
ГЛАВА 3

ГРАВИТАЦИЯ И ДАЛЬНОДЕЙСТВИЕ

Исследование гравитации было теснейшим образом связано с возникновением механики. Эта проблема с глубокой древности занимает человеческий ум. Если оставить в стороне атомистику, то, пожалуй, можно сказать, что ни с одним вопросом физики не было связано столько спекуляций, сколько с вопросом о причинах силы тяжести. Тем, что мы действительно об этом знаем, мы обязаны людям, которые ограничивались вопросом: как она действует? Дальше всех здесь пошел Галилео Галилей (1564—1642), который просто допустил, что вблизи земной поверхности тела получают постоянное ускорение, направленное вертикально вниз. Этого было достаточно для вывода его законов падения. Сюда относится также знаменитое ньютоновское «*Hypoteses non fingo*» в конце его «*Principia*». Но оба придавали величайшее значение тому, что все тела испытывают одинаковое ускорение, и проверяли это не только в случае свободного падения, но также тогда, когда устанавливали независимость периода маятника от природы колеблющегося тела. Единственно мыслимой противоположностью этого является представление о том, что сила тяжести пропорциональна «тяжелой массе», отличной от инертной массы. Равенство обеих масс является одной из замечательных черт теории тяготения.

Мысль о том, что тяготение не ограничивается частью пространства вблизи Земли, но представляет собой всеобщее свойство материи и действует также ме-

жду небесными телами, довольно стара. Можно указать на наличие предчувствия этого, например, у Николая Коперника (1473—1543) и Р. Гука. Большим уважением пользовалось в течение XVII столетия — и даже у некоторых людей до конца XVIII столетия — учение великого философа Рене Декарта (1596—1650), который не признавал пустого пространства, считая его «*contradictio in adjecto*», представлял себе межзвездное пространство наполненным жидкостью, находящейся в вихревом движении и увлекающей за собой плавающие в ней планеты. Ньютон посвятил значительную часть своих «Принципов» гидродинамическому опровержению этой теории.

Когда мы спрашиваем о происхождении закона тяготения, названного по имени Ньютона (сила тяготения пропорциональна массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними), то мы можем назвать следующую плеяду ученых: Тихо Браге (1546—1601), которому мы обязаны точными, последовательно проведенными сериями наблюдений над положениями планет; Иоганн Кеплер (1571—1630), который вывел отсюда три названных по его имени закона (эллиптический характер траекторий, равенство площадей, описанных в равные времена радиусом-вектором, и «квадраты времен обращения относятся как кубы больших осей»); он уже, разумеется, как и другие его современники, предполагал уменьшение силы с квадратом расстояния. Наконец, Исаак Ньютон (1643—1727), который доказал этот закон, вычислив на его основе ускорение силы тяжести на земной поверхности и ускорение, которое испытывает Луна; кроме того, он математически вывел законы Кеплера из закона тяготения и своего общего закона движения. Закон по праву носит его имя. Никто из его предшественников не мог математически вывести законы Кеплера и исследовать небольшие отклонения, вызываемые взаимными возмущениями планет, объяснить аномалии движения Луны и сделать понятной их связь с приливами и отливами. Впечатление, которое произвели исследования

Ньютона на современников, было огромным. И это вполне понятно. Ведь раньше положения планет считались непосредственным изъявлением божьей воли, а это открытие одним ударом устранило столь почитаемую прежде астрологию. Ничто так не укрепило уважения к молодой физике, как вычисление Ньютоном путей планет. С тех пор естествознание стало огромной духовной силой, которую никакая другая сила не могла безнаказанно игнорировать.

Закон Ньютона означал полный переворот также в понимании системы неподвижных звезд. От Аристотеля до Кеплера включительно, за исключением, правда, Джордано Бруно, который был слишком фантазером, чтобы можно было его считать ученым (см. гл. 6), звезды считались прикрепленными к сфере, в центре которой находилось Солнце. За этим тонким сферическим слоем не предполагалось ничего, даже пространства. Еще Кеплер отказался рассматривать Солнце как одну из многих неподвижных звезд. Теперь стало ясно, что система звезд вообще не является чем-то статичным, а образует динамическую совокупность, скрепленную притяжением, но подчиненную внутреннему движению, а следовательно, изменению. Тотчас же выступили вопросы о различных расстояниях между звездами, о собственном движении звезд на небесном своде. Эти вопросы смогли быть решены успешно лишь в более позднее время, но все же учение о безграничном мировом пространстве со множеством планетных систем и взгляд на Солнце как на звезду были необходимыми следствиями открытия Ньютона.

Закон тяготения содержит множитель пропорциональности — постоянную гравитации; она выражает силу, с которой две массы в 1 г притягиваются на расстоянии в 1 см. Астрономия смогла теперь сравнить между собой массы различных небесных тел, но она не смогла определить эту константу. Необходимый для

этого опыт провел в 1798 г. Генри Кавендиш (1731—1810) при помощи крутильных весов, уже использованных в 1785 г. Кулоном (гл. 5) для электрических измерений. Гравитационная постоянная имеет значение $6,7 \cdot 10^{-8} \text{ г}^{-1} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{сек}^{-2}$. Масса Земли, вычисленная отсюда, равна $6 \cdot 10^{27} \text{ г}$.

Попутно упомянем о том, что в 1777 г. в добавление к закону тяготения Жозеф Луи Лагранж (1736—1813) ввел понятие потенциала, градиент которого дает силу тяготения; Лаплас (1749—1827) в 1782 г. вывел для этой функции координат дифференциальное уравнение в частных производных: $\Delta \varphi = 0$, названное его именем. Симеон Пуассон (1781—1840) в 1812 г. изменил его, чтобы применить к изучению строения материи. Это были важные предпосылки для теории потенциала в электростатике (гл. 5). Дифференциальное уравнение Лапласа—Пуассона является обобщенным выражением ньютоновского закона тяготения. Оно следует из него и ведет к нему опять обратно, когда применяется к материальным точкам (или к однородным шарам).

Закон тяготения обосновал теоретическую астрономию. Ее важнейшая задача — вычисление возмущений траекторий планет вследствие взаимного притяжения планет — еще до сих пор занимает внимание астрономов и математиков. Механика отчасти развила здесь свои математические методы. Вехой на ее пути была уже упомянутая «Небесная механика» Лапласа (появившаяся в 1800 г.). Насколько хорошо при этом оправдывается закон тяготения, поразительнее всего показали открытия самых крайних планет, Нептуна и Плутона, местонахождения которых были вычислены до наблюдения самих планет по возмущениям в траекториях более близких внутренних планет. Нептун был обнаружен в 1846 г. Йоганном Годфридом Галле (1812—1910) по вычислениям Юрбена Жозефа Леверье

(1811—1877), Плутон — в 1930 г. по вычислениям Персиваля Лоуэлла (1855—1916) в названной по его имени обсерватории во Флагстаффе (Аризона). Теперь оставалось только объяснить одно незначительное расхождение. Вследствие отклонений путей планет от эллиптической формы медленно вращается в плоскости орбиты перигелий, точка кратчайшего расстояния от Солнца. Теория возмущений объясняет это в количественном согласии с опытом для всех планет, за исключением самой близкой к Солнцу — Меркурия; здесь оставалось необъясненной разница в 42 угловые секунды в столетие. Общая теория относительности Эйнштейна (1913 г. и позже) объяснила это в 1916 г. как следствие искривления пространства, которое связано, согласно этой теории, со всяким полем тяготения, однако заметно только вблизи тела такой значительной массы, как Солнце. Исходя из величины массы Солнца, гравитационной постоянной и расстояния между Меркурием и Солнцем, неизбежно получали именно 42 секунды. Это является одной из трех эмпирических опор этой гениальной, но еще не вполне подтвержденной теории (см. гл. 6).

Закон тяготения Ньютона, буквально понятый, утверждает непосредственное дальноедействие. Последнее возбуждало во все времена, а также и в эпоху Ньютона сомнения, и он сам отнюдь не вполне отказывался от них. Вышеупомянутые спекуляции о причинах тяготения возникали многократно в связи со стремлением разыскать передаточный механизм для тяготения. Несмотря на это, идея дальногодействия под огромным влиянием ньютоновского открытия распространилась на другие области физики. Вероятно, сыграло роль также то, что из нее можно вывести простую и изящную теорию потенциала. В то время как механика деформируемых тел имела дело исключительно с близкодействием, первые теории электриче-

ских и магнитных явлений были теориями дальнего действия. Перелом впервые произошел во второй половине XIX столетия под влиянием Михаила Фарадея (1791—1867) и Максвелла (1831—1879) и глубоко проник в физику после открытия в 1887 г. Генрихом Герцем (1857—1894) электрических волн, распространяющихся со скоростью света. Вместе с тем потеряло основу дальнее действие в гравитации, особенно после того, как специальная теория относительности указала, что скорость света является верхней границей для скоростей распространения всех физических действий. Согласно общей теории относительности (1913 г. и позже) распространение тяготения происходит также со скоростью света. Эта теория утверждает существование гравитационных волн, но возбуждение их с интенсивностью, достаточной для наблюдения, невозможно из-за непреодоленных экспериментальных трудностей. Закон тяготения Ньютона остается в силе как приближение.

Забавной иллюстрацией подавляющего влияния ньютоновских идей является тот факт, что наука XVIII столетия относила метеориты к области басен, хотя в седой древности были многочисленные свидетельства их существования. Хаотическое падение камней и железных масс «с неба» казалось эпигонам Ньютона несовместимым с обнаруженным учителем космическим порядком. Лишь в 1794 г. Эрнст Фридрих Хладни (1756—1827) как ученый юрист критически сопоставил множество высказываний свидетелей и на основании полного согласия независимо друг от друга данных показаний пришел к выводу о реальности наблюдаемых явлений. Когда затем в 1803 г. поблизости от Лэгли (департамент Орн, Франция) упало большое количество метеоритов и Жан Батист Био (1774—1862) смог их исследовать, Парижская

Академия была вынуждена отказаться от своей предвзятой точки зрения. Но существовало еще гораздо больше вещей между небом и Землей, чем позволяла себе мечтать школьная мудрость *).

*) «Гамлет прав в этом своем изречении; но существует также в школьной мудрости много вещей, следа которых нельзя найти между небом и Землей». Этот сарказм приписывают остроумному геттингенскому физику Георгу Христофору Лихтенбергу (1742—1799).

