

исчезают, если система x, y, z движется поступательно и без ускорений, т. е. если она также является инерциальной.

Понятие инерциальной системы отсчета имеет в механике фундаментальное значение, поскольку с ним связана формулировка основных законов движения. Между тем в теории Ньютона это понятие является физически бессодержательным, так как остается неизвестным, чем именно обусловлена привилегированность инерциальной системы координат. Существование инерциальных координат приходится постулировать, а вопрос об инерциальных свойствах конкретной системы отсчета можно решить лишь экспериментально.

Самым крупным недостатком небесной механики Ньютона является принцип дальнодействия (*actio in distans*), допускающий возможность непосредственного действия данного тела на сколь угодно большом расстоянии без посредства промежуточной среды.

Идея дальнодействия, почти безраздельно господствовавшая до середины XIX столетия, была изгнана из учения об электромагнитных явлениях после работ Фарадея, исследований Максвелла и опытов Герца, но в небесной механике она сохраняет свое значение до наших дней.

Определяя напряженность поля гравитации соотношением $\mathbf{f} = -\operatorname{grad} \varphi$, мы вычисляем потенциал по формуле

$$\varphi = \gamma \iiint \frac{\rho dt}{r},$$

учитывая распределение масс в пространстве в данный момент времени. Изменение этого распределения вызывает мгновенное изменение потенциала и напряженности поля во всех точках пространства. Таким образом, гравитации приписывается бесконечно большая скорость распространения. Это значит, в частности, что небесная механика допускает принципиальную возможность мгновенной передачи сигналов, вступая тем самым в конфликт с современной физикой. В следующей главе будут рассмотрены некоторые попытки отказа от принципа дальнодействия и замены его гипотезой конечной скорости гравитации. Здесь же мы только заметим, что буквальное понимание закона тяготения Ньютона с современной точки зрения недопустимо, поскольку оно с неизбежностью приводит к признанию гравитационного дальнодействия и, таким образом, сообщает небесной механике мистический характер.

8. Попытки механического объяснения тяготения. Развитие теории тяготения сопровождалось многочисленными попытками механического объяснения гравитационных взаимодействий. Перечисляя здесь некоторые из этих попыток, мы не будем входить в их количественное обсуждение, поскольку в настоящее время они

не имеют серьезного научного значения и могут представить только исторический интерес.

Гидростатическая модель тяготения, идея которой принадлежит, по-видимому, Ньютону, основана на предположении о том, что плотность и давление мирового эфира, окружающего материальное тело, убывает с удалением от его поверхности. Вследствие этого данное тело испытывает со стороны другого тела меньшее давление эфира, чем с противоположной стороны. Это и является причиной гравитационных взаимодействий: тяготение вызвано разностью давлений в эфире и выражает стремление тел перемещаться от более плотных к менее плотным частям мировой среды.

Следует иметь в виду, что Ньютон относился к эфирной гипотезе не только с большой осторожностью, но часто даже с явным скептицизмом и нигде не излагал ее в форме положительного утверждения. Упоминая эту гипотезу в вопросах, завершающих его «Оптику», Ньюトン здесь же высказывал сомнения в самом существовании мирового эфира. В Общем поучении, которым заканчивается третья книга «Начал», Ньютон после перечисления основных свойств тяготения решительно отказывается обсуждать вопрос о его природе и формулирует свое отношение к нему с помощью знаменитой фразы: «Причину этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю».

Современник Ньютона Р. Гук развивал эфирную гипотезу тяготения в другом варианте. Согласно его представлению, колебания атомов материального тела передаются эфиру, распространяются в последнем и, достигая других тел, вызывают их притяжение к данному телу. Это представление является прообразом пульсационной гипотезы, предложенной в конце XIX столетия Бьеркнесом [8].

На основании законов гидродинамики было показано, что пульсирующие шары, помещенные в непрерывную среду на большом по сравнению с их радиусами расстоянии, обнаруживают видимое притяжение, если их пульсации совпадают по частоте и фазе. Сила взаимного притяжения прямо пропорциональна интенсивности пульсаций и обратно пропорциональна квадрату расстояния между центрами шаров. Использование этого вывода для механического объяснения гравитации вызывает непреодолимые трудности даже с чисто формальной точки зрения. Как известно, упругие волны возникают и распространяются только в сжимаемой жидкости. Поэтому, если принять гидродинамическую аналогию, то придется признать, что, согласно пульсационной гипотезе Бьеркнесса, мировая среда, передающая гравитацию, должна быть сжимаемой. Однако рассмотрение вопроса о взаимодействии пульсирующих шаров с учетом сжимаемости окружающей их жидкости показывает,

что знак этого взаимодействия будет противоположным, если расстояние между шарами превосходит половину длины волны в среде [9]. Таким образом, с точки зрения пульсационной гипотезы, на достаточно большом расстоянии гравитационное притяжение должно переходить в отталкивание.

Из всех гипотез о механизме гравитационных взаимодействий, высказывавшихся в XVIII—XIX ст., наибольшее распространение получила гипотеза Лесажа [10], согласно которой тяготение обусловлено ударами частиц мирового эфира. Предполагается, что

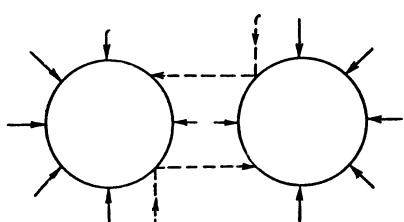


Рис. 6.

мировая среда, окружающая материальные тела, имеет корпускулярную структуру и состоит из мельчайших частиц, движущихся с огромными скоростями во всех направлениях. Для простоты скорости считались одинаковыми, а их направления в пространстве — равновероятными. При столкновении с атомами частицы эфира сообщают им

импульсы соответствующих направлений и часть кинетической энергии. Лесаж допускал, что эфирные корпускулы абсолютно неупруги; другие исследователи, развивавшие эту гипотезу, приписывали им в той или другой степени упругие свойства.

Одиночное тело, достаточно удаленное от других тел, испытывает со всех сторон одинаковое действие эфирных корпускул, и потому получаемый им результирующий импульс равен нулю. Если же данное тело находится вблизи другого тела, то в распределении сталкивающихся с ним частиц эфира имеется асимметрия, которая создает отличный от нуля результирующий импульс, — появляется сила, зависящая от взаимного расположения тел. При вычислении результирующего импульса необходимо учитывать *экранирование*, вызывающее видимое притяжение тел, и действие *отраженных* частиц эфира, которые создают отталкивательную силу.

На рис. 6 условно показаны оба процесса. Пунктирными линиями изображены пути отраженных частиц, действие которых противоположно эффекту экранирования.

Лесаж учитывал только экранирование, поскольку корпускулы эфира он считал абсолютно неупругими.

При соответствующих допущениях можно показать, что в случае двух шаров возникающая вследствие экранирования сила притяжения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния между центрами шаров. Пропорциональность массам обеспечивается пристостью, которая позволяет корпускулам эфира сво-

бодно проникать в тела и независимо взаимодействовать с каждым атомом (сила притяжения пропорциональна числу атомов). Отталкивание, создаваемое отраженными корпускулами, уменьшает притяжение, не изменяя его зависимости от расстояния и от числа атомов.

Гипотеза Лесажа обсуждалась многими авторами, стремившимися подкрепить ее теми или иными дополнительными предположениями или развить математически. Однако и эта гипотеза связана с непреодолимыми трудностями, из которых перечислим здесь наиболее простые и очевидные.

Если удары частиц эфира не являются абсолютно упругими, то их кинетическая энергия должна передаваться сталкивающимся с ними телам. О судьбе этой энергии в гипотезе Лесажа ничего не говорится. Естественно было бы предположить, что столкновения с эфирными корпускулами вызывают нагревание гравитирующих тел. В частности, можно ожидать, что непрерывному нагреванию подвергаются также одинокие тела, не испытывающие притяжения со стороны других тел.

Согласно гипотезе Лесажа, сила взаимодействия между двумя телами должна зависеть от наличия третьего тела, расположенного между первыми. Например, притяжение Земли Солнцем должно изменяться в моменты, когда между ними располагается Луна. Однако, как известно, наблюдения не обнаруживают заметных возмущений гелиоцентрического движения Земли в такие моменты.

Выше указывалось, что одинокое тело остается в равновесии, поскольку корпускулы мировой среды оказывают на него одинаковое действие со всех сторон. Высказывая это утверждение, мы молчаливо предполагали, что по отношению к мировой среде данное тело поконится. Если же оно обладает достаточно большой скоростью, то симметрия в распределении скоростей частиц мировой среды нарушается, и тело получает от этих частиц импульс, противоположный направлению движения. Иными словами, быстро движущееся тело должно испытывать сопротивление со стороны мировой среды.

Остроумное возражение против гипотезы Лесажа высказал Дюбуа-Реймон. Представим себе тело вращения, имеющее форму усеченного конуса. Сечением этого тела плоскостью, проведенной через ось конуса, является трапеция $ABCD$ (рис. 7). Пусть в вершине конуса находится пробная частица O , испытывающая притяжение со стороны конуса. При заданной плотности вещества сила, действующая на частицу, зависит от высоты H ; при возрастании

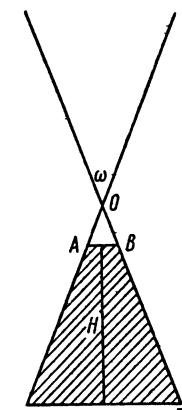


Рис. 7.

Н она может оказаться сколь угодно большой. По Лесажу сила притяжения определяется разностью двух импульсов, один из которых обусловлен ударами частиц, движущихся внутри телесного угла ω сверху вниз, а другой — частицами, движущимися вверх со стороны тела $ABCD$. Верхний предел результирующей силы определяется первым импульсом и соответствует случаю, когда все корпушки мировой среды, движущиеся внутри конуса снизу вверх по направлению к пробной частице O , поглощаются веществом. Таким образом, согласно гипотезе Лесажа, предельное значение силы, действующей на пробную частицу, является конечным и обусловлено свойствами мировой среды, тогда как, по закону тяготения Ньютона, эта сила не имеет конечного предела и неограниченно возрастает вместе с высотой H .

Не входя в более подробное обсуждение предлагавшихся в разное время механических моделей гравитации, еще раз подчеркнем, что, с современной точки зрения, эти модели могут представить только исторический интерес. Можно, по-видимому, не сомневаться в том, что в рамках механики Ньютона невозможно получить удовлетворительного объяснения природы гравитационных взаимодействий. Существенный успех в развитии проблемы гравитации возможен только на основе принципиально нового подхода, выходящего за пределы ньютоновской механики. Как теперь хорошо известно, этот успех впервые был достигнут в связи с разработкой специальной и особенно общей теории относительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Ньютон. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях и цветах света. Перевод С. И. Вавилова. Госиздат, М.—Л., 1927.
2. И. Ньютон. Математические начала натуральной философии. Перевод А. Крылова, собрание трудов акад. А. Н. Крылова, 7. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1936.
3. С. И. Вавилов. Исаак Ньютон. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1961.
4. F. W. Bessel.—Abhandlung. Akad. Wissenschaft. Berlin, 1830.
5. R. Eötvös.—Mathem. und Naturwiss. Bericht. aus Ungarn, 8, 66, 1890.
- R. Eötvös, D. Pekar, E. Fekete.—Abhandlung. der XVI allgemeinen Konferenz der internat. Erdmessung, 1903.
- R. Eötvös, D. Pekar, E. Fekete.—Annal. Phys., 68, 11, 1922.
6. R. H. Dick.—American Scientist, 205 (6), 84, 1961.
7. М. Ф. Субботин. Курс небесной механики, 2. ОНТИ, М.—Л., 1937.
8. V. Bjerknes. Vorlesungen über hydrodynamische Fernkräfte nach C. A. Bjerknes Theorie. Leipzig, 1900.
9. A. Kortn. Eine Theorie der Gravitation und der elektrischen Erscheinungen auf Grundlage der Hydrodynamik. Berlin, 1898.
10. G. L. Lesage.—Nouv. Mémoires de l'Academie Royale des Sciences. Berlin, 1782.
11. P. Prevost. Deux tractes de Physique mécanique. Paris, 1818.