 545, 578, 579, 582, 583.
Лассель. 493, 494, 539, 541.
Леббокъ. 522, 530.
Леверрье. 518, 520, 525—528, 531, 538.
Леви. 519.
Лежандръ. 506.
Лежантиль. 400.
Лейбницъ. 333, 345.
Лексель. 459.
Лемеръ. 462.
Леонардо да Винчи, см. Винчи.
Линденау. 449.
Липперсгеймъ. 208.
Локіеръ. 555, 557.
Локкъ. 333.
Лоуэль. 544.
Лувилль. 407.
Людовикъ XIV. 285.
Людовикъ XVI. 423.
Лютеръ. 137, 174.

Майеръ, Товія. 378, 394 — 397, 419, 487—489.
Маклоренъ. 346, 411.
Максвелль. 545.
Маральди. 385.
Марій (Маріусъ). 209, 266.
Марціанъ Капелла. 141.
Маскелайнъ. 382, 383, 460, 488.
Масонъ. 397.
Матвѣй (императоръ). 261, 269.
Меланхтонъ. 137, 174.
Мессье. 475.
Местлинъ. 250.
Метонъ. 30.
Микель Анджело. 202.
Михельсонъ. 519.
Мичелль, Джонъ. 383, 483, 484.
Молине. 362.
Монтанари. 491.
Мопертюи. 373, 389, 390, 407, 411.
Мэчинъ. 374.
Мюллеръ, см. Регіомонтанъ.

Наполеонъ I. 431, 464.
Наполеонъ, Люсьенъ. 431.
Нассиръ-Эддинъ. 113, 114, 115, 124, 135.
Никколини. 236.
Николай Кузанскій. 141.
Ниренъ. 519.
Ноніусъ. 128.
Норвудъ. 284, 306.
Нума. 31.
Ньюкомбъ. 399, 519, 523, 528, 529.
Ньютонъ. 102, 140, 231, 245, 246, 264, 273, 275, 292—297, 300—304, 306—325, 327—337, 339—347, 350—353, 370, 372, 373, 382—385, 389, 403—405, 407, 409, 411, 414, 416, 420—422, 430, 451, 467, 503, 549, 550.
Нэпиръ. 179.

Озіандеръ. 139.
Озу. 281, 284, 349.
Ольберсъ. 534, 535.
Оранскій, принцъ. 194.

Пализа. 536.
Паличъ. 413.
Паундъ. 359, 377.
Пембертонъ. 336.
Пикаръ. 281, 283 — 286, 289, 307, 346, 349, 388.
Пикерингъ. 540, 514, 574, 576.
Пиѳагоръ. 15, 33, 34, 35, 42, 89, 99, 102, 103.
Піацци. 534.
Плана. 522.
Платонъ. 36, 37, 38, 99, 131.
Платонъ Тиволійскій. 118.
Плиній. 85.
Плутархъ. 36, 554.
Погсонъ. 575.
Понтекуланъ. 522.
Порта. 208,
Посидоній. 85, 89.
Прево. 489.
Притчардъ. 512, 513, 576.
Птоломей, Клавдій. 38, 41, 50, 56, 85, 86, 87—95, 97—101, 105, 106, 107, 109, 110, 112, 114, 124, 126, 127, 131, 142, 143, 149, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 168, 171, 175, 189, 323, 337, 338, 340, 358, 425.
Птоломей, Филадельфъ. 47.
Пуанкаре. 526.
Пуассонъ. 522, 531.
Пулье. 566, 580.
Пурбахъ. 122, 121, 126, 133.

Райтъ, Томасъ. 471, 487.
Регіомонтанъ. 122, 123, 124, 123, 127, 129, 130, 133, 178, 197.
Реймерсъ, см. Бэръ.
Рейнгольдъ. 174, 175, 176, 255.
Рекордъ. 176.
Ремеръ. 289, 352, 369, 377, 384, 395, 519.
Ренъ. 307, 309.
Ретикъ. 136, 138, 139, 174, 177.
Рикардо. 89.
Риччіоли. 276.
Ришеръ (Рише). 286, 288, 314, 324, 353, 386.
Россъ. 570, 577.
Ротманъ. 178, 180, 192.
Рудольфъ II (императоръ). 192, 194, 195, 253, 260, 261.

Сабинъ. 547.
Савари. 569.
Сакробоско. 121, 122.
Сауть. 565.
Сванбергъ. 390.
Секки. 571, 572.
Селевкъ. 37.
Сенъ-Пьеръ. 347.
Си. 583.
Сильвестръ II, см. Гербертъ.
Скіапарелли. 544, 546.
Слузій. 295.
Смитъ. 456.
Снеллій. 284, 306.
Созигенъ. 32.
Солонъ. 29.
Струве О. 519.
Струве Ф. 513, 568, 570.

Табитъ бенъ Корра. 109, 110, 125, 155.
Тамерланъ. 115.
Таннери. 55.
Теонъ. 101, 102.
Тимохарисъ. 48, 50, 71, 72, 73, 155.
Тихо Браге, см. Браге.
Томсонъ В., см. Кельвинъ.
Томсонъ Т. 364.

Улугъ Бегъ. 115, 124, 135.
Урбанъ VIII (Барберини). 221, 226.

Урсусъ, см. Бэръ.
Уэвелль. 530.

Фабрицій, Іоганнъ. 216.
Фердинандъ (императоръ). 253, 269.
Фернель. 128.
Феррель. 524.
Физо. 519.
Филолай. 35, 36, 140.
Фильдъ. 176.
Флэмстидъ. 334, 335, 347, 348, 349, 350—352, 357, 363, 381, 395, 506, 508, 515.
Фогель. 573, 574.
Фракасторъ. 128, 169, 268.
Фраунгоферъ. 550, 571.
Фридрихъ II (Датскій). 192.
Фридрихъ II (императоръ). 119.
Фридрихъ II (Прусскій). 416, 428.

Христина (великая герцогиня). 222.
Христіанъ (Датскій). 192.

Цадкіель. 28.
Цахъ, фонъ. 449.
Цезарь. 32, 121.

Чекко д'Асколи. 129.
Чингисъ-Ханъ. 113.
Чэндлеръ. 521.

Шарлуа. 536.
Шарпъ. 351.
Швабе. 547.
Шейнеръ. 216, 217, 219, 220, 225 276, 495.
Шекспиръ. 202.
Шенфельдъ. 514.
Шонбергъ. 138.
Шонеръ. 139.
Шретеръ. 495, 499.

Эвдоксъ. 38, 40, 41, 57, 96.
Эвклидъ. 51, 101, 293.
Эддинъ, Насиръ, см. Насиръ-Эддинъ.
Эйлеръ. 376, 396, 408, 409, 410, 411, 414, 416—421, 423, 425—528, 432, 439, 528.
Эйри. 399, 514, 516.
Экфантъ. 36.
Энке. 401.
Эратосѳенъ. 54, 56, 103, 388.

Юнгъ. 556.
Юнисъ-Ибнъ, см. Ибнъ-Юнисъ.

Яковъ I. 187, 231.
Яковъ II. 334.

Ѳалесъ. 33, 106.
Ѳеофилактъ. 134.
Ѳеофрастъ. 36.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

Аберрація. 359, 360—370, 371, 376, 379, 481, 509, 518—520.
«Ad Vitellionem Paralipomena». 254.
Академія Берлинская. 410, 428.
Академія Наукъ (Парижская). 390, 407, 411, 414, 421, 427, 428.
Академія С.-Петербургская. 409, 417, 418.
Академія Туринская. 427, 430.
Académie Française. Тоже.
Академія Французская. 388, 415, 432.
«Alae sive scalae», Диггса. 176.
Александрійская школа. 47, 48.
Альголь. 490, 491, 493, 574, 575.
Альдебаранъ. 116, 576.
Альмагестъ Абулъ Вэфы. 111.
Альмагестъ Новый, Кеплера. 270.
Альмагестъ Новый, Риччіоли. 277.
Альмагестъ Птоломея. 85—88, 90, 93, 106, 108, 111, 114, 119, 122, 123, 140, 142, 155.
Альманахъ. 28, 31, 117.
Альманахъ Морской (то же что Naulical Almanac). 379, 523, 526, 528.
Альманахъ Цадкіеля. 28.
Альтаиръ. 116, 576.
Альфонсинскія таблицы. 119, 122, 175, 177, 181.
Анализъ, аналитическій методъ. 345, 420.
Аномалистическій мѣсяцъ. 67.
Αντιχθών, также противоземля. 35.
Апексъ солнечнаго движенія. 489.
Апогей. 61, 64, 67, 90, 91, 110, 111, 156, 320, 416.
Апсиды, линія апсидъ. 61, 63, 67, 90, 157, 320, 421, 423—425, 426, 448.
Арабы, арабская астрономія. 86, 102, 107—113, 115, 116, 118—120, 196, 284, 492.
Арабская нумерація. 116, 178.
Арктическія страны. 54.
Арктуръ. 474.
Астероиды. См. Малыя планеты.
Астрологія. 25, 27, 28, 108, 181, 183, 251, 270, 273.
Астролябія. 93, 118.
Астрономія, дѣленіе ея. 502.
Астрономіи, зарожденіе. 2.
Astronomiae Instauratae Mechanica. 193.
Astronomiae Instauratae Progymnasmata. 189.
Астрономія наблюдательная. 502, 503.
Астрономическое Общество, Германское. 514.
Астрономическое Общество, Королевское. 464, 482.
Астрономическій ежегодникъ. 460.
Астрономія описательная. 502, 504, 505, 534.

Астрономія тяготѣнія. 344, 502, 503, 521.
«Astronomiae Fundamenta». 393.
«Astronomicum Caesareum». 178.
Афелій. 156.

Багдадъ. 107, 109, 111, 124.
Бетельгезъ. 116.
Біэлы Комета. 563, 564.
Близнецы. 483.
Большая Медвѣдица. 17, 491.
Большой кругъ. 15, 51, 153.
Большія неравенства. 441.
Брукса комета. 563, 564.
Бручія. 537.
Бюро долготъ. } 431.
Bureau des Londitudes }

Вавилоняне, см. Халдеи.
Варіаціонное исчисленіе. 427.
Варіація луны. 112, 200, 266.
Варіація параметровъ или элементовъ. 418, 424, 442.
Вега. 116.
Венера. 20, 21, 23, 24, 38, 41, 85, 90, 95, 97, 100, 127, 141, 150, 158—162, 165, 179, 182, 188, 213, 215, 252, 255, 260, 263, 277, 316, 322, 392, 397—399, 423, 443, 449, 495, 500, 518, 546.
Венера, вращеніе. 285, 495, 546.
Венера, масса. 316, 422, 423, 450.
Венера, прохожденія. См. Прохожденія Венеры.
Венера, фазы. 215, 228.
Верніеръ. 128.
Вертикаль. 51, 386, 387, 521.
Верхнія планеты. 23, 162, 163, 164, 165, 167.
Весеннее равноденствіе. См. Равноденствіе.
Веста. 535, 538.
Whetstone of Witte. 176.
Вечерняя звѣзда. 21.
Викторія. 517.
Високосный годъ. 27, 32, 33.
Вихри. 290, 310, 342.
Возможныя перемѣщенія. 427.
Возмущающая сила. См. Возмущенія.
Возмущенія. 282, 319, 320, 354, 357, 394, 398, 402—454, 517, 532, 533, 538, 546.
Возрожденіе. 130.
Волна свѣтовая. 549, 550—552, 557.
Времена года. 2, 52, 53, 61, 63, 64, 152, 447.
Время, измѣреніе его. 3, 4, 24, 25.
Выступы. 555, 557, 559.
Вѣсъ. 206.
Вѣсовъ, первая точка. 20.
Вѣковое ускореніе средняго движенія луны. 355, 419, 420, 433, 436, 524.
Вѣковыя неравенства. 437, 438.

Гакемитскія таблицы. 112, 114.
Галактическій кругъ. 471, 479.
Галлеева комета. 267, 354, 359, 412, 413, 529, 566.
«Гармонія» (Смита). 456.
«Гармонія міра» (Кеплера). 262, 264.
Гелій. 555.
Георгіева звѣзда. См. Уранъ.
Гершелевъ телескопъ. 461, 464.
Гидростатическіе вѣсы. 204.
Гипербола. 330, 425.
Гиперіонъ. 540.
«Historia Coelestis». 351.
Годичное движеніе земли. См. Земля, год. дв.
Годичное движеніе солнца. См. Солнце, год. дв.
Годичное уравненіе. 200, 266.
Годичный параллаксъ. См. Звѣздный параллаксъ.

Годъ. 2, 3, 24, 25, 29—33, 74, 75, 90, 120, 199.
Годъ сидерическій или звѣздный. 75, 76.
Годъ тропическій. 74, 76, 77.
Горизонтальный параллаксъ. 288.
Горизонтъ. 2, 11, 12, 44, 51, 62, 86, 87, 288, 521.
Гороскопъ. 181.
Градусъ. 9.
Грегоріанскій календарь. См. календарь Грегоріанскій.

Даламберовъ принципъ. 414, 427.
Дамаскъ. 109.
«Darlegung». 522.
Двойныя звѣзды. См. звѣзды двойныя.
Двойной часъ. 24.
«Двѣ новыя науки». 243, 245, 275.
Деймосъ. 541.
«De Magnete». 272.
«De Motu». 309, 310, 332.
«De Mundi Aetherei». 189.
День. 3, 16, 24, 83.
День и ночь (сутки). 21, 524, 533, 582.
«De Nova Stella». 183.
«De Revolutionibus». 70, 140—172, 173—175.
«De Saturni Luna». 280.
Деферентъ. 65, 66, 91, 96—98, 100, 126, 158, 159, 163.
«De Coelo». 41.
Динамика. 244, 246, 311, 314, 410, 414, 427, 428.
Дифференціальный методъ. 231, 481, 511.
Диффракціонная рѣшетка. 550.
Діана. 285.
«Діоптрика». 254.
Діоптры. 198.
Долгота земная. 126, 224, 225, 240, 271, 378, 396, 397.
Долгота небесная. 52, 72, 115, 163, 257.
Драконическій мѣсяцъ. См. Мѣсяцъ драконическій.
«Durchmusterung». 514.

Египтяне, Египетская астрономія. 5, 15, 18, 25, 33, 40, 46, 85, 141.
Ежегодникъ, Астрономическій. 460.

Жаркія зоны. 54.

Задача о трехъ тѣлахъ. 405, 411, 412, 414, 416, 421, 422.
Законъ тяготѣнія. См. Тяготѣніе.
Законы движенія. 231, 244, 245, 276, 290, 298, 299, 311, 315, 316, 318, 324, 339, 343, 414.
«Застольная Бесѣда». 137.
Затменія. 15, 22, 26, 27, 44, 49, 67—70, 77—83, 88, 91, 93, 94, 103, 100, 126, 143, 196, 267, 270, 354, 358, 435, 525, 554, 555.
Затменія Юпитеровыхъ спутниковъ. 224, 225, 289, 369.
Затменія кольцеобразныя. 81, 267.
Затменія полныя. 80, 267, 358, 554.
Затменія частныя. 80.
Звѣздная система, ея строеніе. 468—481, 576, 577.
Звѣздный годъ. См. Годъ сидерическій.
Звѣздный параллаксъ. См. Звѣзды.
Звѣздные атласы и карты. 18, 351, 391, 475, 492, 513—515.
Звѣздные каталоги. 71, 94, 95, 114, 115, 151, 179, 180, 200, 277, 348, 349, 353, 358, 379, 399, 392, 393—395, 467, 500, 513—515, 576.

Звѣздныя группы. См. Созвѣздія.
Звѣздныя скопленія или кучи. 212, 392, 475—480, 566, 567, 571, 572, 579.
Звѣзды. 1, 4, 5, 6—8, 10—14, 17, 19—23, 27, 31, 34, 36, 37, 40, 44—46, 50—52, 62, 70—72, 74, 75, 84, 86, 87—90, 94, 108, 109, 114, 124, 137, 147, 149, 159, 160, 169, 171, 172, 177—180, 182, 183, 188, 189, 190, 197, 198, 211, 212, 228—231, 281, 283, 288, 324, 325, 349, 351—353, 356, 361—372, 374, 378, 379, 391—393, 402, 458, 466—493, 501, 502, 509—515, 518, 559, 564—578, 583.
Звѣзды, ихъ вращеніе. 493.
Звѣзды, движеніе суточное. 4, 10—14, 35, 39, 40, 51, 58, 87, 88, 121, 125, 146, 148, 149, 180, 191, 283.
Звѣзды, движеніе собственное. 356, 395, 467, 486, 489, 510—512, 514.
Звѣзды двойныя и множественныя. 464, 481—486, 565, 567, 568, 569, 570, 573, 574, 583.
Звѣзды, ихъ названія. 17, 20, 116.
Звѣзды новыя. 70, 183, 188, 208, 228, 254, 491, 573.
Звѣзды околополярныя. 11, 12, 54.
Звѣзды перемѣнныя. 490—493, 498, 565, 573, 574.
Звѣзды туманныя. 392, 477, 480.
Звѣзды цвѣтныя. 482, 568.
Звѣзды, ихъ параллаксъ. 172, 182, 229, 231, 288, 361, 362, 370, 371, 467, 468, 481, 486, 502, 510—513.
Звѣзды, ихъ разстоянія. 6, 46, 49, 84, 89, 150, 172, 182, 208, 229, 402, 467, 468, 481, 486, 510—513.
Звѣзды, ихъ распредѣленіе. 468—475.
Звѣзды, ихъ спектры. 571, 572—574, 578.
Звѣзды, число. 5, 514, 515.
Звѣзды, яркость. 71, 473, 474, 491, 510, 515, 575, 576.
Земля. 1, 42, 44, 45, 48, 49, 78, 82, 83, 89, 90, 93, 96, 98, 120, 128, 148—150, 151—154, 159—172, 208, 213, 240, 241, 243, 245, 252, 263, 265—269, 271, 280, 282, 281, 286—290, 301—307, 311—317, 320—330, 338, 342, 343, 382—387, 390, 398, 399, 402, 403, 405, 421—423, 443, 446, 521, 524, 525, 531, 546, 582, 583.
Земля, ея величина. 54, 85, 89, 110, 128, 284, 286, 385, 386—391.
Земля, фигура. 34, 44, 45, 52, 85, 90, 143, 324, 327, 386, 388, 390, 393, 411, 412, 449.
Земля, вращеніе, суточное движеніе. 34, 35, 43, 140, 141, 148, 149, 156, 191, 219, 223, 228, 229, 516, 524, 582.
Земля, годичное движеніе. 34, 35, 43, 45, 141, 144—146, 148—154, 156—169, 172, 223, 229, 256, 269, 288, 361—369, 421, 434, 481, 519.
Земля, неупругость. 521, 531.
Земля, плотность, масса. 312, 322, 329, 382—384, 422, 518, 538.
Земля, пояса, или зоны. 52, 83.
Земля, тѣнь. См. Затменія.
Зенитный секторъ. 360.
Зенитъ. 51, 53, 86, 117, 386.
Зимнее солнцестояніе. См. Солнцестоянія.
Знаки зодіака. 19.
Зодіакальныя созвѣздія. 19.
Зодіакъ. 19, 394.

«Изложеніе Системы Міра». См. «Система міра».
Ильханскія таблицы. 114.
Индукція, полная. 341.
Индусы, ихъ астрономія. 5, 107,
Инквизиція. 222, 223, 236—239.
Институтъ Французскій. 435.
Ирида. 517.
Иррадіація. 230.
Испанская астрономія. 112, 119.

Іонійская школа. 33.

Каиръ. 112.
Календарь греческій. 31.
» Грегоріанскій. 33.
» магометанскій. 108.
» римскій. 31.
» Юліанскій. 32.
Калифы. 107—109.
Каналы Марса. 544.
Картезіанство. 291.
Кассиніево дѣленіе. 285, 546.
Касторъ 483, 484, 485, 492.
Квадрантъ. 182.
Квадратура. 91, 92, 200.
Квадривіумъ. 118.
Кеплера Законы. 258—260, 262—264, 275, 300, 301, 308, 309, 322, 339, 343, 385, 442, 538, 569.
Китайская астрономія. 5, 15.
Колосъ. 71.
Кольца Сатурна. См. Сатурнъ.
Кольцеобразное затменіе. См. Затменія.
Кометы. 46, 124, 128, 183, 188, 189, 267—269, 277, 330, 332, 353, 354, 359, 378, 394, 412, 413, 450, 452, 459, 463, 475, 501, 529, 530, 559—564.
Комета Біэлы. 563, 564.
» Брукса. 563, 564.
» Галлея. См. Галлеева комета.
Комета Донати. 561.
» Лекселя. 450, 459.
» Ольберса. 530.
» Понсъ-Брукса. 530.
» Теббута. 563.
» Тэттля. 530.
» Энке. 530.
«Кометографія». 277.
Кометы съ короткимъ періодомъ обращенія. 530.
«Комментаріи о движеніяхъ Марса». 257, 259, 260.
«Commentariolus». 138, 139, 184.
Комиссія вѣсовъ и мѣръ. 429, 431.
Коническія сѣченія. 257.
Королевское Астрономическ. Общество. См. Астрономическое Королевское Общество.
Королевское Общество. 294, 307, 309, 332, 335, 354, 355, 360, 364, 460, 464, 475, 482, 530, 567.
Корона. 267, 358, 554, 555, 559.
Кратеры. 276, 543.
Кривизна земли. См. Фигура земли.
Круговое движеніе. 38, 57, 60, 98, 99, 255, 283.
Кэвендиша опытъ. См. Опытъ Кэвендиша.

«Libros del Saber». 120.
Логариѳмы. 178, 179.
Луна. 1—4, 15, 19, 20, 22, 25, 28—31, 34, 35, 36, 38, 39—41, 42—43, 46, 48, 49, 57, 62, 77—83, 90—93, 111, 124, 126, 127, 128, 136, 151, 157, 159, 188, 200, 210, 211, 215, 240, 241, 243, 266, 267, 273, 276, 281, 296, 302—305, 314, 316, 320, 321, 328—330, 342, 349, 350, 357, 372, 373, 375, 376, 392, 393, 395, 405, 416, 421, 422, 433, 466, 499, 500, 501, 522, 523, 525, 527, 539, 543, 546, 554, 582, 583.

Луна, атмосфера. 543.
» вращеніе. 396, 449, 495, 546.
» движенія. 2, 3, 4, 10, 22, 31, 57, 63, 66—68, 90—92, 151, 157, 169, 200, 265, 282, 302, 303, 304, 306, 320, 321, 343, 354, 355, 373, 396, 405, 418, 434, 435, 436, 517, 522, 524, 525, 546, 582.
Луна, затменія. См. Затменія.
» кажущееся сжатіе. 87.
» кажущійся, или угловой діаметръ. 49, 70, 79, 87, 92, 93, 136, 157, 191.
Луна, карты. 276, 396.
» либрація. 241, 243, 396, 427.
Луна, масса. 328, 329, 450.
» параллаксъ. 83, 93, 172.
» происхожденіе. 582, 583.
» размѣры. 49, 69.
» разстояніе. 22, 36, 38, 46, 48, 49, 69, 70, 182, 304, 393, 517.
Луна, таблицы. См. Таблицы.
» теорія. См. Теорія луны.
» уравненіе. 517.
» фазы. 3, 25, 31, 42—44, 91, 127.
Луна, фигура. 34, 42, 43, 210.
Лѣтнее солнцестояніе. См. Солнцестояніе.

Магелланові облака. 566.
Магнетизмъ. 272, 508, 547, 548.
Малыя планеты. 452, 509, 516, 517, 520, 526, 534—539, 546, 579.
«Macchie Solari». 216.
Марсъ. 21, 23, 26, 38, 41, 46, 95, 100, 150, 162, 164, 195, 228, 252, 255—260, 263, 265, 266, 277, 286, 316, 319, 322, 392, 398, 423, 443, 495, 515—517, 518, 520, 534, 535, 538, 541, 544.
Марсъ, каналы. 544.
масса. 450.
Марсъ, противостоянія. 286, 515, 520, 544.
Марсъ, вращеніе. 285.
» спутники. 541.
Масса. 312—315.
Маятникъ, часы съ маятникомъ. 282, 283, 286, 300.
Медичейскія планеты. См. Спутники Юпитера.
Мерага. 113, 114, 115,
Меридіанъ. 51, 53, 62, 110, 224, 283, 362, 378, 386.
Меркурій. 20, 22, 23, 26, 38, 41, 85, 90, 95, 97, 120, 136, 141, 150, 151, 158, 161—163, 165—167, 213, 216, 252, 255, 260, 263, 322, 449, 526, 528, 535.
Меркурій, вращеніе. 546.
» масса. 540.
» прохожденія. 216.
» фазы, 228.
«Мерцаніе звѣздъ». 46.
«Meteorologica». 41.
Метеоры. 562, 564.
Методъ Аристарха. 48, 49, 69, 70.
Методъ послѣдовательности. 492.
Метоновъ циклъ. 30.
Метрическая система. 429.
«Mecanique Analytique». 428—430.
Микрометръ. 281, 513, 515.
Мимасъ. 462.
Минута (угла). 9.
Мира. 490.
«Mysterium Cosmographicum». 194, 252, 262, 265.
Млечный путь. 51, 211, 470—472, 477, 479, 481, 577.
Монголы, ихъ астрономія. 113.
Морокко. 113.
Моря (лунныя). 210, 276, 543.
Музыка сферъ. 35, 264.
Мѣсяцъ аномалистическій. 67.
Мѣсяцъ драконическій. 67, 81.
Мѣсяцъ сидерическій. 66.

Мѣсяцъ синодическій. 66, 81.
Мѣсяцъ полный. 29, 30.
Мѣсяцъ неполный. 29, 30.
Мѣсяцъ лунный. 25, 30, 31, 67.
Мѣсяцъ. 3, 25, 29—32, 66—68, 434, 533, 582.

Наблюдательная астрономія. 502, 503.
Надиръ. 117.
Наименьшіе квадраты. 506, 507, 509.
Наклоненіе эклиптики. См. Эклиптика, наклоненіе.
Наклоненіе. 110, 169, 406, 442—446, 448, 535, 539.
Наклоненія фондъ. 445, 446.
«Nautical Almanac». 379, 523, 526, 528.
Научный методъ. 102, 103, 274, 341.
Небесная долгота. См. Долгота.
«Небесная механика». 430, 432, 435, 449, 451, 530.
Небесная сфера. 5—10, 11, 14, 20—22, 36, 39—41, 50—52, 57, 62, 66, 67, 84, 88, 89, 95, 117, 121, 146—148, 149, 150, 154, 168, 180, 191, 192, 228, 283, 349, 361, 366, 375, 502.
Небесная широта. См. Широта.
Новыя звѣзды. См. Звѣзды.
Небулярная гипотеза. 451, 578, 582, 583.
Недѣля. 16, 25, 26.
Неподвижныя звѣзды. См. Звѣзды.
Нептунъ, открытіе его. 526—528.
» спутникъ его. 539.
Неравенства большія. 441, 444.
» вѣковыя. 436, 437—439, 441, 448.
Неравенство параллактическое. 517.
Неравенства періодическія. 436—438, 441, 444, 448.
Нижнія планеты. 23, 163, 164.
Новый Альмагестъ. См. Альмагестъ.
Новый стиль. 33.
Новолуніе. См. Фазы луны.
Нормальная школа. 429, 431.
Нутація. 359, 363, 372, 373, 375, 376, 377, 379, 415, 449, 481.
Νυχθήμερον. 24.
Нюрнбергская школа. 127, 135.
Ньютонова проблема. 403—407, 451.
Ньютоновъ телескопъ. 294, 458, 463.

Оберонъ. 462.
Обратно-дедуктивный методъ. 341.
Обратныхъ квадратовъ законъ. 301, 302, 304—309, 316, 317, 343, 417.
Обозрѣніе неба. 458.
Обращающій слой. 559.
Овна первая точка. 20, 179, 349.
Околополярныя звѣзды. См. Звѣзды.
Октаэдрисъ. 29.
Описательная астрономія. 503—505, 534.
Опытъ Кэвендиша. 384.
Относительное движеніе. 144, 145, 323.
Отражательные телескопы. 294, 295, 455—463.
«Очеркъ кометной астрономіи». 354.

Падающія звѣзды. См. Метеоры.
Параллелограммъ силъ. 315.
Пассажный инструментъ. 378, 395.
Пасхалія. 31.

Пепельный свѣтъ. 123.
Первый двигатель. 125.
Переводы. 107—109, 118.
Перекрестныя нити. 281, 349.
Перемѣнныя звѣзды. См. Звѣзды.
Перигей. 60, 67, 91, 92, 156.
Перигелій. 156, 412, 413.
Пертурбаціи. См. Возмущенія.
Пиѳагорейцы. 35, 36, 140.
Планеты. 19—26, 35—41, 46, 50, 95—97, 124, 150, 189—191, 196, 200, 201, 212—214, 252, 262—264, 277, 281, 402, 404, 406, 451, 452, 454, 459, 462, 466, 468, 495, 499, 500, 501, 507, 508, 509, 516, 517, 534—547, 578, 579, 583.
Планеты, открытіе ихъ. 459—462, 493, 526—528, 534, 539, 578.
Планеты, вращеніе. 285, 324, 326, 452, 495, 545, 546.
Планеты, массы. 321, 443, 444, 445, 539.
Планеты, разстоянія. 23, 46, 100, 150, 158—165, 208, 252, 262—265, 300—306, 445, 535.
Планеты, таблицы. См. Таблицы.
Планеты, теорія. 95, 101, 104, 124, 162—170, 402—407, 409, 411, 412, 419, 421—426, 436—449, 525—528, 533.
Планеты, точки стоянія. 21, 97, 166, 163, 167.
Планеты, движенія. 19, 21—24, 35—41, 45, 69, 85, 88, 95, 96, 101, 126, 150—152, 158—165, 167—170, 172, 183, 189, 190, 201, 210, 212, 229, 225—261, 262—265, 272, 273, 275, 282, 297, 300—306, 307—310, 316, 318—320, 337, 402—407, 445, 452, 509, 537, 538.
Плеяды. 1, 211, 476.
Поворотные пункты. 16.
Погода, предсказаніе ея. 31, 251.
Покрытія. 22, 46.
Политехническая школа. 429.
Поллуксъ. 492.
«Полная система оптики». 456.
Полная индукція. См. Обратно-дедукт. методъ.
Полнолуніе. См. Луна, фазы.
Полныя затменія. См. Затменія.
Полный мѣсяцъ. 29, 30.
Полосы Юпитера. См. Юпитеръ.
Полутѣнь (солнечнаго пятна). 219, 497.
Полюсы земли. 153, 154, 324, 325, 384, 386, 388.
Полюсы большого круга. 51.
Полюсы небесной сферы. 10, 11, 53, 149, 229, 363, 364, 374, 375, 521.
Полярная звѣзда. 10.
Поперечныя дѣленія. 195.
Попятное движеніе. 21, 22, 95, 166.
Постоянная аберраціи. 367, 368, 369, 518, 519.
Постулаты Коперника. 143.
Постулаты Птоломея. 88, 89.
Предвареніе равноденствій. 74, 76, 77, 94, 95, 155, 156, 229, 326, 336, 371, 372, 375, 376, 379, 386, 414, 449, 509, 514.
Преломленіе. 86, 87, 179, 197—199, 284, 285, 378, 379, 381, 393, 509, 510.
Преломляющіе телескопы. 294, 295.
Прецессія. См. Предвар. равноденствій.
Приливное треніе. 524, 525, 531, 532, 533, 582, 583.
Приливы. 234, 273, 327—330, 407, 411, 422, 449, 530, 531, 532, 582.
«Prima Narratio». 139, 174.
«Principia» Декарта. 290.

«Principia» Ньютона. 275, 291, 310, 316—318, 321, 325, 326, 327—336, 342, 344, 346, 353, 372, 407, 420, 421, 434.
«Принципы философіи» Декарта. 290.
Принципъ Допплера. 557, 573.
Притяженіе см. тяготѣніе.
«Пробирщикъ». 225.
«Prodromus Cometicus». 277.
Просневзисъ. 91, 112, 157.
Пространство-проницающая сила телескопа. 474.
Прохожденія Венеры. 282, 355, 359, 394, 397, 398, 515, 518, 519, 520.
Противостояніе. 78, 81, 92, 150, 200, 286.
Прусскія таблицы. 174, 175, 177, 179, 181, 255.
Прямое восхожденіе. 52, 62, 349, 381, 508.
Прямое движеніе. 21, 22, 166, 167.

Равноденствія. 16, 19, 63, 64, 65, 76, 77.
Равноденственныя точки. 16, 19, 71, 72—76, 155.
Равноденствія, предвареніе ихъ. См. предвареніе равноденствій.
Равномѣрное ускореніе. См. ускореніе.
Развинчиваніе солнечной системы. 534, 580.
«Разговоръ о двухъ системахъ міра». 226, 231, 234, 236, 237, 240, 243.
Редукція наблюденій. 350, 379, 380, 509, 510.
«Recherches sur la précession». 376.
«Recherches sur différents points». 418, 423.
Рея. 285.
Ригель. 116.
Рудольфинскія таблицы. 175, 270, 273, 278.

Саросъ. 27, 81.
«Il Saggiatore». 225, 226.
Сатурнъ. 20, 21, 23, 25, 26, 38, 95, 100, 150, 151, 162, 164, 165, 181, 215, 252, 260, 263, 277, 278, 280, 320—322, 357, 402, 403, 412, 421, 422, 423, 439—445, 448, 449, 459, 493, 494, 526, 544—546.
Сатурнъ, вращеніе. 494, 545.
Сатурнъ, кольца. 215, 277, 278, 280, 285, 443, 449, 494, 541, 545.
Сатурнъ, масса. 322.
Сатурнъ, спутники. 278, 285, 402, 459, 462, 493, 494, 495, 540, 546, 566.
Сафо. 517.
Свея. 536.
Свѣтъ, движеніе и скорость. 290, 365, 366—369, 370, 377, 384, 512, 513, 519, 556, 557. См. также аберрацію.
Секунда (угла). 9.
«Селенографія» Геверія. 276.
«Selenotopographische Fragmente». 500.
«Sidereus Nuntius». 209, 212, 214.
Сидерическій періодъ. 160, 161, 163, 164.
Сила. 231, 312, 313—317.
Синодическій періодъ. 159, 161, 163, 164.
Синусъ. 88, 111, 123.
Сиріусъ. 576.
«Система міра» Лапласа. 430, 439, 451.
«Система міра» Понтэкулана. 522.
«Система Сатурна». 280.
Система Тихо. 191, 225.
Склоненіе. 52—54, 62, 371, 381, 508.

Собственныя движенія звѣздъ см. звѣзды.
Соединенія. 78, 92, 111, 196, 200, 398.
Созвѣздія. 17—20, 31, 40, 70, 71, 392.
«Сокращеніе» Кеплера. 240, 265—267.
«Сокращеніе» Пурбаха. 122, 123.
Солнечные часы. 52.
Солнечныя пятна. 215—220, 276, 496—498, 547, 557, 559.
Солнце. 1, 4, 13—16, 18—20, 23, 26, 31, 34, 44—46, 48, 49, 52, 53, 63, 65, 68, 70, 77, 82, 84, 92, 93, 100, 124, 127, 136, 140, 141, 145, 148, 150, 153, 154, 156—170, 171, 172, 179, 188, 191, 196, 199, 210, 211, 213—219, 223, 224, 228, 237, 252, 255, 258—260, 262—264, 266—268, 271, 272, 276, 278, 280, 282, 296, 297, 300—308, 316, 317, 319—323, 338, 354, 355, 358, 359, 369, 372, 397—401, 405, 406, 421, 424, 433, 440, 443, 447, 451—453, 466, 487, 488, 496—498, 501, 511, 512, 515, 517—519, 525, 526, 530, 531, 533, 538, 545, 546, 548, 553, 555—557, 560, 563, 566, 580, 581, 583.
Солнце, вращеніе его. 217, 219, 272, 452, 548, 558.
Солнце, величина его. 48, 207, 266, 303.
Солнце, затменія его. См. затменія.
Солнцестоянія. 16, 54, 63, 64, 65, 76, 77.
Солнце, движеніе. 2, 3, 4, 13—16, 19, 23—27, 30, 31, 35, 40, 53, 54, 56—68, 74—78, 88, 92, 96, 97, 111, 145, 148, 156, 157, 162, 171, 189, 199, 223, 224, 237, 322, 393, 488—490.
Солнце, кажущееся сжатіе. 87.
Солнце, масса. 319, 320, 322, 329, 406, 518.
Солнце, параллаксъ. 83, 179, 199, 266, 287, 288, 392, 400, 401, 517—520.
Солнце, разстояніе. 23, 36, 38, 46, 48, 69, 70, 78, 79, 82, 83, 92, 93, 150, 169, 170, 199, 282, 286, 355, 356, 359, 397, 398—401, 515—517, 518, 519, 520.
Солнце, таблицы. См. таблицы.
Солнце, угловой діаметръ. 49, 65, 70, 79, 87, 92, 136, 170, 191.
Сохраненіе энергіи. 579.
Спектральный анализъ, спектры. 295, 503, 549—558, 561, 564, 570, 571, 52—574, 578, 579.
Спектроскопъ. 550, 552, 558, 561.
Спиральныя туманности. 571.
Спутники. 212—214, 225, 228, 266, 271, 278, 285, 289, 290, 296, 297, 319, 321, 322, 369, 376, 377, 402, 407, 449, 450, 459, 462, 492—495, 502, 519, 539—542, 578, 583.
Спутники, вращеніе ихъ. 452, 495.
Спутники, направленіе движенія ихъ. 452, 540.
Стадія. 55, 85, 89.
Стаціонарные пункты. 21, 95, 97, 167, 168. См. точки стоянія.
Строеніе неба. 466.
Стьернеборгъ. 186.
Стѣнной квадратъ. 378, 395.
Сумерки. 128.
Сутки. 3, 16, 24, 88.
Суточное движеніе. См. небесная сфера.
Суточный методъ, параллаксъ. 516, 520.
«Sphaera Mundi». 121.
Сфера. См. небесная сфера.
Сферика. 51, 52.

Сферы. 39—41, 57, 96, 125, 126, 169.

Таблицы, Альфонсинскія. См. Альфонсинскія таблицы.
Таблицы астрономическія. 92, 110, 112, 113, 114, 119, 126, 131, 175, 176, 270, 282, 286, 376, 377, 378, 510.
Таблицы Гакемитскія. 112, 114.
Таблицы Ильханскія 114.
«Таблицы луны» Дамуазо. 522.
Таблицы лунныя. 92, 111, 356, 377, 378, 396, 418, 419, 420, 435, 522, 523, 528, 529.
Таблицы Прусскія. См. Прусскія таблицы.
Таблицы планетныя. 115, 125, 201, 261, 356, 357, 358, 376, 377, 419, 421, 449, 526, 527, 528.
«Tabulae Regiomontanae». 510.
Таблицы Рудольфинскія. См. Рудольф. табл.
Таблицы солнечныя. 111, 157, 199, 277, 394, 395, 422, 449, 528.
Таблицы Толедскія. 113, 119.
Татары, ихъ астрономія. 115.
Твердь. 10, 125.
Телескопъ. 121, 208, 209, 211, 219, 246, 254, 275, 278, 281, 294, 295, 362, 279, 457—474, 476, 481, 499, 505, 554, 556, 564, 570.
Теорія островной вселенной. 477, 577.
Теорія вѣроятностей (Лапласа). 431.
«Théorie Analytique des Probabilités». См. Теорія вѣроятностей.
«Теорія движенія» Гаусса. 508.
Теорія жернова. 471, 577.
Теорія движенія луны (Эйлера). 418, 119.
Теорія луны (Клеро). 417.
Теорія луны (Майера). 397.
Теорія луны. 407, 419, 524.
Теорія вселенной (Райта). 471.
Теорія свѣтящейся жидкости. 478, 571.
Тетисъ. 285.
Титанія. 462.
Титанъ. 278.
Трепидація. 110, 155, 200.
«Traité de dynamique». 414.
Трещины. 543.
Тривіумъ. 118.
Тригонометрія. 57, 88, 123.
Тропическій годъ. См. Годъ.
Туманности. 392, 454, 457, 466, 475—480, 565, 567, 571, 572, 576—583.
Туманность въ Аргусѣ. 565.
Туманность Оріона. 457, 476, 571.
Туманныя звѣзды. См. Звѣзды.
Тѣнь (солнечныхъ пятенъ). 219, 496.
Тяготѣніе, тяжесть. 59, 272, 286, 292—313, 344, 355, 373, 376, 382, 383, 384, 385, 392, 396, 517, 518, 521, 523—534, 569, 581.
Тяжесть, измѣненіе ея. 286, 316, 378, 385—390, 392, 412.

Углы, измѣреніе ихъ. 7—9, 55.
Узелъ. 67, 68, 79, 81, 200, 320, 373, 375, 424, 448.
Указатель запрещенныхъ книгъ. 223, 240, 265.
Уплотненіе туманностей. 453, 454, 479, 480, 578, 579.
Уравненіе свѣта. 519.
Уравненіе центра. 64, 90, 91, 92, 111, 200.
Уранъ. 459—462, 493, 508, 509, 526, 528, 546.
Уранъ, вращеніе. 546.
Уранъ, спутники. 452, 462, 493, 502, 539.
Уранибургъ. 184, 186.
«Uranometria Nova Oxoniensis». 576.

Ускореніе. 244, 283, 299, 300, 301—304, 311, 312, 315.
Устойчивость солнечной системы. 447.
Угренняя звѣзда. См. Венера.
Ученіе о сферѣ. 51, 52.

Фазы луны. См. луна.
Факелы. 276, 554, 555, 559.
«Phaenomena». 51.
Фигура земли. См. земля.
Физическія двойныя звѣзды. См. звѣзды двойныя.
«Философскій опытъ». 431.
Флеровое кольцо. 494, 541.
Флюксіи. 225, 333, 346.
«Флюксіи» Маклорена. 456.
Фобосъ. 541.
Фокусъ. 257, 260, 308, 425.
Фондъ наклоненія. 445.
Фондъ эксцентрицитета. 445.
Фотографія. 505, 513—515, 536, 548, 554, 555, 754.
Фотометрія. 575, 576.
Фотосфера. 496, 558.
Фраунгоферовы линіи. 551—554, 558—562.
Фронтовая конструкція. См. Гершелевы телескопы.
«Fundamenta Astronomiae» Бесселя. 393.
«Fundamenta» Ганзена. 522.

Халдеи. 5, 15, 18, 25, 26, 100, 103.
Химія солнца. 549—556.
Хорды. 88.
Хромосфера. 555, 559.
Хронометръ. 397.

Центробѣжная сила. 284.
Центръ тяжести. 322.
Церера. 509.

Частныя затменія. См. затменія.
Часы. 179, 180.
Часъ. 24.
Черпаніе звѣздъ. 468, 565.

Широта земная. 53, 126, 128, 136, 382, 520, 521.
Широта небесная. 52, 71, 115, 168.
Широты измѣненіе. 520, 521.

Эвекція. 91, 101, 111, 157, 200, 266.
Эквантъ. 97, 157, 168, 171, 256, 271, 297, 298, 299.
Экваторъ, движеніе. См. прецессія.
Экваторъ. 11, 12, 15, 16, 51—53, 62, 72, 73, 74, 153—156, 173, 229, 241, 243, 324, 325, 384, 386, 388, 389, 521.
Эклиптика. 15, 16, 18, 19, 21, 39, 52, 53, 56, 58, 60, 67, 68, 72, 74, 78, 79, 98, 110, 111, 125, 148, 153, 154, 156, 162, 168, 169, 200, 278, 356, 369, 373, 374, 398, 421, 424, 441, 448, 452.
Эклиптика, наклоненіе. 15, 53, 56, 72, 111, 125, 154, 421.
Эксцентрикъ. 57, 60, 61, 66, 68, 69, 91, 92, 97, 98—100, 111, 156, 168, 170, 171, 255, 256, 271.
Эксцентрицитетъ. 61, 257, 406, 424, 434, 441, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 452, 535, 536, 579.
Элементы орбиты. 424 — 426, 433—435, 441, 442, 444, 448, 507, 508.
Элементы, варіація ихъ. См. варіація.
«Элементы» Эвклида (или «Начала»). 114, 119, 293.
Эллипсъ. 120, 171, 257, 258, 308, 309, 330, 331, 354, 368, 375, 424—426, 441, 509.

Эллиптичность. 389.
Эмпиреи. 126.
Энергія. 533, 579, 580, 581.
Энцеладъ. 462.
Энциклопедія французская. 415.
Эпициклъ. 69, 91, 92, 96, 97, 100, 157, 168, 169, 170, 171, 255, 256, 271, 337, 338.
Эфемериды. См. альманахъ.
«Эфемериды» Регіомонтана. 126.
Эѳиръ. 533, 549.

Юліанскій календарь. См. календарь.
Юнона. 535.
Юпитеръ. 20—23, 26, 38, 95—97, 100, 150, 162—164, 167, 168, 179, 181, 212, 214, 225, 252, 260, 263, 266, 270, 277, 282, 290, 301, 302, 317, 320, 321, 322, 326, 357, 377, 402, 412, 421, 426, 439, 440—445, 450, 495, 516, 526, 534, 535, 538, 542, 544—546, 563.
Юпитеръ, вращеніе. 285, 297.
» сжатіе. 326.
» масса. 320, 322.
» полосы. 495.
Юпитеръ, спутники, масса ихъ. 450.
Юпитеръ, спутники. 82, 212—214, 225, 228, 266, 270, 285, 286, 289, 297, 321, 369, 376, 377, 407, 449, 450, 495, 519, 542.

Яблоко Ньютона. 296.
Ядро кометы. 559.
Япетъ. 285.
Яркость звѣздъ. См. звѣзды, яркость.
Ясли. 476.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

Тѣмъ изъ читателей, кто пожелалъ бы ближе ознакомиться съ астрономіей, можно рекомендовать обратиться къ «Программамъ домашняго чтенія на 3-й годъ систематическаго курса», изд. 2-е, 1901 г., изданнымъ Комиссіей по организаціи домашняго чтенія, состоящей при Учебномъ отдѣлѣ Общества распространенія техническихъ знаній въ Москвѣ. Въ этихъ программахъ имѣются обстоятельныя указанія относительно литературы предмета и порядка самыхъ занятій. Для тѣхъ же, у кого не случилось бы подъ руками этихъ программъ, могутъ быть полезными слѣдующія книги:

По теоретической астрономіи:

Лапласъ. Изложеніе системы міра. СПБ., 1861 г. 2 тома. Цѣна 3 р. 50 к. Трудное, но превосходное сочиненіе. Прочтется съ большой пользой.

Цингеръ, В. Я. Элементарное изложеніе теоріи эллиптическаго движенія. Москва, 1891 г. Цѣна 60 к.

Гауссъ. Теорія движенія небесныхъ тѣлъ. Москва, 1859 г. Классическое, но трудное сочиненіе. Въ продажѣ нѣтъ.

По сферической астрономіи:

М. Хандриковъ. Курсъ сферической астрономіи. 1883 г. Цѣна 3 р. 75 к.

Брюнновъ. Учебникъ сферической астрономіи. СПБ., 1872—1873 г. Въ продажѣ нѣтъ. Книга прекрасная, но переводъ мало удовлетворительный.

Сочиненія общаго характера, требующія основательнаго знакомства съ элементарной математикой:

Ф. Араго. Общепонятная астрономія. СПБ., 1861 г. 4 тома. Цѣна 12 р. Нѣсколько устарѣвшая, но превосходная книга. Достать можно только у букинистовъ.

Дж. Гершель. Очерки астрономіи. Москва, 1861—1862 г. 2 тома. Цѣна 3 р. 50 к. Прекрасно изложена теоретическая часть. Въ отдѣлѣ физической астрономіи устарѣла.

С. Ньюкомбъ и *Р. Энгельманъ.* Астрономія въ общепонятномъ изложеніи. СПБ., 1895—1896 г. Цѣна 6 р. Превосходная книга, стоящая вполнѣ на уровнѣ современныхъ знаній. Внимательное ознакомленіе съ ней необходимо каждому, интересующемуся изученіемъ астрономіи.

Мейеръ. Мірозданіе. СПБ., 1900 г. Цѣна 7 р. 50 к.

Литровъ. Тайны неба. Выходитъ выпусками въ изданіи Брокгаузъ - Ефрона. Еще не закончена. Блестяще и общепонятно изложена теоретическая часть, составляющая главное достоинство прекрасной и въ другихъ отношеніяхъ книги.

Въ помощь самообразованію. Сборникъ. Москва, 1898 г. IV выпускъ. Цѣна 1 р. 20 к. Весь IV выпускъ посвященъ астрономіи.

М. Хандриковъ. Описательная астрономія. Кіевъ, 1896 г. Цѣна 3 р. 50 к.

Популярныя сочиненія, излагающія астрономическія истины безъ помощи математики:

Клейнъ. Астрономическіе вечера. СПБ. Изд. 3-е, 1900 г. Ц. 2 р. Блестяще и талантливо написанная книга. Масса рисунковъ и портретовъ.

Клейнъ. Прошлое, настоящее и будущее вселенной. СПБ., 1898 г. Цѣна 1 р. 50 к.

О. Митчель. Небесныя свѣтила. Москва, 1868 г. Ц. 1 р. 50 к.

Фламмаріонъ. Живописная астрономія. СПБ., 1897 г. Ц. 3 р.

По отдѣльнымъ вопросамъ:

Юнгъ. Солнце. СПБ., 1900 г. Цѣна 1 р. 50 к.

Фламмаріонъ. Звѣздное небо и его чудеса. СПБ., 1901 г. Цѣна 3 р. 50 к.

Фэйе. Происхожденіе міра. СПБ., 1895 г. Цѣна 1 р. 20 к.

Практическія руководства:

Покровскій. Путеводитель по небу. СПБ., 1897 г. Цѣна 2 р. Изд. 2-е.

Я. Мессеръ. Звѣздный атласъ. СПБ., 1900 г. Цѣна 5 р.

Календари:

«Русскій астрономическій календарь» Нижегородскаго кружка любителей физики и астрономіи. Выходитъ ежегодно. Ц. 75 к.

КОМИССІЯ ПО ОРГАНИЗАЦІИ ДОМАШНЯГО ЧТЕНІЯ,

СОСТОЯЩАЯ ПРИ УЧЕБНОМЪ ОТДѢЛѢ ОБЩЕСТВА РАСПРОСТРАНЕНІЯ ТЕХНИЧЕСКИХЪ ЗНАНІЙ.

Москва, Большая Никитская, д. Рихтеръ, кв. № 3.

Правила для оношеній читателей съ Комиссіей при занятіяхъ по программамъ систематическаго курса.

I. Для отдѣльныхъ лицъ.

1) Читатели могутъ пользоваться руководствомъ при занятіяхъ систематическими программами Комиссіи, обращаясь къ Комиссіи за разъясненіемъ встрѣтившихся при чтеніи недоразумѣній и вопросовъ; на отвѣтъ должна быть *прилагаема почтовая марка.*

2) Желающіе пользоваться указаніями Комиссіи въ означенныхъ предѣлахъ уплачиваютъ по 2 рубля за годичный курсъ по каждому изъ слѣдующихъ семи отдѣловъ: науки математическія, физико-химическія, біологическія, философскія, общественно-юридическія, исторія и исторія литературы. Читатели, выбирающіе какую-либо часть одного изъ перечисленныхъ семи отдѣловъ (напримѣръ, астрономію, общую физіологію, русскую исторію, гражданское право и т. п.), платятъ за руководство по 1 р.

Нормой времени для прохожденія отдѣла принято 4 годичныхъ курса, причемъ теченіе каждаго годичнаго срока считается съ мѣсяца записи въ число читателей. Читателю, не успѣвшему къ сроку закончить прохожденіе назначенной на 1 годъ части курса и сообщившему въ концѣ годового срока Комиссіи о ходѣ своихъ занятій, срокъ можетъ быть продолженъ безъ новаго взноса.

Примѣчаніе. Лица, не могущія уплачивать означенныхъ взносовъ по недостатку средствъ, могутъ быть освобождаемы отъ платы за пользованіе руководствомъ Комиссіи, по представленіи объясненій о своемъ имущественномъ положеніи.

3) Для большей успѣшности руководства занимающіеся приглашаются сообщать, кромѣ своего имени и адреса [1]), съ обозначеніемъ отдѣла или отдѣловъ, по которымъ они хотятъ заниматься: a) возрастъ, b) какое и гдѣ получили образованіе, c) званіе или сословное положеніе, d) главное занятіе, e) знаютъ ли иностранные языки и какіе и проч.

4) Комиссія предлагаетъ лицамъ, занимающимся подъ ея руководствомъ, слѣдующія льготныя условія по пріобрѣтенію книгъ черезъ ея посредство:

a) Комиссія принимаетъ на себя порученія по покупкѣ всѣхъ книгъ, указанныхъ въ Программахъ (какъ необходимыхъ, такъ и рекомендуемыхъ и справочныхъ) и находящихся въ продажѣ, съ уплатой *въ разсрочку.* При покупкѣ книгъ, отмѣченныхъ въ Программахъ звѣздочкой, нужно высылать при заказѣ не менѣе 30% ихъ стоимости, а при покупкѣ прочихъ — не менѣе 80%. При этомъ читатели пользуются уступкой съ номинальной стоимости книгъ въ такомъ размѣрѣ, какой условленъ Комиссіей съ различными книгопродавцами (московскіе читатели — не болѣе 10%).

b) Книги, отмѣченныя въ Программахъ звѣздочкой, читатели могутъ возвращать по минованіи надобности, *получая обратно* стоимость книгъ, за вычетомъ по 5% съ ихъ *номинальной цѣны* за каждый мѣсяцъ, въ теченіе котораго книга находилась у читателя; такимъ образомъ, книга, стоящая 1 рубль, по истеченіи мѣсяца со дня полученія ея читателемъ, принимается обратно за 95 коп., по истеченіи 2 мѣс. — за 90 коп. и т. д. По истеченіи 20 мѣсяцевъ книга обратно не принимается.

c) По желанію, книги могутъ быть высылаемы въ переплетахъ; стоимость переплетовъ — 20 или 25 коп. При выпискѣ книгъ необходимо отмѣчать, какія должны быть въ переплетахъ. *Съ правомъ обратнаго возвращенія высылаются только переплетенныя книги.*

Примѣчаніе. Теченіе сроковъ начинается съ 1 и 15 чиселъ, слѣдующихъ за высылкой книгъ читателямъ. *Всѣ почтовые расходы по пересылкѣ книгъ должны быть оплачиваемы читателями.* Книги должны быть возвращаемы назадъ въ полной исправности и безъ помарокъ, съ указаніемъ фамиліи и адреса лица, которое возвращаетъ книги.

---

[1]) Въ случаѣ *перемѣны мѣста жительства* нужно немедленно сообщать Комиссіи новый адресъ.

5) Въ промежутокъ отъ 15 мая до 15 сентября прекращаются письменныя сношенія Комиссіи съ читателями, касающіяся руководства занятіями, всякаго рода разъясненій и т. п. Прочія же сношенія (запись въ число читателей, высылка книгъ, полученіе ихъ отъ читателей обратно и т. п.) продолжаются *круглый годъ*.

6) Черезъ посредство Комиссіи читатели могутъ пріобрѣтать лишь книги, указанныя въ Программахъ того курса (а московскіе читатели — того курса и отдѣла), на руководство по которому они записались.

II. Для группъ.

Независимо отъ изложеннаго порядка содѣйствія со стороны Комиссіи по пріобрѣтенію книгъ читателями, Комиссія находитъ возможнымъ, для удобства и въ интересахъ занимающихся подъ ея руководствомъ лицъ, составлять и высылать имъ тотъ или другой подборъ указанныхъ въ ея „Программахъ" книгъ на слѣдующихъ установленныхъ условіяхъ:

1) Книги выбираются или по усмотрѣнію Комиссіи или по желанію занимающихся подъ ея руководствомъ читателей. Въ послѣднемъ случаѣ Комиссія оставляетъ за собой право ограниченія такого выбора.

2) Книги отпускаются и обратно принимаются Комиссіей не иначе, какъ безъ помарокъ и переплетенными.

3) Книги высылаются по требованію не отдѣльнаго лица, а лишь группы лицъ, занимающихся (хотя бы и по различнымъ отдѣламъ) подъ руководствомъ Комиссіи, которая всѣ сношенія съ означенной группой ведетъ черезъ одно лицо, входящее въ составъ группы и несущее всю отвѣтственность за группу въ ея обязательствахъ передъ Комиссіей.

4) Всѣ расходы по пересылкѣ книгъ означенная группа принимаетъ на себя.

5) Высылаемыя Комиссіей книги считаются купленными поименно извѣстными ей читателями, составляющими группу; при покупкѣ читатели уплачиваютъ 20% номинальной стоимости книгъ въ видѣ задатка.

6) Книги могутъ быть возвращены Комиссіи, которая обязывается въ этомъ случаѣ возвратить задатокъ, удержавъ изъ него лишь то, что причтется за книги испорченныя или невозвращенныя и, сверхъ того, за каждый мѣсяцъ пользованія 2% съ общей номинальной стоимости забранныхъ книгъ въ погашеніе расходовъ Комиссіи. Сумму, превышающую размѣръ задатка, лица, пользовавшіяся книгами, обязаны уплатить Комиссіи.

7) Удерживать книги разрѣшается не долѣе 6 мѣсяцевъ со дня ихъ полученія, причемъ, однако, лица, желающія пользоваться ими болѣе продолжительное время, могутъ ходатайствовать объ этомъ передъ Комиссіей. Въ противномъ случаѣ книги считаются окончательно купленными, и лица, удержавшія ихъ для себя, должны немедленно же, по истеченіи означенныхъ 6 мѣсяцевъ пользованія ими, произвести окончательный разсчетъ съ Комиссіей, причемъ Комиссія дѣлаетъ съ номинальной стоимости книгъ ту скидку, какая условлена съ книжными магазинами, доставляющими книги.

Издавъ четыре выпуска программъ для четырехгодичнаго систематическаго курса наукъ, Комиссія намѣрена выпускать серіи **эпизодическихъ** программъ по отдѣльнымъ вопросамъ различныхъ наукъ съ цѣлью руководства занятіями по этимъ программамъ. Желающіе пользоваться руководствомъ по какой-либо эпизодической программѣ увѣдомляютъ о томъ Комиссію по означенному выше адресу, сообщая: 1) свою фамилію, имя и отчество, 2) точный адресъ, 3) возрастъ, 4) родъ занятій, 5) мѣсто окончанія или прохожденія учебнаго курса или степень домашней подготовки. По полученіи отъ Комиссіи извѣщенія, что руководство для нихъ открыто, они вносятъ плату за руководство въ размѣрѣ, указанномъ особо для каждой программы (отъ 1 р. до 5 р.), и затѣмъ благоволятъ присылать въ Комиссію письменныя работы на предложенныя въ программѣ темы для отзыва, въ указанномъ въ программѣ порядкѣ, а равно и отдѣльные запросы въ связи съ занятіями по этимъ темамъ. По полученіи первой работы Комиссія оставляетъ за собой право измѣнить планъ и порядокъ занятій, намѣченный въ программѣ, примѣнительно къ обнаруженной въ работѣ степени подготовленности. При несогласіи подписчика на это измѣненіе внесенная имъ плата подлежитъ возвращенію. При каждомъ запросѣ и работѣ прилагается на отвѣтъ 7-коп. марка. Дальнѣйшія подробности о ходѣ руководства означены **особо для каждой программы** въ концѣ листка.

Желающіе подписчики могутъ получать чрезъ посредство Комиссіи указанныя въ программахъ книги по номинальной ихъ стоимости, оплачивая почтовые расходы по ихъ пересылкѣ. Книги могутъ быть возвращены въ Комиссію, причемъ за мѣсячное пользованіе удерживается 5% съ номинальной стоимости книги.

Изданіе Т-ва И. Д. Сытина.