

существования пространственных координат по отношению к временной координате. Каждая точка моллюска рассматривается как пространственная точка, и каждая покоящаяся относительно моллюска материальная точка считается просто покоящейся, пока сам моллюск рассматривается как тело отсчета. Общий принцип относительности требует, чтобы все эти моллюски могли быть использованы в качестве тел отсчета с одинаковым успехом при формулировании общих законов природы; эти законы совершенно не должны зависеть от выбора моллюска. Именно в далеко идущих ограничениях, которые налагаются на законы природы, и лежит истинная сила общего принципа относительности.

§ 29. Решение проблемы гравитации на основе общего принципа относительности

Если читатель внимательно следил за всеми предыдущими рассуждениями, то он без труда поймет и методы, ведущие к решению проблемы гравитации.

Мы исходим из рассмотрения галилеевой области, т. е. области, в которой не существует поле тяготения относительно галилеева тела отсчета K .

Поведение масштабов и часов так же, как и поведение «изолированных» материальных точек относительно K , известно из специальной теории относительности; последние движутся прямолинейно и равномерно.

Теперь отнесем эту область к любой системе гауссовых координат или к «моллюску» как телу отсчета K' . Тогда по отношению к K' существует гравитационное поле G (особого вида). Поведение измерительных линеек, часов, а также свободно движущихся материальных точек относительно K' мы изучаем просто путем математических расчетов. Это поведение мы интерпретируем как поведение измерительных линеек, часов и материальных точек под влиянием гравитационного поля G . Затем мы вводим следующую гипотезу: гравитационное поле воздействует на измерительные линейки, часы и свободно движущиеся материальные точки согласно тем же законам и в том случае, когда существующее гравитационное поле не может быть выведено путем простого преобразования координат из галилеева специального случая.

Следующим шагом является исследование пространственно-временного поведения гравитационного поля G , которое было выведено из

галилеева специального случая только путем преобразования координат. Это поведение формулируется в виде закона, который справедлив всегда, независимо от выбора тела отсчета (моллюска).

Этот закон еще не является *общим* законом гравитационного поля, поскольку изученное поле представляет собой поле специального вида. Для нахождения общего закона гравитационного поля необходимо обобщить полученный закон, что и может быть сделано без какого-либо произвола при учете следующих требований:

а) искомое обобщение должно также удовлетворять общему принципу относительности;

б) если в рассматриваемой области имеется материя, то создаваемое ею гравитационное поле определяется только ее инертной массой, и, следовательно, согласно § 15, только ее энергией;

в) гравитационное поле и материя вместе должны удовлетворять закону сохранения энергии (и импульса).

Наконец, общий принцип относительности дает возможность объяснить влияние гравитационного поля на все те процессы, законы которых в отсутствие поля известны, т. е. уже включены в рамки специальной теории относительности. При этом пользуются в принципе тем же методом, который был изложен выше применительно к масштабам, часам и свободно движущимся материальным точкам.

Выведенная таким образом из общего принципа относительности теория гравитации не только отличается своим изяществом, не только устраняет присущие классической механике недостатки, отмеченные в § 21, не только интерпретирует эмпирический закон равенства инертной и тяжелой масс. Но она также объяснила уже два существенно различных результата астрономических наблюдений, которые не могла объяснить классическая механика. Мы уже упоминали о втором из этих результатов, а именно: об искривлении световых лучей в поле тяготения Солнца; первый же касается орбиты планеты Меркурия.

Если уравнения общей теории относительности применить к случаю, когда гравитационные поля можно считать слабыми и когда все массы движутся относительно системы координат со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света, то как первое приближение получается прежде всего теория Ньютона. Последняя получается здесь без особых предположений, тогда как Ньютон вынужден был ввести в качестве гипотезы силу притяжения, обратно пропорциональную квадрату расстояния между двумя взаимодействующими материаль-

ными точками. При повышении точности вычислений выявляются отклонения от теории Ньютона, которые, правда, настолько незначительны, что почти все ускользают от наблюдения.

Одно из этих отклонений мы должны здесь рассмотреть специально. Согласно теории Ньютона, планета движется вокруг Солнца по эллипсу, который вечно сохраняет свое положение относительно неподвижных звезд, если можно было бы отвлечься от воздействия других планет на рассматриваемую планету и от собственного движения «неподвижных» звезд. После введения поправок в наблюдаемое движение планет на оба эти эффекта орбита планеты по отношению к неподвижным звездам должна представлять собою неизменный эллипс, если теория Ньютона верна в точности. Для всех планет, за исключением ближайшей к Солнцу планеты Меркурий, был подтвержден этот вывод теории, который может быть проверен с высокой точностью, какая только достижима при современных методах наблюдения. Со времен Лавуазье о планете Меркурий известно, что эллипс ее орбиты с учетом указанных выше поправок не остается в неизменном положении относительно неподвижных звезд, но вращается, хотя и чрезвычайно медленно, в плоскости орбиты и в направлении орбитального движения планеты. Это вращение эллипса орбиты составляет 43 угловых секунды в столетие, причем это значение установлено с точностью до нескольких секунд. В классической механике это явление удается объяснить лишь ценой введения маловероятных гипотез, придуманных только для данного случая.

Согласно общей теории относительности получается, что эллипс орбиты каждой планеты должен вращаться вокруг Солнца вышеуказанным образом и что это вращение для всех планет, кроме Меркурия, слишком мало, чтобы его можно было заметить при современной точности наблюдений; для Меркурия же вращение должно составлять именно 43 угловых секунды в столетие, в точном согласии с наблюдаемым.

Кроме этого, из теории до сих пор можно было вывести еще два следствия, доступных проверке наблюдением: искривление световых лучей гравитационным полем Солнца¹ и смещение спектральных линий света, посылаемого к нам большими звездами, по сравнению со спектральными линиями света, испускаемого теми же самыми атома-

¹ Впервые наблюдалось А. Эддингтоном и другими в 1919 г. (см. Приложение III).

ми на Земле. Я не сомневаюсь в том, что и это последнее следствие теории скоро найдет свое подтверждение.

О мире как целом

§ 30. Космологические затруднения теории Ньютона

Кроме изложенного в § 21 затруднения, классическая небесная механика встречается со вторым принципиальным затруднением, которое, насколько мне известно, было впервые подробно рассмотрено астрономом Зеелигером. Если подумать над вопросом, как следует представлять себе мир в целом, то прежде всего напрашивается следующий ответ. Мир бесконечен в пространстве (и времени). Всюду существуют звезды, так что хотя плотность материи в отдельных случаях весьма различна, в среднем она всюду одинакова. Иными словами: как бы далеко ни проникать в мировое пространство, всюду мы найдем рассеянные скопления неподвижных звезд примерно одного типа и одинаковой плотности.

Это представление несовместимо с теорией Ньютона. Больше того, последняя требует, чтобы мир имел нечто вроде центра, где плотность числа звезд была бы максимальной и чтобы эта плотность убывала с расстоянием от центра так, что на бесконечности мир был бы совсем пустым. Звездный мир должен представлять собой конечный остров в бесконечном океане пространства¹.

Это представление не очень удовлетворительно само по себе. Оно неудовлетворительно еще и потому, что приводит к следствию, что свет, излучаемый звездами, а также отдельные звезды звездной системы должны непрерывно удаляться в бесконечность, никогда не возвращаясь и не вступая во взаимодействие с другими объектами природы.

¹Обоснование. Согласно теории Ньютона, на некоторой массе m оканчивается определенное число «силовых линий», которые приходят из бесконечности, причем это число пропорционально массе m . Если плотность ρ_0 массы в мире в среднем постоянна, то в шаре объемом V заключается в среднем масса $\rho_0 V$. Таким образом, число силовых линий, входящих внутрь шара через его поверхность F , пропорционально величине $\rho_0 V$. Через единицу поверхности шара проходят силовые линии, число которых пропорционально величине $\rho_0 (V/F)$, или $\rho_0 R$. Следовательно, напряженность поля на поверхности возрастала бы до бесконечности с увеличением радиуса шара R , что невозможно.