

Космология и гравитационная постоянная

Лекция была прочитана в Школе физики при университете Нового Южного Уэльса (Кенсингтон, Сидней, Австралия) 27 августа 1975 года

Изучение различных физических постоянных позволяет сделать вывод о том, что гравитационная постоянная изменяется. В природе мы встречаемся с разными постоянными: скоростью света, зарядом электрона, массой электрона и т. д. Большинство из них размерные (значения таких констант зависят от используемой системы единиц). Значение постоянной в метрической системе единиц отличается от ее значения в Британской системе. Подобные числовые значения постоянных не представляют никакого интереса, однако из различных физических постоянных можно составить безразмерные величины, которые будут одинаковыми во всех системах единиц. Только об этих безразмерных величинах мы и будем говорить сегодня.

Одна из них — величина, обратная знаменитой постоянной тонкой структуры

$$\hbar c/e^2. \quad (1)$$

Она является фундаментальной константой в атомной физике и приблизительно равна 137. Другая безразмерная постоянная определяется отношением массы протона к массе электрона

$$m_p/m_e \quad (2)$$

и составляет около 1840. Удовлетворительного объяснения этих чисел пока нет, но физики надеются, что в конце концов оно будет найдено. Тогда приведенные постоянные вычислялись бы с помощью основных математических уравнений; вполне вероятно, что подобные постоянные составлены из простых величин типа 4π .

Существует еще одна безразмерная постоянная, на которую мне бы хотелось обратить ваше внимание. Она получается следующим образом. Рассмотрим атом водорода, который состоит из электрона и протона. Сила их электрического взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. То же самое относится к гравитационному взаимодействию. Можно составить отношение электростатической силы к гравитационной. Оно будет безразмерной величиной, не зависящей от расстояния. Таким образом, мы придем к выражению

$$e^2/Gm_e m_p, \quad (3)$$

где e — заряд электрона (или протона), G — гравитационная постоянная.

Если вычислить значение (3), то получится гигантское число, равное приблизительно $2 \cdot 10^{39}$. Как и другие безразмерные физические постоянные, это число должно быть объяснено. Можно ли хотя бы надеяться придумать теорию, которая объяснит такое огромное число? Его нельзя разумно построить, например, из 4π и других простых чисел, которыми оперирует математика! Единственная возможность объяснить это число — связать его с возрастом Вселенной.

Говоря о возрасте Вселенной, я буду обращаться к общепринятой модели большого взрыва, согласно которой в начальной стадии все вещество Вселенной было сконцентрировано в очень маленьком объеме, может быть, даже в математической точке. Потом произошел гигантский взрыв, в результате которого было выброшено множество сгустков вещества, движущихся с разными скоростями, причем те, которые двигались быстрее, должны были продвинуться дальше. В результате должна была возникнуть ситуация, которую мы сейчас наблюдаем: все космические объекты от нас удаляются, причем более далекие объекты удаляются быстрее, чем те, которые находятся ближе. Скорость удаления пропорциональна пройденному расстоянию.

Можно принять другую модель, предложенную Леметром. Согласно этой модели Вселенная начиналась с одного-единственного атома — с атома, который заключал в себе огромную массу — всю массу Вселенной. Этот единственный очень массивный атом был чрезвычайно радиоактивным. Он мгновенно распался на части, которые претерпели дальнейший распад, распады продолжались, и радиоактивность, которую мы наблюдаем сейчас, представляет собой просто остатки начальной радиоактивности. Предложенная схема довольно красива, но для того, что я собираюсь сейчас вам рассказать, детали модели несущественны.

Итак, мы заговорили о возрасте Вселенной. Понять что это такое можно с помощью постоянной Хаббла, которая связывает скорость удаления космических объектов с расстоянием до них. Хаббл обнаружил, что скорость удаления пропорциональна расстоянию. Он смог точно проверить этот закон лишь для ближайших объектов, но закон настолько хорошо выполнялся, что его стали считать справедливым и на больших расстояниях. По отношению скорости удаления к расстоянию можно определить, когда в прошлом все вещество было первоначально сконцентрировано в очень маленьком объеме. Так мы получим возраст Вселенной. Подобная оценка содержит много неточностей, которые связаны с неточным измерением расстояний до очень далеких объектов. Последняя оценка дает примерно

$$t = 18 \cdot 10^9 \text{ лет.}$$

Это число выражено в годах, т. е. в весьма искусственных единицах измерения времени. Можно пользоваться другой единицей времени, из атомной физики. Примем в качестве единицы, например, то время, за которое свет проходит сквозь классический

электрон:

$$e^2/m_e c^3.$$

Выразив t в этих единицах, получим

$$t = 7 \cdot 10^{39} e^2/m_e c^3,$$

что по порядку совпадает с предыдущим большим числом ($2 \cdot 10^{39}$). «Это совершенно удивительное совпадение», — скажете вы. Но я так не считаю. Я думаю, должно существовать какое-то фундаментальное объяснение того, что значения двух больших величин так близки. Причину этого мы не знаем, нам пока не удастся ее разгадать, но когда появится больше сведений об атомной физике и космологии, разгадка будет найдена.

Предположим, что между двумя этими числами существует какая-то связь, которую установит теория будущего. Величина $t = 7 \cdot 10^{39}$ не является постоянной, она увеличивается со временем. Следовательно, если числа взаимосвязаны, то величина $e^2/Gm_e m_p = 2 \cdot 10^{39}$ тоже должна расти со временем, и ее отношение к t должно оставаться неизменным.

Полученный результат можно представить в более удобном виде, если воспользоваться системой единиц (будем называть их атомными единицами), в которой заряд электрона e , его масса m_e и масса протона m_p постоянны. Поскольку величина $e^2/Gm_e m_p$ изменяется со временем, само G в этих единицах тоже должно меняться со временем и

$$e^2/Gm_e m_p \sim t. \quad (4)$$

Следовательно, в атомных единицах G обратно пропорционально времени:

$$G \sim t^{-1}. \quad (5)$$

Я буду все время говорить, что G меняется как t^{-1} . Под этим следует понимать, что «величина G , выраженная в атомных единицах, изменяется как t^{-1} ». Поскольку G представляет собой размерную величину, ее закон изменения со временем зависит от используемой системы единиц. Чтобы выполнялся закон $G \sim t^{-1}$, необходимо использовать атомные единицы.

Тогда напрашивается вывод, что безразмерные физические величины, выраженные очень большими числами, связаны друг с другом. Этот принцип я называю гипотезой больших чисел. Согласно гипотезе больших чисел, все очень большие безразмерные физические величины соотносятся друг с другом так же, как величины $t = 7 \cdot 10^{39}$ и $e^2/Gm_e m_p$.

Имеется еще одна очень большая безразмерная величина, которую нам нужно рассмотреть. Я имею в виду полную массу Вселенной, выраженную, скажем, в протонных массах. Мы получим, если угодно, полное число протонов и нейтронов во Вселенной. Разумеется, Вселенная может оказаться бесконечной, и тогда это число тоже будет бесконечным. В этом случае мы не имели бы права его

обсуждать, но зато могли бы вместо него пользоваться другим числом. Достаточно рассмотреть часть Вселенной, настолько близкую к нам, чтобы скорость ее удаления была, скажем, меньше половины скорости света. Тогда мы будем иметь дело лишь с некоторым участком бесконечной Вселенной, где скорости удаления меньше половины скорости света. Какова полная масса такого участка Вселенной? Это число тоже будет очень большим, и им можно заменить полную массу Вселенной, чтобы в случае бесконечной Вселенной иметь дело с конечными величинами.

Можно попытаться оценить полную массу Вселенной, воспользовавшись массой наблюдаемых звездных объектов и учтя существование ненаблюдаемого вещества. Нам известно, насколько важен этот учет; ведь может оказаться, что довольно много ненаблюдаемого вещества существует в виде межгалактического газа, или черных дыр, или в каком-нибудь другом виде. Вполне вероятно все же, что невидимого вещества не намного больше, чем видимого. При таком предположении полная масса в единицах протонных масс

$$m_{\text{полн}}/m_p \sim 10^{78}. \quad (6)$$

Сюда надо еще включить какой-то множитель, учитывающий существование невидимого вещества. Поэтому мы получаем число, которое приблизительно равно t^2 (в атомных единицах).

Согласно гипотезе больших чисел, все очень большие безразмерные величины должны быть связаны друг с другом. Значит, следует ожидать, что будет справедливо соотношение

$$m_{\text{полн}}/m_p \sim 10^{78} \sim t^2. \quad (7)$$

На основании предыдущих рассуждений можно заключить, что полное число протонов во Вселенной увеличивается пропорционально t^2 . Это означает, что во Вселенной должно рождаться вещество, причем рождаться непрерывно.

Существует несколько космологических теорий, в основе которых лежит предположение о непрерывном рождении вещества. Такая теория была очень подробно разработана Хойлом и другими авторами. Но они имели в виду совсем не то непрерывное рождение, которое предлагаю я. Теория непрерывного рождения возникла в противовес гипотезе большого взрыва и сейчас не пользуется признанием.

Теория непрерывного рождения, о которой я буду вам рассказывать, существенно отличается от теории непрерывного рождения, предложенной Хойлом, так как Хойл предполагал, что Вселенная находится в однородном и изотропном состоянии, а непрерывное рождение призвано восполнять вещество, которое уходит за пределы зоны видимости вследствие расширения. В теории Хойла величина G была постоянной, в моей же теории G изменяется со временем, и в этом заключается отличие от теории Хойла.

Я предлагаю теорию, в которой непрерывное рождение вещества сочетается с изменением G . И то, и другое предположения вытекают из гипотезы больших чисел.

Непрерывное рождение вещества следует рассматривать как некий процесс, совершенно не зависящий от всех известных физических процессов. В обычных физических процессах, которые изучают в лаборатории, вещество сохраняется, а в данном случае мы имеем дело с очевидным несохранением вещества, или, если угодно, с каким-то новым типом радиоактивного процесса, в котором вещество не сохраняется и частицы рождаются там, где их раньше не было. Этот эффект очень мал, потому что заметное число частиц возникает лишь за очень большой промежуток времени, сравнимый с возрастом Вселенной.

Если новое вещество рождается непрерывно, то встает вопрос: «Где оно рождается?» Можно сделать два разумных предположения. Одно из них заключается в том, что новое вещество непрерывно рождается во всем пространстве, т. е. в основном в межгалактическом пространстве. Назовем это предположением об аддитивном рождении. Можно предположить также, что новое вещество рождается рядом с уже существующим веществом. По строению атомов образовавшееся вещество не отличается от уже существующего вещества. Подобная картина означала бы, что все атомы просто размножаются. Назовем это предположением о мультипликативном рождении. Итак, существуют два возможных способа рождения нового вещества. Какой из них предпочесть, я не знаю. Нужно проанализировать обе возможности и посмотреть, что из них вытекает.

Развивая теорию с переменной величиной G , мы обязательно столкнемся с необходимостью видоизменить уравнения механики. Существует эйнштейновская теория гравитации. Это прекрасная теория; ее достижения велики, и хотелось бы их сохранить. Однако в соответствии с теорией Эйнштейна величина G должна быть постоянной: в эйнштейновской теории G не может изменяться. Если пользоваться естественными единицами, то $G=1$.

Как же допустить изменение G , сохранив при этом выводы теории Эйнштейна? Мне кажется, что существует только один способ. Предположим, что уравнения теории Эйнштейна правильны, но они справедливы для величин, которые выражены в единицах, отличных от атомных единиц.

Рассмотрим расстояние и время, которые в теории Эйнштейна представляются в виде интервала dS между двумя соседними точками. Надо рассмотреть два выражения для dS : одно из них связано с уравнением Эйнштейна, второй же интервал dS измеряется в атомных единицах. Назовем первый dS_E , а второй dS_A . Будем считать, что в обеих системах единиц скорость света равна единице, так что и пространственный, и временной интервалы изменяются при переходе от dS_E к dS_A .

В последнее время многие занимались теориями гравитации, допускающими изменение G , но исходили при этом из примитивной теории, в которой инертная и гравитационная массы отличаются друг от друга. Тогда G представляет собой коэффициент, связывающий эти две массы между собой. Его легко заставить меняться, варьируя

отношение гравитационной массы к инертной. Подобная теория очень примитивна, а кроме того, совершенно неудовлетворительна, потому что она полностью противоречит теории Эйнштейна, согласно которой гравитационная и инертная массы должны быть одинаковыми. Следуя примитивной теории, вы растеряете все достижения теории Эйнштейна и не сумеете объяснить движение перигелия Меркурия. В научной литературе вы обнаружите статьи, авторы которых проводят вычисления в рамках примитивной теории, поэтому я вам о ней рассказал. Подобные вычисления я считаю неприемлемыми, потому что они содержат отказ от достижений теории Эйнштейна.

Вместо примитивной теории я предложил другую, в которой интервал dS измеряется в двух разных системах единиц и которую можно назвать гипотезой Милна.

Милн первым выдвинул идею о том, что существуют две важные для физиков шкалы времени, и занялся поисками связи между ними. Перед войной он написал на эту тему несколько книг. Рассуждения Милна совершенно не связаны с моими размышлениями по поводу больших чисел. У него были разные аргументы философского характера, которые мне кажутся не особенно убедительными. Однако его основной идеей было существование в физике двух важных единиц времени. Именно этой идеей я собираюсь сейчас воспользоваться, чтобы сохранить все достижения теории Эйнштейна для случая переменной G . Прежде всего выведем соотношение, связывающее между собой две введенных нами величины dS_E и dS_A . Обратимся к простому примеру: рассмотрим, скажем, Землю, движущуюся вокруг Солнца по (приблизительно) круговой орбите. Тогда по теории Ньютона имеем уравнение

$$GM = v^2 r,$$

где M — масса Солнца, v и r — орбитальная скорость и орбитальный радиус Земли. Элементарная теория Ньютона достаточно точна для наших расчетов. Какая бы система единиц ни использовалась, написанное уравнение должно быть справедливым.

Единицы, которыми я буду пользоваться, имеют следующий смысл: dS_E будет измеряться в единицах, в которых справедливы уравнения Эйнштейна, т. е. в «механических единицах»; dS_A , напротив, будет измеряться в единицах, которые дают атомные часы или расстояния между плоскостями кристаллических решеток, т. е. в атомных единицах.

Уравнение $GM = v^2 r$ должно быть справедливым и в атомных единицах. В механических единицах мы имеем дело с простой задачей механики. Каждая из величин G , M , v и r постоянна, и Земля равномерно с постоянной скоростью движется по орбите, радиус которой остается неизменным.

А как это выглядит в атомных единицах? Имеем

$$G \sim t^{-1}.$$

В предположении аддитивного рождения масса Солнца M (измерен-

ная в атомных единицах, например в массах протона) является постоянной величиной:

$$M \sim 1 \quad (\text{аддитивное рождение}).$$

В предположении мультипликативного рождения (опять же в атомных единицах)

$$M \sim t^2 \quad (\text{мультипликативное рождение}),$$

потому что каждая частица вещества размножается по закону t^2 .

Следовательно, в атомных единицах M будет изменяться со временем по-разному, в зависимости от того, какое мы сделаем предположение относительно способа рождения новой материи.

А что можно сказать о v ? Это безразмерная величина, ее можно записать в виде некоторой доли скорости света. Она должна быть одинаковой и в механических, и в атомных единицах: в обоих случаях v составляет одну и ту же часть скорости света. Следовательно, v не меняется:

$$v \sim 1.$$

Сравнив далее правую и левую части уравнения $GM = v^2 r$, получим

$$r \sim t^{-1} \quad (\text{аддитивное рождение})$$

и

$$r \sim t \quad (\text{мультипликативное рождение}).$$

Таким образом, в предположении аддитивного рождения радиус земной орбиты уменьшается — это означает, что Земля приближается к Солнцу. Те же рассуждения применимы ко всем расстояниям в Солнечной системе. По этой схеме Солнечная система должна сжиматься. Мы имеем дело с космологическим эффектом, который накладывается на все другие физически объяснимые эффекты. В точности так же, приняв гипотезу мультипликативного рождения, мы получим, что Земля удаляется от Солнца, а все расстояния в Солнечной системе увеличиваются. Это опять космологический эффект, не зависящий ни от каких известных физических процессов.

Итак, существуют эффекты, измерив которые мы надеемся выяснить, хороша или плоха наша теория. Необходимо лишь точно измерить время по атомным часам. Очень важно, чтобы в опытах использовались именно атомные часы, потому что все формулы справедливы лишь для величин, измеренных в атомных единицах. Проверку теории можно было бы начать с изучения Луны. Надо сказать, что движение Луны исследуют вот уже 20 лет с помощью атомных часов. Недавно было точно измерено расстояние до Луны в атомных единицах. Высадившиеся на Луну астронавты установили на ее поверхности лазерные рефлекторы. На эти рефлекторы направляют сейчас испускаемое лазером излучение и исследуют отраженный свет. С помощью атомных часов измеряют время, в течение которого свет проходит расстояние до Луны и обратно, и таким образом определяют расстояние до Луны в атомных единицах.

Применив нашу теорию к движению Луны вокруг Земли, мы получим, что в предположении аддитивного рождения Луна должна приближаться к Земле со скоростью, которую несложно вычислить. Она составляет около 2 см/год. Если верна гипотеза мультипликативного рождения, то Луна должна с той же скоростью удаляться от Земли. Следовательно, полученное число представляет собой также погрешность измерения расстояния до Луны. Совсем недавно расстояние до Луны начали измерять с очень высокой точностью. По самым последним сведениям около года назад погрешность определения расстояния до Луны составила 6 см, и авторы продолжали улучшать этот результат. Сейчас надо лишь немного подождать, пока появятся следующие эксперименты.

Может показаться, что мы владеем каким-то методом, позволяющим проверить теорию. Однако на самом деле все не так просто. Движение Луны подвержено сильному влиянию приливов и отливов. Это влияние велико по сравнению с теми эффектами, которые мы измеряем, и, насколько мне известно, его нельзя вычислить с достаточной точностью. В прошлом году я разговаривал с Джимом Вильямсом, работающим в лаборатории реактивного движения. Он весьма пессимистично оценил возможность вычисления эффектов, которые связаны с приливами и отливами, с точностью, достаточной для проверки теории. Не знаю, насколько можно продвинуться в подобных расчетах, но думаю, что они не безнадежны. Я надеюсь, что мне удастся поговорить здесь с людьми, которые занимаются исследованием расстояния до Луны, и выслушать их мнение.

До сих пор мы говорили только об одном способе проверки теории. Можно воспользоваться и другим методом, в котором рассматривается не расстояние до Луны, а скорость ее движения по орбите. Обозначим n угловую скорость движения Луны. Тогда (относительное) угловое ускорение имеет вид

$$\dot{n}/n.$$

Сейчас умеют очень точно рассчитывать угловую скорость Луны, измеряя длительность покрытий звезд Луной. На протяжении последних 20 лет это явление наблюдают, используя атомные часы. Сначала наблюдения были визуальными. Теперь эксперименты полностью автоматизированы, и из них можно получить значение ускорения \dot{n}/n .

Этой задачей занималось несколько человек. Насколько мне известно, большую часть результатов получил Ван Фландерн из Вашингтонской военно-морской исследовательской обсерватории.

Проблема состоит в том, чтобы измерить ускорение Луны в атомных единицах $(\dot{n}/n)_{\text{ат}}$ и в единицах стандартного времени, которым пользуются астрономы. Оно называется эфемеридным, определяется по вращению Земли вокруг Солнца или по движению планет и не обязательно совпадает с атомным временем. Если нужна большая точность, то единицы эфемеридного времени можно получить из уравнений движения Ньютона или из уравнений Эйнштейна.

Выпишем разность значений \dot{n}/n в тех и в других единицах:

$$\left(\frac{\dot{n}}{n}\right)_{\text{ар}} - \left(\frac{\dot{n}}{n}\right)_{\text{эф}} = \left(\frac{\dot{n}}{n}\right)_{\text{разн}}.$$

Ван Фландерн экспериментально получил, что

$$\left(\frac{\dot{n}}{n}\right)_{\text{разн}} = (-16 \pm 10) \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}.$$

В своих ранних вычислениях Ван Фландерн исходил из примитивной теории гравитации, о которой я вам рассказывал. В этой теории гравитационная и инертная массы рассматриваются как две независимые величины и выполняется равенство

$$\frac{\dot{G}}{G} = \frac{1}{2} \left(\frac{\dot{n}}{n}\right)_{\text{разн}}. \quad (8)$$

Расчеты Ван Фландерна дают

$$\dot{G}/G = (-8 \pm 5) \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}. \quad (9)$$

Ван Фландерн был очень доволен своим результатом, потому что теория, в которой $G \sim t^{-1}$, приводит к соотношению

$$\dot{G}/G = -1/t.$$

т. е.

$$\dot{G}/G \approx -6 \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1},$$

что отвечает величине, обратной возрасту Вселенной, последние оценки которого таковы:

$$t = 18 \cdot 10^9 \text{ лет}.$$

Мне, однако, этот результат кажется неудовлетворительным, потому что он получен с помощью примитивной теории.

Заменив ее теорией на основе гипотезы Милна, получим

$$\dot{G}/G = -(\dot{n}/n)_{\text{разн}} \quad (\text{аддитивное рождение})$$

и

$$\dot{G}/G = +(\dot{n}/n)_{\text{разн}} \quad (\text{мультипликативное рождение}).$$

В совокупности с данными Ван Фландерна эти соотношения дают

$$\dot{G}/G = (16 \pm 10) \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1} \quad (\text{аддитивное рождение})$$

и

$$\dot{G}/G = (-16 \pm 10) \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1} \quad (\text{мультипликативное рождение}).$$

Отношение \dot{G}/G должна быть отрицательным, что вытекает из равенства $\dot{G}/G = -1/t$. Итак, мы видим, что наблюдения Ван Фландерна говорят в пользу гипотезы мультипликативного рождения и, скорее, даже завышают эффект: -16 вместо -6 .

Ван Фландерн все время проверяет и перепроверяет свои рас-

четы, и сейчас его результат несколько изменился. По моим последним сведениям полученный им коэффициент значительно меньше 8 (в оценке $(-8 \pm 5) \cdot 10^{-11}$ лет $^{-1}$), т. е. приближается к значению, которого требует теория.

Может быть, стоит пояснить, почему эти вычисления оказываются настолько сложными. Дело в том, что необходимо очень точно рассчитать движение Луны, а оно имеет непростой характер. Луна является лишь одной из составных частей Солнечной системы, и ее движение непрерывно возмущают остальные планеты. Может показаться, что из-за удаленности других планет их воздействие не должно быть сильным. Однако при более тщательном изучении выясняется, что эффект, который вначале казался пренебрежимо малым, на самом деле вовсе не мал. Его нужно учитывать, и он может повлиять на результаты расчетов. Влияние других планет на движение Луны постоянно исследуется, и из-за этого Ван Фландерну приходится все время уточнять свои расчеты.

Мне кажется, следует немного подождать и посмотреть, какими будут окончательные результаты исследований. Во всяком случае, вы видите, что проверка теории возможна при современном уровне развития эксперимента. Пока нельзя сделать вывод, что результаты подтверждают теорию; говорить об этом еще слишком рано. Можно, однако, надеяться, что через несколько лет теория либо надежно подтвердится, либо будет опровергнута.

В расчетах, основанных на вращении Луны, конечно, учитываются приливные эффекты, но при вычислении относительного ускорения эти эффекты компенсируются, так как они присутствуют в наблюдениях как с атомным, так и с эфемеридным временем.

Можно наблюдать не только Луну, но и другие планеты. Чем дальше от нас планета, тем меньше для нее возмущения, производимые приливами и отливами. Расстояния до других планет можно очень точно измерить с помощью радара. Этими экспериментами занимается И. И. Шапиро. Метод состоит в том, что волны от радара посылаются на какую-нибудь планету и принимаются отраженные волны. Это, конечно, очень слабые волны, но для их приема используется большой передающий и принимающий радар в Аресибо (Пуэрто-Рико), обладающий достаточно высокой чувствительностью. Радарный приемник в Аресибо недавно перестроили (затратив на это, я думаю, около 6 млн. долл.), и его чувствительность значительно улучшилась. В течение последних нескольких месяцев этот перестроенный радар использовали для наблюдений Венеры, но о результатах я пока ничего не слышал. Венера сейчас находится на очень близком расстоянии от Земли, поэтому экспериментаторы надеются провести достаточно точные наблюдения и даже зарегистрировать сухие русла рек, если, конечно, они там есть. Из этих опытов можно будет чрезвычайно точно вычислить расстояние до Венеры. Продолжая наблюдения еще несколько лет, мы сумеем определить, меняется ли это расстояние в соответствии с теорией. Аналогичные наблюдения можно осуществить и для других планет.

Мне кажется, что эксперименты Шапиро перспективнее, чем эксперименты Ван Фландерна, потому что при наблюдении планеты не возникают трудности, связанные с приливными эффектами. Шапиро уже несколько лет работает в этой области и весьма неохотно сообщает результаты, если они еще недостаточно надежно установлены. Окольными путями я узнал, что данные, полученные Шапиро, по-видимому, подтверждают гипотезу аддитивного рождения вещества и поэтому противоречат данным Ван Фландерна. Я, однако, думаю, что следует год или два подождать, пока Шапиро проведет новые наблюдения на улучшенной установке в Аресибо. Тогда появится еще один результат экспериментальной проверки теории.

Итак, в астрономии сейчас существует три способа проверить теорию, в которой меняется гравитационная постоянная: по расстоянию от Земли до Луны, по движению Луны и по расстоянию между планетами и Землей. Я считаю, что все станет ясно через несколько лет.

Если проверка подтвердит теорию, то придется довольно серьезно пересмотреть наши представления о космологии. В настоящее время космологи отдают предпочтение модели, согласно которой происходит непрерывное расширение Вселенной, но оно постепенно замедляется и в конце концов перейдет в сжатие.

Подобное представление о Вселенной не согласуется с теми идеями, о которых я вам рассказывал, потому что оно связано с очень большой постоянной, а именно, с максимальным размером Вселенной, который не изменялся бы при изменении возраста Вселенной. Максимальный размер Вселенной не имеет, конечно, ничего общего с возрастом Вселенной. Следовательно, мы получили бы большое число, противоречащее гипотезе больших чисел.

По моим представлениям Вселенная не может достичь своего максимального размера: она всегда будет расширяться. А постоянная G будет соответственно становиться все слабее и слабее.

На этом я закончу и, может быть, еще останется время, чтобы ответить на один-два простых вопроса.