

§ 4. Закон тяготения Эйнштейна

Открыв закон тяготения, носящий его имя, Ньютон пытался выяснить природу тяготения, т. е. установить связь между ним и другими явлениями. Но не будучи в состоянии это сделать, он формулировал свою точку зрения следующим образом:

«До сих пор я изъяснял небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения, но я не указывал причины самого тяготения. Эта сила происходит от некоторой причины, проникающей до центра Солнца и планет без уменьшения своей способности и действующей не пропорционально величине поверхности частиц, на которые она действует (что обыкновенно имеет место для механических причин), но пропорционально количеству твердого вещества; действие этой причины распространяется повсюду, на огромное расстояние, убывая пропорционально квадрату расстояний.

Тяготение к Солнцу составляется из тяготения к отдельным частицам его и при удалении от Солнца убывает в точности пропорционально квадратам расстояний даже до орбиты Сатурна, что следует из неподвижности афелиев планет, и даже до крайних афелиев комет, если только эти афелии неподвижны.

Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотезу же я не измышляю. Все же, что не выводится из явлений, должно называться гипотезой, а гипотезам метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам — не место в экспериментальной философии. В такой философии предложения выводятся из явлений и обобщаются помощью индукции. Так были изучены непроницаемость, подвижность и напор тел, законы движения и тяготение. Довольно того, что тяготение реально существует, действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря».

Таким образом, Ньютон, не найдя в известных ему явлениях точки опоры для выяснения природы тяготения и не желая заниматься измышлением произвольных беспочвенных построений (которые он называл гипотезами), отделил этот вопрос от первоочередной задачи изучения следствий закона тяготения и оставил его будущим поколениям.

Только через 200 лет развитие физики дало, наконец, недостававшую Ньютону точку опоры. Ею явился знаменитый опыт Майкельсона, открывший постоянство скорости света во всех инерциальных системах отсчета. Это вскрыло недопустимость существовавших ранее представлений об абсолютном пространстве и абсолютном времени и привело к созданию теории относительности. Альберт Эйнштейн (1879—1955), завершивший в 1916 г. построение этой теории, показал, что тяготение является

выражением той неоднородности пространства и времени, которая производится присутствием материи. Согласно установленному Эйнштейном закону тяготения движение материальной частицы в поле тяготения является движением по инерции, которое происходит по геодезическим линиям четырехмерного «пространства — времени», имеющего в этом случае (т. е. в присутствии тех масс, благодаря которым возникает поле тяготения) риманову метрику.

Теория тяготения, созданная Эйнштейном, сразу устранила принципиальные трудности, связанные с мгновенной передачей взаимодействия и с действием на расстоянии, которое как бы подразумевалось законом Ньютона. Оказалось, что эти представления были следствием того, что закон Ньютона является лишь приближенным выражением того, что имеет место в действительности. Тяготение есть, согласно теории Эйнштейна, результат тех изменений, которые вносит присутствие материи в свойства пространства — времени, и передается со скоростью света в пустоте, т. е. с той наибольшей скоростью, с которой возможна передача взаимодействия.

Если отношения скоростей всех движущихся тел к скорости света стремятся к нулю, то в пределе релятивистская механика переходит в обычную ньютонову механику, а закон тяготения Эйнштейна в закон Ньютона. В достаточно слабых гравитационных полях, т. е. таких, в которых можно пренебречь кривизной четырехмерного пространства — времени, теория Эйнштейна приводит к таким же результатам, как и классическая механика, дополненная ньютоновым законом тяготения. Только в тех случаях, когда скорости движения тел настолько велики, что нельзя пренебрегать квадратами их отношений к скорости света, получается заметное отличие.

Из всех тел солнечной системы Меркурий движется наиболее быстро: его скорость меняется от 39 до 59 км/сек. Вот почему Эйнштейн, в поисках экспериментального подтверждения своей теории, вспомнил об аномалии в движении Меркурия.

Исследование движений, вытекающих из закона тяготения Эйнштейна, представляет весьма сложную задачу, изучение которой только еще начинается*). Но в самом простом случае, а именно в случае движения точечной массы в статическом центрально-симметричном гравитационном поле, эту задачу удалось решить до конца. Оказалось, что в этом случае движение происходит — при тех начальных условиях и с той точностью, которые соответствуют астрономическим задачам, — по эллипсу, большая ось которого равномерно вращается в сторону движения по

*) Астрономические следствия из закона тяготения Эйнштейна с большою обстоятельностью изучены Шази [1928 и 1930]. Физическая сторона этих вопросов глубоко освещена В. А. Фоком [1955].

орбите. За время каждого оборота точечной массы большая ось поворачивается на угол, даваемый формулой

$$24\pi^3 a^2 / c^2 P^2 (1 - e^2),$$

где a , e , P — большая полуось, эксцентриситет и период обращения эллиптической орбиты, а через c обозначена, как обычно, скорость света. Во всем остальном законы движения сколько-нибудь заметно не меняются.

Эта формула позволяет легко рассчитать, что вековые перемещения перигелиев Меркурия, Венеры, Земли и Марса, вызываемые заменой ньютонова закона тяготения законом Эйнштейна, равны соответственно

$$43'',03; 8'',62; 3'',83; 1'',35.$$

Произведения этих величин на эксцентриситеты соответствующих планет, дающие то, что реально наблюдается, равны

$$8'',847; 0'',059; 0'',064; 0'',126.$$

Работы, указанные в конце предыдущего параграфа, дали для этих величин, т. е. для невязок между наблюдениями и теорией, основанной на ньютоновом законе:

$$8'',863 \pm 0'',093; 0'',057 \pm 0'',033; 0'',084 \pm 0'',020; 0'',100 \pm 0'',025.$$

Таким образом, замена ньютонова закона тяготения законом Эйнштейна привела к полному согласию между теорией и наблюдениями. Для внешних планет эта замена станет ощутимой лишь через много столетий. Очень нескоро эта замена заметно скажется в движении Луны, а тем более, других спутников. В движении некоторых малых планет, обладающих исключительно большими эксцентриситетами, такая замена станет ощутимой уже в ближайшие десятилетия.

Создание теории относительности является завершающим звеном той огромной работы, которая была выполнена человечеством для установления единства мира. Естественно возникшее на заре сознательной жизни человечества представление о разделении мира на две качественно совершенно различные части, «небо» и «землю», держалось очень долго. Оформленное древнегреческими учеными и философами, оно было твердо усвоено средневековой наукой. Первый и очень серьезный удар этому представлению был нанесен Коперником, сделавшим Землю одной из планет. Но не только Коперник, но и его великие продолжатели — Галилей и Кеплер, считали силы, управляющие движением небесных тел, принципиально отличным от всего земного. Первая попытка дать единую картину мира, слишком поспешно сделанная Декартом в его теории вихрей, была неудачной. Только Ньютону, поставившему науку на пра-

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.