

вильный путь, удалось доказать единство сил, действующих во всем мире. А через сто лет Лаплас мог уже считать всю астрономию обширной проблемой механики — единой механики и для «земли» и для «неба».

Однако великое дело установления единства мира все же не было еще закончено. Ньютону и его продолжателям пришлось сохранить понятия абсолютного пространства и абсолютного времени, ничем не связанных с материей. Только создание теории относительности окончательно освободило науку от этих последних остатков средневекового «неба».

§ 5. Задачи теоретической астрономии

Прогресс науки и неизбежно связанная с ним специализация привели в конце XVIII в. к разделению единой когда-то астрономии на астрономию наблюдательную (или «практическую») и астрономию теоретическую. Свидетельством этого было почти одновременное появление двух капитальных сочинений, посвященных отдельно и притом возможно полному изложению теоретической астрономии. В Петербурге был издан трехтомный трактат «Теоретическая астрономия» академика Ф. И. Шуберта [1798], а в Париже вышел первый том «Небесной механики» Лапласа [1799].

Эти сочинения, имевшие одну и ту же цель — дать систематическое изложение теорий движения небесных тел, столь блестяще развитых в течение XVIII в., были названы различно. В то время как Шуберт сохранил употреблявшийся раньше термин «теоретическая астрономия», Лаплас ввел новое название: «небесная механика»^{*)}. Этим он хотел подчеркнуть, что после

^{*)} Так как происшедшая отсюда двойственность в наименовании сохранилась до настоящего времени и привела к некоторым недоразумениям, то полезно сделать следующие замечания.

В русской научной литературе название «небесная механика» для всего учения о движении небесных тел очень долго не применялось. Как на пример, можно указать на известное сочинение М. Хандрикова «Очерк теоретической астрономии» [1883], служившее основным руководством для многих поколений русских астрономов-теоретиков. Термин «небесная механика» не употреблялся до самого недавнего времени и в английской литературе, где сначала применялось название «физическая астрономия», а когда возникновение астрофизики сделало его неудобным, то название — «динамическая астрономия».

Название «теоретическая астрономия» представляется более удобным. Кроме того, название «небесная механика» как бы маскирует то основное достижение, о котором говорилось в конце предыдущего параграфа, — создание единой механики для Земли и для Космоса.

С другой стороны, термин «небесная механика» может быть весьма естественно употреблен в ином значении, как это будет указано ниже.

По этим причинам мы будем употреблять старинное, более удобное и принципиально более правильное наименование: теоретическая астрономия.

открытия закона всемирного тяготения и выяснения доминирующего значения этого закона «астрономия, рассматриваемая с самой общей точки зрения, стала не чем иным, как грандиозной проблемой механики...». Но несмотря на различие в названии, задачи, стоявшие перед вновь оформившейся астрономической дисциплиной, понимались одинаково: они заключались, говоря словами Лапласа, в выводе всех следствий закона всемирного тяготения «в отношении движения и равновесия твердых и жидких масс, составляющих солнечную систему, а также аналогичные системы, наполняющие мировое пространство».

В результате огромной работы, выполненной за истекшие 150 лет, эта весьма общая формулировка может быть сделана гораздо более конкретной. Первая половина XX в. войдет в историю науки как эпоха грандиозного триумфа теоретической астрономии. За этот сравнительно очень короткий промежуток времени с блестящим и даже несколько неожиданным успехом были завершены многовековые работы по созданию теорий движения Луны и планет. Впервые удалось дать такие, основанные на едином законе и освобожденные от всяких эмпирических исправлений теории, которые представляют все имеющиеся наблюдения в пределах их точности.

Этот успех был, конечно, связан с открытием Плутона и огромным прогрессом вычислительной техники, столь характерным для нашего века, но прежде всего он был обусловлен открытием неравномерности вращения Земли и глубоким проникновением в природу тяготения.

Установление неравномерности вращения Земли открыло путь для перехода от времени, получаемого из астрономических наблюдений, к тому равномерному времени, которое фигурирует в законах динамики. Только после этого стало возможным вполне строгое сравнение эфемерид с наблюдениями.

Теория Эйнштейна, вскрывшая сущность тяготения, позволила, прежде всего, фиксировать границы, в которых закон Ньютона имеет место. Этим была решена задача, над которой так долго безуспешно трудились*). С другой стороны, эта теория дала новый закон тяготения, точность которого во всяком случае намного превосходит то, что могут обнаружить современные наблюдения.

Другая причина, заставляющая пересмотреть и несколько сузить проблематику теоретической астрономии, формулированную Лапласом, заключается в возникновении и развитии смежных разделов естествознания. Так, например, теория приливов и учение о внутреннем строении Земли, входившие раньше в

*) Подробный критический разбор этих попыток содержит курс, прочитанный Пуанкаре в 1907—1908 гг. и лишь недавно опубликованный [1953].

круг ведения теоретической астрономии, являются теперь частями геофизики; учения о строении Солнца, планет и комет, а также их эволюции, отошли в область астрофизики и космогонии.

Конечно, граница между теоретической астрономией и смежными науками во многих случаях является условной, определяемой скорее соображениями удобства. Например, учение о движениях в системах двойных и кратных звезд, рассматриваемых как материальные точки, может быть отнесено к теоретической астрономии, тогда как изучение этих же движений с учетом приливных деформаций и внутреннего строения звезд удобнее считать астрофизической проблемой.

Таковы соображения, определившие задачи, составляющие в настоящее время содержание теоретической астрономии.

В нее входит прежде всего изучение ряда чисто механических задач, непосредственно связанных с законом Ньютона и нужных для решения астрономических вопросов. Этот раздел естественно назвать небесной механикой. Его с одинаковым правом можно относить и к астрономии и к механике.

К небесной механике относится теория притяжения, т. е. учение о гравитационном поле неподвижных тел. При решении астрономических задач используются лишь основы этой теории. Ее дальнейшее развитие, давшее теорию потенциала, положило начало созданию математической физики.

Основным содержанием небесной механики является задача n тел, т. е. изучение движения n материальных точек, притягивающих друг друга по закону Ньютона. Эта задача полностью решена только в случае $n=2$. При $n \geq 3$ трудности этой задачи настолько превосходят возможность современного математического анализа, что здесь могли быть сколько-нибудь изучены лишь немногие весьма частные случаи движения. Некоторые из таких частных случаев оказались полезными для решения астрономических вопросов, примером чего могут служить периодические решения задачи трех тел.

Открытие закона тяготения Эйнштейна существенно раздвинуло границы небесной механики. Классическая задача n тел, соответствующая притяжению по закону Ньютона, сохранила все свое значение как предельного случая и первого приближения, но стала уже недостаточной. На очередь встала неизмеримо более трудная релятивистская задача n тел (§ 4).

Понимая под небесной механикой совокупность тех механических задач, которые возникли в связи с астрономическими проблемами, к ней можно относить и учение о фигурах равновесия вращающихся жидких масс, столь глубоко развитое А. Пуанкаре и А. М. Ляпуновым (1857—1918).

Следующий раздел теоретической астрономии составляют методы, служащие для изучения возмущенного движения. Мы имеем здесь прежде всего общие методы, позволяющие учитывать отклонения от движения, соответствующего задаче двух тел, под действием любых дополнительных (иначе говоря, возмущающих) сил. Сюда же относятся и различные специальные методы, созданные для изучения движения больших планет, малых планет, Луны, спутников и комет, а также методы, служащие для учета влияния фигур небесных тел на их движение.

Все эти методы еще не настолько развиты, чтобы давать изучаемое движение для неограниченно большого интервала времени. Однако многие из них позволяют представлять движение с любой точностью для интервалов времени, несомненно, превосходящих во много раз интервал времени, охватываемый наблюдениями. Хотя нужно отметить, что величину интервала времени, в пределах которого тот или иной метод дает определенную точность, мы еще не умеем находить.

Третью группу задач теоретической астрономии составляют вопросы, связанные с нахождением из наблюдений постоянных интегрирования, за которые обычно принимаются элементы орбит (или оскулирующих орбит для определенного момента времени или так называемых средних орбит), а также констант, характеризующих массы, размеры и фигуры космических тел. Сюда относятся прежде всего методы нахождения предварительных орбит по минимальному числу наблюдений, методы исправления этих орбит при помощи дополнительных наблюдений и, наконец, методы нахождения вероятнейших орбит по всей совокупности наблюдений*). Сюда же можно отнести и все вопросы вычисления эфемерид, а также сравнения эфемерид с наблюдениями.

Особый раздел задач, стоящих перед теоретической астрономией, представляет изучение вращательного движения космических тел, рассматриваемых как тела твердые. Возмущения вращательных движений изучаются методами, близкими к употребляемым для изучения возмущений поступательных движений.

*) Полезно отметить, что иногда совокупность методов для решения только что указанных вопросов называют «теоретической астрономией», относя к «небесной механике» задачу n тел и методы изучения возмущенного движения.

Нецелесообразность такого наименования (возникшего по случайным причинам) совершенно очевидна: нельзя применять столь широкое понятие как «теоретическая астрономия» (содержание которого вполне установилось еще в конце XVIII в.) к весьма, в сущности, узкому и скорее техническому вопросу вычисления орбит.

Весьма важной задачей теоретической астрономии является изучение вращательного движения Земли, поскольку это движение дает нам, с одной стороны, ту пространственную координатную систему, которая лежит в основе всей астрономии и всей геодезии, а с другой стороны, — служит для измерения времени. Если математическая сторона теории вращения Земли не представляет в настоящее время (в пределах нужной нам точности) особых затруднений, то фиксация фундаментальных постоянных, дающих числовое выражение этой теории, представляет сложную задачу, к которой необходимо время от времени возвращаться по мере накопления наблюдательного материала. Эта задача, связанная с нахождением постоянных, характеризующих движение планет и Луны, является частью одной из основных задач теоретической астрономии — установления системы фундаментальных астрономических постоянных, т. е. таких, из которых все остальные могут уже быть получены теоретическим путем.

Теория фигур планет, возникшая в теоретической астрономии, продолжает быть тесно с ней связанной, хотя дальнейшее развитие учения о строении Земли стало теперь предметом геофизики, а учение о строении других планет отошло в область астрофизики.