

## Вечный, безупречно работающий, но неизвестный механизм гравитации

М.А. Иванов

Много ли узнали люди за те пару миллионов лет, что они живут на Земле? И многого ли они добились? Оставшись безымянными для нас, наши далекие предки изучили многие растения и вывели такие их сорта, которых не было в природе. Они сумели выжить среди диких зверей и приручили многих животных. Освоили способы добычи многих минералов, хотя только недавно люди разложили их на элементы и поняли, чем определяются свойства этих элементов. Создали множество языков для описания мира и своих отношений, представлений и верований. Создали системы морали, множество религий, ремесла, искусства и науки. Изучили строение нашей планеты, заглянули в ее прошлое на миллиарды лет назад, по крупницам воссоздали историю развития жизни на ней. Наблюдали видимые созвездия, движения Солнца и планет, но только недавно начали всматриваться в далекий космос и со рвением изучать его. А еще воевали, воевали и воевали между собой ...

Многое, что мы имеем сегодня, появилось совсем недавно. Великий поэт А.С. Пушкин еще писал при свечах и ездил на лошадях. Уравнения классической электродинамики Максвелл сформулировал менее 150 лет тому назад. Когда появились мобильные телефоны и как они менялись, легко проследить по голливудским фильмам. В ближний космос люди выбрались на памяти старшего поколения.

Все наши достижения основаны на разрешении загадок, загадываемых природой. В этой статье я хочу рассказать об одной из них, еще не разгаданной, хотя к тому было приложено много усилий, – о поисках механизма тяготения. Нет человека, не знакомого с тяготением, и нет силы более привычной, более надежной, чем притяжение нашей планеты. Великий физик Исаак Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения, такой простой, что о нем рассказывают школьникам. И он сам, и его современники пытались понять, какая причина вызывает это тяготение, каков его механизм? Один из механизмов, предложенный Фатио, современником Ньютона, и много позже модифицированный Лесажем (теперь известен как *гипотеза Лесажа*), одно время казался Ньютону наиболее подходящим, но потом он отказался от него, буркнув свое знаменитое “гипотез не измышляю”.

Суть гипотезы Лесажа такова. Все пространство заполнено быстрыми частицами (сегодня их назвали бы гравитонами), налетающими на тела, погруженные в море этих частиц. Частицы при неупругих столкновениях с телом поглощаются. В результате для любой пары тел возникает сила взаимного притяжения,

обусловленная экранированием потока частиц другим телом. Здесь интересно то, что сами тела не являются источниками частиц – предполагается, что частицы приходят извне.

Похожие гипотезы возникали еще не раз у разных людей. Среди критиков гипотезы Лесажа были Лаплас, Максвелл, Пуанкаре. С позиций сегодняшнего дня легко увидеть ее вопиющий недостаток: если отдельные атомы испытывают гравитационное притяжение, то их массы не могли бы оставаться постоянными, будь эта гипотеза верна.

После появления в 1916 г. новой теории гравитации – общей теории относительности (ОТО) Альберта Эйнштейна – простая гипотеза Лесажа отошла на задний план. Теория Эйнштейна сформулирована на геометрическом языке, и этот язык не так прост, чтобы рассказывать об этой теории школьникам. Но важнейшими следствиями ее являются приближенная справедливость закона всемирного тяготения и несколько новых эффектов, малых для тел солнечной системы. Все эти эффекты наблюдаются, и теория занимает свое законное место среди общепризнанных физических теорий.

Неприятность состоит в том, что до сих пор она не согласована с другим столпом современной физики – квантовой механикой. Если не закрывать глаза на очевидное, то эта несогласованность напоминает противоречие. Например, в квантовой механике микрочастица не может двигаться по определенной траектории, а в ОТО все частицы должны двигаться по определенным траекториям – геодезическим линиям. Проблему такого согласования понимают как необходимость квантования ОТО, т.е. построения квантовой теории гравитационного поля. Много пота пролили теоретики, пытаясь решить эту задачу, и многие верят, что еще чуть-чуть – и она будет решена, но честные оптимисты признаются, что путь до успеха все еще никем не мерянный. Вернемся к нашей теме – а каков механизм гравитации с точки зрения ОТО? По аналогии с квантовой электродинамикой предполагают, что все тела являются источниками гравитонов, и обмен этими гравитонами и вызывает притяжение. Но это только аналогия, в самой ОТО никакой механизм никак не прописан – здесь повторяется ситуация с законом всемирного тяготения Ньютона. ОТО допускает полевую формулировку, вот в ней и появляются поля, которые можно связать с гравитонами. Очень важная деталь: из размерных соображений вычисляют значение так называемой планковской энергии, огромной по масштабам микромира (она на 22 порядка больше энергии покоя протона), при которой как будто должны проявляться квантовые свойства гравитации.

Гравитоны естественным образом появляются в теориях суперструн, на которые возлагаются большие надежды как на возможную основу будущей единой теории всех известных

взаимодействий. Неприятность пока только в том, что в природе не обнаружен ни один суперпартнер обычных частиц, чего требует лежащая в основе таких теорий суперсимметрия (например, наряду с электроном, имеющим спин  $\frac{1}{2}$ , должна существовать соответствующая ему частица с целым спином).

Чтобы рассказать о механизме гравитации, предложенном мной, придется напомнить факты, некоторые из которых на первый взгляд не связаны с тяготением. В 1998 г. группа физиков из НАСА сообщила об аномальном ускорении зондов “Пионер 10/11” и двух других - за двадцать пять лет наблюдений за ними (обратите внимание на длительность наблюдений!) было установлено, что зонды испытывают не предсказываемое ОТО постоянное торможение<sup>1</sup>. Особенно странным кажется то, что величина этого малого аномального ускорения имеет порядок  $Hc$ , где  $H$  – постоянная Хаббла,  $c$  – скорость света в вакууме. Постоянная, названная в честь Эдвина Хаббла, характеризует совсем другой хорошо известный эффект – красное смещение спектров удаленных галактик: по установленному Хабблом закону, чем дальше от наблюдателя галактика, тем больше ее красное смещение  $z$ . Под красным смещением  $z$  понимают отношение изменения частоты света к его регистрируемой частоте. Стандартное объяснение красного смещения: это - результат эффекта Доплера, т.е. все галактики должны разбегаться с огромными скоростями. На этой основе построена теория расширяющейся Вселенной, логическим следствием которой является гипотеза Большого Взрыва. Сомнения в том, что квантовая гравитация – это высокоэнергетическое явление, может поддержать наблюдение в 2002 г. международной группой физиков Валерия Несвижевского дискретных уровней энергии нейтронов в гравитационном поле Земли<sup>2</sup>. В этом эксперименте наблюдались энергии уровней на 40 порядков меньшие, чем планковская энергия. Но такими же по порядку должны быть и разности между ними, а значит и энергии гравитонов, если бы они испускались или поглощались.

Если допустить, что пространство заполнено похожим на космическое микроволновое излучение фоном гравитонов, то прохождение фотонов через это море гравитонов при *упругих столкновениях* с ними должно сопровождаться двумя эффектами<sup>3</sup>. Лобовые столкновения с гравитонами будут вести к уменьшению энергии фотонов, зависящему от пройденного фотоном расстояния. Нелобовые столкновения будут отклонять часть фотонов от направления источник-наблюдатель, что приведет к ослаблению потока фотонов. Первый эффект можно интерпретировать как

---

<sup>1</sup> Anderson, J.D. et al. *Phys. Rev. Lett.* 81 (1998) 2858.

<sup>2</sup> Nesvizhevsky, V.V. et al. *Nature* 415 (2002) 297; УФН, 173 (2003) 102.

<sup>3</sup> Ivanov, M.A. *Gen. Rel. Grav.* 33 (2001) 479, Erratum: 35 (2003) 939, [astro-ph/0005084 v2]; [http://ivanovma.narod.ru/nova04.pdf].

красное смещение, тогда оказывается, что нужно представлять себе гравитоны как сверхсильно взаимодействующие частицы. Космическое микроволновое излучение и фон гравитонов должны находиться в состоянии термодинамического равновесия и иметь одинаковую температуру. Тогда средняя энергия гравитонов фона будет порядка одного миеэлектронвольта. Оба эффекта в совокупности должны приводить к специфическому ослаблению светового потока как функции красного смещения. Астрофизики вводят удобную для измерений величину – дальность по светимости. Если измеряется световой поток от удаленного источника с известной светимостью, то дальность в плоском и пустом пространстве, на которой был бы получен такой же световой поток, и называют *дальностью по светимости*. Если вычислить дальность по светимости в море гравитонов (см. сплошную кривую на Рис. 1) и сравнить ее с результатами наблюдений за сверхновыми звездами группы Риса и др.<sup>4</sup> (точки на Рис. 1), то для  $z < 0,5$  наблюдения хорошо согласуются с такой моделью, а при больших красных смещениях заметно нарастающее различие наблюдений и предсказаний модели.

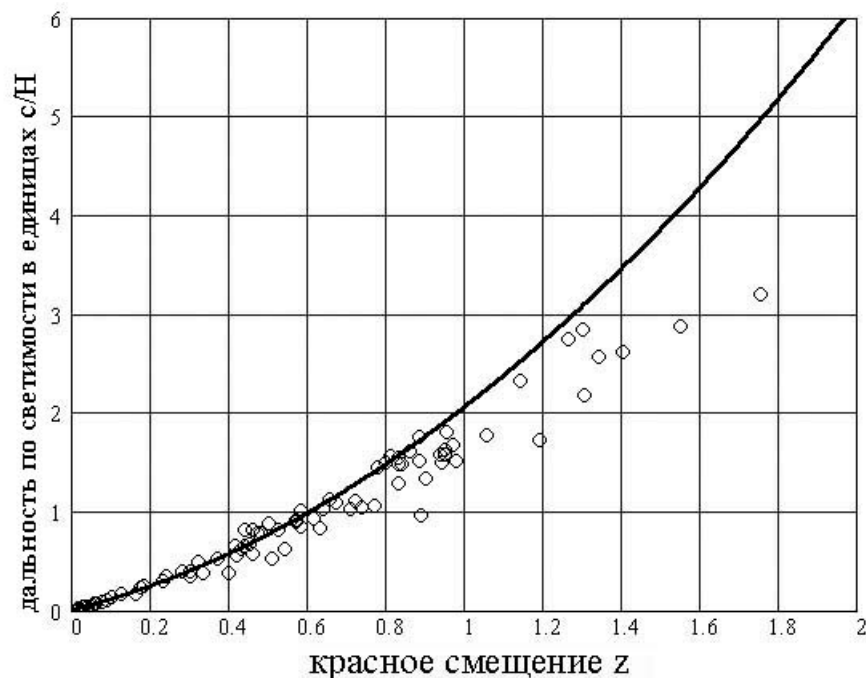


Рис. 1. Дальность по светимости как функция красного смещения: предсказания модели автора (сплошная кривая) и результаты наблюдений за сверхновыми Риса и др. (точки).

Это различие может быть связано с неучтенным эффектом ненулевых средних потерь энергии фотона в одном столкновении. Нужно сказать, что Вселенная в этой модели считается нерасширяющейся.

<sup>4</sup> Riess, A.G. et al. [astro-ph/0402512] (to appear in *ApJ*, 2004).

В рамках модели расширяющейся Вселенной Рису и соавторам пришлось для объяснения наблюдаемых закономерностей ввести предположение об ускоренном расширении в настоящую эпоху и замедленном – в прошлом. В свою очередь, ускоренное расширение связывают с наличием во Вселенной некой *темной энергии*, расталкивающей галактики. Ни в одном лабораторном эксперименте такой вид энергии не проявляется, так что это предположение – вызов современной фундаментальной физике.

В море одиночных гравитонов любая пара тел будет испытывать взаимное притяжение за счет экранирования части налетающих на нее гравитонов. Но если гравитоны упруго рассеиваются при столкновениях, то возникают силы отталкивания, почти точно компенсирующие притяжение (это не так только для черных дыр). Чтобы обеспечить ньютоновское притяжение, нужно допустить, что часть гравитонов образует пары, подобно образованию куперовских пар электронов в сверхпроводниках. Если при столкновении с телом пары разрушаются, то притяжение за счет экранирования пар в два раза превышает отталкивание за счет давления рассеянных одиночных гравитонов пар. В модели теоретически можно вычислить как постоянную Хаббла, так и постоянную Ньютона, и установить связь между ними. Важно также, что в этой модели массивные тела при малых скоростях должны испытывать торможение, равное  $Hc$ , подобное наблюдавшемуся для зондов НАСА. Вычисленное значение постоянной Хаббла примерно на 30% превышает оценку этой постоянной по астрофизическим наблюдениям, но оно хорошо согласуется с величиной аномального ускорения космических зондов НАСА. Остается открытым вопрос – почему такое ускорение не имеет места для планет?

Если такой механизм реализуется в природе, то обращение времени невозможно, так как оно сопровождалось бы заменой притяжения тел на их отталкивание. Кроме того, существование черных дыр нарушало бы эквивалентность массы инертной массе гравитационной – сила притяжения за счет одиночных гравитонов не компенсировалась бы для них отталкиванием за счет рассеянных гравитонов, так как черные дыры не должны ничего излучать. И еще этот механизм способен объяснить наблюдаемую асимметрию между материей и антиматерией – первая очевидным образом преобладает в доступной наблюдениям части Вселенной.

При описанном механизме гравитация на квантовом уровне оказывается низкоэнергетическим явлением. Сверхсильный характер взаимодействия гравитонов с любыми частицами может приводить к тому, что другие известные взаимодействия будут следствиями квантовой гравитации – но пока это только предположение. Гипотезу о существовании такого фона гравитонов можно проверить в лазерном эксперименте на Земле, хотя такая проверка потребует

изрядных затрат. Интересно то, что при этом косвенно проверялась бы и гипотеза Большого Взрыва – если фотоны лазерного пучка не испытывают красного смещения в вакуумированной трубе, то гипотеза Большого Взрыва верна, а вот если испытывают, то ее шансы выжить уменьшились бы до нуля.

В заключение хочу сказать, что и запуск космических зондов дальнего космоса и слежение за ними с помощью сети больших радиотелескопов в течение 25 лет, и сбор данных по сверхновым с помощью больших наземных телескопов и Хаббловского космического телескопа были очень дорогостоящими проектами, а эксперименты группы Несвижевского со сверххолодными нейтронами – одни из точнейших в современной физике. Только открытость науки позволяет каждому из ученых опираться на эти важные результаты в своих рассуждениях. Хочется надеяться, что эти затраты сторицей окупятся, открыв людям новые дороги к познанию взаимных превращений излучения и вещества и добавляя новые штрихи к картине мироздания.