

Приложение 5. Модели гравитации.

В Приложении 5 приведен обзор различных моделей гравитации. Даются общие сведения о гравитации и Вселенной. Обсуждаются вопросы: гравитация как важнейший фактор структуры Вселенной, Вселенная с точки зрения Ньютоновской теории тяготения. Гравитация Ньютона и Лесажа. ОТО, Релятивистская теория гравитации. ОТО и квантовая механика. Квантовая гравитация Янчилина. Принцип наименьшего действия. Скорость распространения гравитации. Гипотеза о нелокальной природе гравитационного поля. Черные дыры. Самогравитация.

5. 1. Классификация альтернативных теорий гравитации.

В физике XVII-XIX столетий доминирующей теорией гравитации была теория Ньютона. В настоящее время большинство физиков основной теорией гравитации считают общую теорию относительности (ОТО), поскольку, принято считать, что существующий массив экспериментов и наблюдений, - с ней согласуется. Однако ОТО имеет ряд существенных проблем, что приводит к попыткам модификации ОТО или к представлению новых теорий. Современные теории гравитации можно разбить на следующие основные классы:

- 1) Метрические теории. Сюда относятся ОТО, релятивистская теория гравитация (РТГ) Логунова, и другие.
- 2) Неметрические теории наподобие теории Эйнштейна-Картана.
- 3) Векторные теории.
- 4) Скалярные теории. Примером является теория Нордстрема.
- 5) Скалярно-тензорные теории. Такова, в частности, теория Йордана-Бранса-Дике.
- 6) Теории, альтернативные классической теории Ньютона. Известными теориями являются гравитация Ле-Сажа и модифицированная ньютоновская динамика (МОНД).
- 7) Теории квантовой гравитации, представленные целой серией разновидностей.
- 8) Теории объединения различных физических взаимодействий. Здесь можно указать теорию супергравитации и теорию струн.

Вселенная.

- **Основные характеристики Вселенной:** Размер $\sim 10^{28}$ см. Масса $\sim 10^{55}$ г.

- **Образование:** время $t \sim 10^{-43}$ с, размер $r \sim 10^{-33}$ см, температура $T = 10^{28}$ К, размер области, из которой образовалась наблюдаемая часть Вселенной, был порядка $\sim 10^{-4}$ см.

- **Вселенная расширяется.** Этот фундаментальный научный факт, установленный теоретически А.А. Фридманом (1922) и экспериментально Э.Хабблом (1929), является общепризнанным. Под расширением Вселенной подразумевается, что радиус её кривизны, по крайней мере на современном этапе, - растет. Проявляется это в том, что расстояния между далекими галактиками увеличивается и тем быстрее, чем дальше они находятся друг от друга. При наблюдении с Земли далекие галактики «разбегаются» от Земли, что подтверждается красным смещением в спектрах этих галактик.

- **Расширение Вселенной** сопровождалось охлаждением её вещества и изменением его состава:

$T = 10^{12}$ К - материя во Вселенной: электрон-позитронные пары (e^- , e^+); мюоны и антимюоны (m^- , m^+); нейтрино и антинейтрино, нуклоны (протоны и нейтроны) и электромагнитное излучение.

$T = 10^{10}$ К - время этих реакций близко к возрасту Метагалактики.

$T = 5 \cdot 10^7$ К - первичный химический состав вещества: 26% ^4He ; 74% - водород 0,01 - 0,0001% - дейтерий, гелий - 3 и тритий.

$T = 10^4$ К - взаимодействие электронов с протонами сопровождалось образованием атомов водорода.

Таблица П5.1.

Теории гравитации			
Стандартные	Альтернативные ОТО	Объединённые теории поля	Другие
<p><u>Классическая теория тяготения Ньютона</u></p> <p><u>Общая теория относительности (ОТО)</u></p> <p><u>Принцип Маха</u></p>	<p><u>Релятивистская теория гравитации</u></p> <p><u>Классические теории гравитации</u></p> <p><u>Конформная гравитация</u></p> <p><u>Скалярные теории</u></p> <p><u>Теория Нордстрема</u></p> <p><u>Теория Илмаза</u></p> <p><u>Скалярно-тензорные теории</u></p> <p><u>Теория Йордана-Бранса-Дике</u></p> <p><u>Космология самотворения массы</u></p> <p><u>Биметрические теории</u></p> <p><u>Другие альтернативы</u></p> <p><u>Теория Эйнштейна-Картана</u></p> <p><u>Теория гравитации Уайтхеда</u></p> <p><u>Несимметричные теории гравитации</u></p> <p><u>Скаляр-тензор-векторная гравитация</u></p> <p><u>Тензор-вектор-скалярная гравитация</u></p>	<p><u>Телепараллелизм</u></p> <p><u>Геометродинамика</u></p> <p><u>Квантовая гравитация</u></p> <p><u>Полуклассическая гравитация</u></p> <p><u>Дискретная лоренцевская квантовая гравитация</u></p> <p><u>Евклидовая квантовая гравитация</u></p> <p><u>Индукцированная гравитация</u></p> <p><u>Петлевая квантовая гравитация</u></p> <p><u>Условие Уилера-де Витта</u></p> <p><u>Теории всего</u></p> <p><u>Супергравитация</u></p> <p><u>М-теория</u></p> <p><u>Теория струн</u></p> <p><u>Перечень терминов и имён, связанных с теорией струн</u></p> <p><u>Исключительно простая теория всего</u></p>	<p><u>ОТО, модифицированная дополнительными размерностями</u></p> <p><u>Теория Калуцы-Клейна</u></p> <p><u>Модель гравитации DGP</u></p> <p><u>Альтернативы теории Ньютона</u></p> <p><u>Гравитация по Аристотелю</u></p> <p><u>Гравитация Фатио-Лесажа</u></p> <p><u>Модифицированная ньютоновская динамика (MOND)</u></p> <p><u>Теории без классификации</u></p> <p><u>Составная гравитация</u></p> <p><u>Гравитация с массивным гравитоном</u></p> <p><u>Электрогравитация</u></p> <p><u>Гравитомagnetизм</u></p> <p><u>Антигравитация</u></p> <p><u>Левитация</u></p>

- **Плотность вещества.** Современная плотность вещества $\rho_0 = 1,4 \cdot 10^{-31}$ г/см³. Хаббл определил, что чем дальше от нас находится галактика, тем больше величина красного смещения в её спектре. Коэффициент пропорциональности между расстоянием до галактики и скоростью её удаления (постоянная Хаббла H): $H \approx 20$ км/с на каждый миллион световых лет. Скорость удаления галактики, вызванная расширением Вселенной: $V = HR$, где R – расстояние до галактики. Величина обратная постоянной Хаббла – максимальный возраст Вселенной t : $t = 1/H = 16$ млрд. лет. Реально, величина t меньше ~ 10 млрд. лет. Критическая плотность вещества Вселенной $= 3H^2/8\pi G$. Если плотность Вселенной больше критической – Вселенная замкнута, если меньше, то открыта. По современным астрономическим данным средняя плотность Вселенной близка к критической, а точнее, больше её на несколько процентов. Погрешность составляет тоже несколько процентов. Поэтому вопрос о дальнейшей судьбе Вселенной остается открытым.

- **Реликтовое излучение** было обнаружено в 1964 радиоастрономами Пензиасом и Вильсоном. Интенсивность радиосуммов нашей Галактики на длине волны 7.35 см оказалась независимой от направления. Спектр шума соответствует спектру электромагнитного излучения абсолютно черного тела с температурой 2.7 К. Излучение возникло в ранней Вселенной, когда её температура была 3000 К, было названо реликтовым. Изучение реликтового излучения показало, что Вселенная однородна, изотропна, структурирована и, в отличие от галактик, - в ней отсутствует вращение.

Гравитация как важнейший фактор структуры Вселенной.

В структуре окружающего нас мира гравитация (тяготение) играет чрезвычайно важную, фундаментальную роль. По сравнению с электрическими силами притяжения и отталкивания между двумя заряженными элементарными частицами тяготение очень слабо. Причина, по которой столь большой разрыв по величине не обнаруживается на каждом шагу в повседневной жизни, заключается в том, что преобладающая часть вещества в своей обычной форме электрически почти нейтральна, поскольку число положительных и отрицательных зарядов в его объеме одинаково. Поэтому огромные электрические силы объема просто не имеют возможности полностью развиться. Сила гравитационного притяжения настолько невелика, что измерить ее действие между телами обычных размеров, в лабораторных условиях, удастся только при соблюдении особых предосторожностей. Например, сила гравитационного притяжения между двумя людьми массой по 80 кг, стоящих вплотную спиной друг к другу, менее 10^{-5} Н (= 1 дине). Измерения столь слабых сил затрудняются необходимостью их выделения на фоне разного рода посторонних сил.

Вселенная с точки зрения Ньютонской теории тяготения.

Будем следовать автору (Мясников, 2004), считая Вселенную сферической. M – масса Вселенной. Тогда радиус Вселенной (гравитационный радиус) $R = GM/c^2$.

Из закона тяготения для $r \ll R$, находим квадрат скорости свободного падения на гравитационную сферу:

$$V^2 = [2GM/(R^2 - r^2)]^{1/2} - 2c^2 = c^2 r^2 / R^2,$$

откуда:

$$V = cr/R = rH, \quad H = c/R = c^3/GM,$$

- закон Хаббла с постоянной Хаббла H (не зависящей от r). Таким образом, удаленные галактики находятся в состоянии свободного падения под действием гравитационных сил. Отсюда, в частности, автор (Мясников, 2004) делает вывод, что космологическое и гравитационное красные смещения должны быть одной природы.

Общее уравнение для законов Ньютона и Хаббла.

У. Кэрри (1991) соединил законы Ньютона и Хаббла в общее уравнение подобно тому, как Максвелл объединил законы упругой и вязкой деформации:

$$F = G m_1 m_2 (1/d^2 - a d^2 H^4 / c^4),$$

где G – гравитационная постоянная, m_1, m_2 – массы двух тел, H – скорость разбегания галактик – постоянная Хаббла, c – скорость света, a – безразмерный коэффициент, определяемый эмпирически. В этом уравнении, если опустить последний член, получим уравнение Ньютона, если первый, – получим закон разбегания галактик Хаббла. H – величина очень малая и когда d – ограничено размерами Солнечной системы, обнаружить присутствие эффекта разбегания – невозможно. Расстояние d , на котором силы ньютоновской гравитации становятся сравнимы с силами хаббловского разбегания («нуль» Ньютона-Хаббла, на рис. П5-1.) определяют, по мнению Кэрри, расстояние между галактиками. Подстановка реальных величин в формулу Кэрри (при равенстве коэффициента a единице) величина d оказывается равной радиусу познаваемой Вселенной. Чтобы из этого уравнения получить наблюдаемые скорости разбегания галактик, a следует принять равным 10^{20} : тогда ньютоновское притяжение и хаббловское отталкивание сравниваются при расстоянии d равном 10^5 световых лет.

Уравнение Кэрри позволяет оценить расстояние, при котором уравниваются две силы. Оказывается, что это точно начальное расстояние между галактиками. Действительно, известно, что триллионы галактик примерно одинаковы по размерам – точнее, их размеры образуют гауссово распределение около некоторого среднего, в то время как расстояние между галактиками, – возрастает. Ближе всех к нашей Галактике (Млечному Пути) находится галактика Большого Магелланова Облака: она лишь немного дальше минимума Ньютона-Хаббла, а наш ближайший спиральный сосед – большая туманность М31 в созвездии Андромеды – располагается на расстоянии около 2 млн. св. лет.



Рис. П5-1. Модифицированный закон тяготения (Кэрри, 1991).

Бременский физик Генрих Вильгельм Ольберст в 1826 году обратил внимание на то, что если бы звезды были бы распределены в бесконечной Вселенной равномерно, то луч зрения в любом направлении обязательно встретился со звездой, и всё небо было бы залито ослепительным ярким светом. На этот парадокс Ольберсту ответил лорд Кельвин.

Он полагал, что звезды испускают свет за счет гравитационного сжатия (так он считал), которое ограничивает продолжительность их жизни величиной в 100 млн. лет. Время распространения света от звезд гораздо больше, чем длится их светимость. Даже если звезды встречаются во всем окружающем нас пространстве до бесконечности, мы в любое данное время можем видеть свет только от малой их доли. Сегодня мы понимаем, что Кельвин ошибался. Смысл парадокса Ольберста состоит в следующем. В расширяющейся Вселенной скорости разбегания далеких галактик составляют не такую малую долю от скорости света и доплеровское смещение цвета в красную область спектра весьма значительно, и вполне измеримо. Свет сдвигается в инфракрасную и, далее, в длинноволновую область радиочастот. На таком удалении звезды становятся тусклыми и не различаются и ни оптическими, ни радио телескопами, – Вселенная как бы исчезает. Галактики на таких расстояниях уже телескопами не разрешимы, они представляют собой некое фоновое излучение с температурой 3К. Однако это совсем не означает, что это мы имеем границу Вселенной, совсем нет. Так же как, моряк в открытом океане наблюдает только некий горизонт, но океан продолжается значительно дальше. Фоновое радиоизлучение черного тела температурой 3 К, позволяющее «заглянуть» в самые отдаленные области Вселенной, Кэрри назвал «окном Ольберста».

Масса и сила гравитации.

По мере увеличения масс гравитационные эффекты становятся все более заметными и, в конце концов, начинают доминировать над всеми остальными. Представим себе условия, царящие на одном из малых астероидов Солнечной системы – на шаровидной каменной глыбе радиусом 1 км. Сила тяжести на поверхности такого астероида составляет 1/15 000 силы тяжести на поверхности Земли, где ускорение свободного падения равно $9,81 \text{ м/с}^2$. Масса, имеющая вес на поверхности Земли одну тонну, - на поверхности такого астероида весила бы около 50 г. Скорость отрыва (при которой тело, двигаясь по радиусу от центра астероида, преодолевает созданное последним гравитационное поле) составила бы всего лишь 1,2 м/с, или 4 км/ч (скорость не очень быстро идущего пешехода). Таким образом, гуляя по поверхности астероида, приходилось бы избегать резких движений и не превышать указанную скорость, чтобы не улететь навсегда в космическое пространство. Роль самогравитации растет по мере перехода ко все более крупным телам – Земле, большим планетам, вроде Юпитера, и, наконец, к звездам, например Солнцу. Так, самогравитация поддерживает сферическую форму жидкого ядра Земли и окружающей это ядро ее твердой мантии, как и земную атмосферу. Межмолекулярные силы сцепления, удерживающие вместе частицы твердых тел и жидкостей, в космических масштабах уже не эффективны, и только самогравитация позволяет существовать как единому целому таким гигантским газовым шарам, как звезды. Без гравитации этих тел просто не было бы, как не было бы и миров, пригодных для жизни.

При переходе к еще большим масштабам гравитация организует отдельные небесные тела в системы. Размеры таких систем разные, – от сравнительно небольших (с астрономической точки зрения) и простых систем, как, например, система Земля – Луна, Солнечная система, и двойные, или кратные звезды, до - насчитывающих сотни тысяч звезд, - больших звездных скоплений. «Жизнь», или эволюцию, отдельного звездного скопления можно рассматривать как балансирование между взаимным расхождением звезд и тяготением, которое стремится удержать скопление как единое целое. Время от времени, какая-нибудь звезда, двигаясь в направлении других звезд, приобретает от них импульс и скорость, позволяющие ей вылететь из скопления, - и навсегда покинуть его. Оставшиеся звезды образуют еще более тесное скопление, и тяготение связывает их еще сильнее, чем прежде. Тяготение помогает также удерживаться вместе в космическом пространстве газовым и пылевым облакам, а иногда даже сжимает их в компактные и более или менее шарообразные сгустки материи. Темные силуэты многих таких объектов

можно наблюдать на более ярком фоне Млечного Пути. Согласно принятой сегодня теории формирования звезд, если масса такого объекта достаточно велика, то давление в его недрах достигает уровня, при котором становятся возможными ядерные реакции, и плотный сгусток материи превращается в звезду. Астрономам удалось получить снимки, подтверждающие образование звезд в тех местах космического пространства, где ранее наблюдались только облака материи, что свидетельствует в пользу существующей теории. Тяготение играет важнейшую роль во всех теориях происхождения, развития и строения Вселенной в целом. Почти все они опираются на общую теорию относительности. В этой теории, созданной Эйнштейном в начале 20 в., тяготение рассматривается как свойство четырехмерной геометрии пространства-времени, как нечто подобное кривизне сферической поверхности, обобщенной на большее число измерений. «Искривленность» пространства-времени тесно связана с распределением находящейся в нем материи.

Во всех космологических теориях принимается, что тяготение – свойство любого вида материи, проявляющееся повсюду во Вселенной, хотя отнюдь не предполагается, что создаваемые тяготением эффекты везде одни и те же. Гравитационная постоянная G – одна из физических констант нашего мира, равно как скорость света либо электрический заряд электрона или протона. С той точностью, с которой позволяют измерить эту постоянную современные экспериментальные методы, ее значение не зависит от того, какой разновидностью материи создано тяготение. Существенна только масса. Массу можно понимать двояко: как меру способности притягивать другие тела, – это свойство имеют в виду, когда говорят о тяжелой (гравитационной) массе, – или как меру сопротивления тела попыткам его ускорить (привести в движение, – если тело покоится, остановить, – если тело движется, или изменить его траекторию). Это свойство массы имеют в виду, когда говорят об инертной массе. Интуитивно эти две разновидности массы не кажутся одним и тем же свойством материи, однако общая теория относительности постулирует их тождество и строит картину мира, исходя из этого постулата.

Тяготение имеет и еще одну особенность; по-видимому, не существует никакого мыслимого способа избавиться от эффектов гравитации, кроме как удалиться на бесконечно большое расстояние от всякой материи. Ни одно известное вещество не обладает отрицательной массой, т.е. свойством быть отталкиваемым полем тяготения. Даже антиматерия (позитроны, антипротоны и т.п.) имеет положительную массу. От гравитации невозможно избавиться с помощью некоего экрана, как от электрического поля. Во время лунных затмений Луна «заслоняется» Землей от притяжения Солнца, и эффект от такой экранировки накапливался бы от одного затмения к другому, но этого нет.

Гравитация является самым слабым из четырех типов фундаментальных взаимодействий. В настоящее время попытки описать гравитацию в рамках квантовой физики, т.е. создание квантовой теории гравитации, пока успехом не увенчались. В такой ситуации, мало кому известная идея квантовой гравитации, разрабатываемая В. Янчилиным, – представляет несомненный интерес. Согласно модели горячей Земли, её образование в едином процессе рождения звезды – Солнца, обязано самогравитации. В этой связи здесь излагаются общепринятые представления о физике самогравитации.

5. 2. Гравитация Ньютона.

Гравитационное поле, создаваемое массой M на расстоянии r , можно охарактеризовать тремя физическими величинами.

Во-первых, это ускорение g , с которым будет двигаться любое тело в этом поле. Это векторная величина, и именно она обычно называется гравитационным полем.

Во-вторых, это скорость распространения гравитационного поля V_g . Например, мы сдвинули массу M . Через какое время тело, находящееся на расстоянии r от этой массы, "почувствует" изменение гравитационного поля? В теории тяготения Ньютона

предполагается, что гравитационное взаимодействие распространяется мгновенно. А в своей теории тяготения Эйнштейн показал, что скорость распространения гравитационного поля всегда и везде одинакова и равна скорости света: $V_g = c \approx 300\,000$ км/с.

И, наконец, третьей величиной, которая характеризует гравитационное взаимодействие, является гравитационный потенциал φ . Гравитационный потенциал имеет следующий физический смысл. Это работа, которую нужно совершить над единичной массой, чтобы удалить её из данного поля тяготения. Знак минус говорит о том, что работу придётся совершать нам, а не полю, то есть потенциальная энергия тела U в гравитационном поле всегда отрицательна. Для тела массы m она равна: $U = m \varphi$. В теории тяготения Ньютона гравитационный потенциал φ удовлетворяет уравнению Пуассона:

$$\Delta\varphi = 4\pi G \rho, \quad (\text{П5.1})$$

где G – гравитационная постоянная ($G = 6.67 \cdot 10^{-8}$ см³г⁻¹с⁻²), ρ – плотность вещества. Решение уравнения (1) записывается в виде:

$$\varphi = G \int \rho dV/r + C, \quad (\text{П5.2})$$

где r – расстояние между элементом объема dV и точкой, в которой определяется потенциал φ , C – производная постоянная. Если при $r \rightarrow \infty$ ρ убывает быстрее, чем r^{-2} , то интеграл (2) сходится и потенциал определим. Если с увеличением расстояния ρ спадает медленнее, чем r^{-2} (например, для однородного распределения материи $\rho = \text{const}$), интеграл (2) расходится. Гравитационное ускорение, создаваемое тяготением вещества $g = \text{grad } \varphi$, неопределенно и может принимать любые, в т.ч. и бесконечные, значения в зависимости от способа интегрирования, в том числе, если при $r \rightarrow \infty$ ρ спадает медленнее, чем r^{-1} , а относительные гравитационные ускорения частиц dg неопределенны для распределений ρ , не убывающих при $r \rightarrow \infty$.

Состоится ли ревизия закона Ньютона (о пятой силе)

<http://n-t.ru/tp/iz/pps.htm> Е. Б. Александров.

При изучении гравитации теория давно опережает эксперимент, который пока не справляется с ее заданиями. Наиболее популярное из них – обнаружение гравитационных волн. Задача эта необычайной трудности, и попытки решить ее продолжают уже десятки лет. Но вот как будто появился шанс, что инициативу открытия нового в вопросах тяготения перехватит эксперимент: с 6 января 1986 года в научной литературе энергично обсуждаются некоторые свидетельства в пользу существования неизвестной ранее составляющей силы тяготения. Фактически вопрос сегодня ставится так: существует ли в природе пятая сила?

Начало положила публикация группы американских физиков в ведущем физическом журнале "The Physical Review Letters", оперативно печатающем наиболее важные новости физики.

Закон Ньютона с огромной точностью (до 10^{-8}) подтверждается астрономическими наблюдениями. Количественная мера притяжения, то есть гравитационная постоянная, измеряется в лаборатории, но с гораздо меньшей точностью – уже третий знак за запятой под сомнением. Но сегодня тень сомнения легла уже на первый знак и даже на безупречную зависимость силы от расстояния!

Умозрительные неклассические модели тяготения обсуждались теоретиками уже давно. В попытках уличить тяготение в отклонении от закона Ньютона во многих странах проводились тщательные измерения зависимости силы от расстояния. Оказалось, что в

диапазоне от сантиметра до 10 метров величина гравитационной постоянной остается неизменной с точностью до десятой доли процента. Однако на расстояниях менее 1 см и от 10 метров до десятков тысяч километров сохраняется принципиальная возможность того, что существуют отклонения от закона Ньютона.

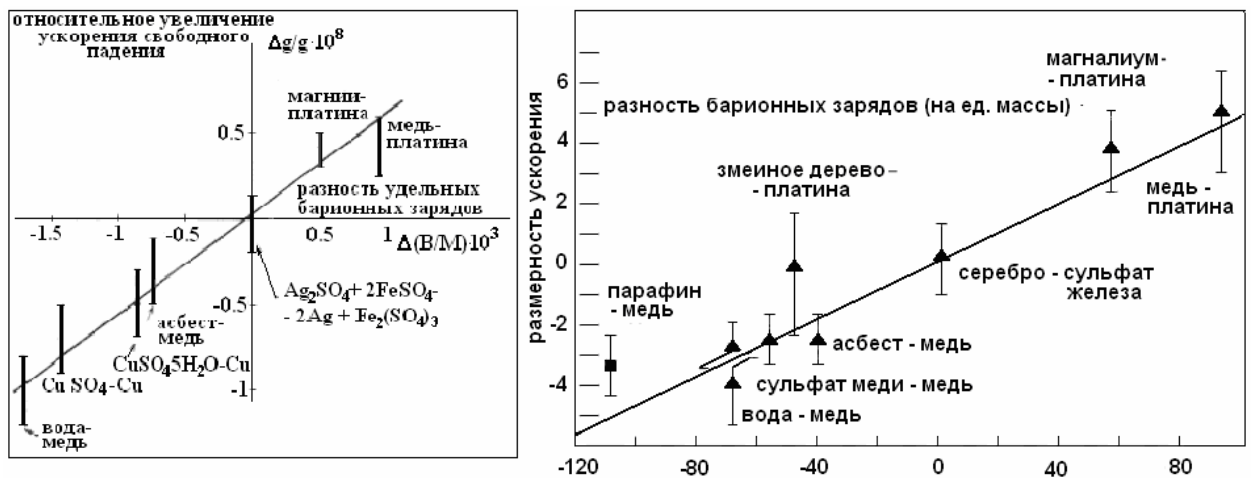


Рис. П5-2. Относительные разности ускорения свободного падения для разных пар веществ в зависимости от различия их удельных барионных зарядов (Александров, [http](http://)).

При отсутствии экспериментальных фактов все эти построения вокруг не ньютонового тяготения были, по существу, беспредметными. Но после упомянутой публикации вопрос перешел в ранг актуальной физической проблемы. Исходным материалом для авторов статьи в "Phys. Rev Letters" послужили недавно опубликованные результаты многолетних измерений ускорения свободного падения тел в шахтах на разных глубинах. Такие измерения при условии хорошего знания геологических структур в окрестности шахты дают возможность независимого определения гравитационной константы, которая оказалась примерно на 1% больше, чем измеренная в лаборатории с помощью весов Кавендиша. На этой основе авторы статьи выдвинули гипотезу о существовании силы отталкивания с радиусом действия около 200 метров, пропорциональной барионному заряду вещества. Далее авторы подвергли свою гипотезу проверке, сопоставив ее с данными классических экспериментальных работ. Обнаруженное при этом эффектное согласие предсказаний гипотезы с опытом произвело в научном мире сенсацию и вызвало живейший отклик: уже через полгода по следам первой статьи было опубликовано около десяти статей и заметок. Большая часть из них посвящена предложениям новых путей проверки гипотезы. Но прежде, чем говорить о проверках гипотезы, нужно сказать хоть чуть-чуть о природе предполагаемой новой силы.

По существующим представлениям, все известные в природе силы вызваны обменом некоторыми частицами между взаимодействующими объектами. Потенциальная энергия взаимодействия при этом представляет собой так называемый «потенциал Юкавы», а радиус действия сил обратно пропорционален массе покоя частицы, переносящей взаимодействие. Электромагнитные и гравитационные силы передаются частицами с нулевой массой покоя – фотонами и гравитонами, что соответствует бесконечно большому радиусу действия. Другими словами, экспоненциального падения сил с расстоянием в этом случае нет: электромагнитные и гравитационные поля – дальнедействующие. В отличие от них ядерные силы, удерживающие нуклоны в ядре, и силы, ответственные за бета-распад ядер (слабое взаимодействие), вызваны обменом массивными частицами – адронами и векторными бозонами, что делает такие силы чрезвычайно короткодействующими: они проявляют себя лишь в пределах ядра и наружу, в мир макрообъектов, не «высовываются». «Пятая сила», вводимая обсуждаемой

гипотезой по этой же схеме, предполагает существование частиц с исключительно малой, но все-таки отличной от нуля массой покоя. Чтобы радиус взаимодействия измерялся сотнями метров, масса частицы должна быть на 15 порядков меньше массы электрона! Таких частиц физика не знает, но обнаружение пятой силы как раз и означало бы их открытие. Таким образом, закон тяготения оказывается в тесной связи с физикой элементарных частиц.

Искомое отталкивание составляет – даже в бытовом понимании – заметную часть от ньютонового притяжения (около 1%), измеряемая при изучении добавочного отталкивания величина окажется много меньше. В самом деле, мы собираемся сравнивать не отталкивание с притяжением, а различие в отталкивании тел разного состава. Это различие оказывается в несколько раз меньше самого отталкивания. Чтобы в этом убедиться, нужно подсчитать отношения барионного заряда к массе атома для разных элементов и их сопоставить (см. рис. П5-2).

Гравитация Лесажа.

В 1690 году швейцарский математик Николас Фатио де Дуилье, и в 1756 Жорж-Луи Ле-Саж в Женеве, - предложили простую кинетическую теорию гравитации, которая дала механическое объяснение уравнению силы Ньютона. Из-за того, что работа Фатио не была широко известна и оставалась неопубликованной длительное время, именно описание теории Ле-Сажем стало темой повышенного интереса в конце 19 века, когда данная теория была изучена в контексте только что открытой кинетической теории газов. К началу 20 века теория в целом считается опровергнутой, в основном из-за проблем поднятых Максвеллом и Пуанкаре. Хотя теория Ле-Сажа всё ещё изучается некоторыми исследователями, она не рассматривается основным научным сообществом как жизнеспособная теория.

Теория утверждает, что сила гравитации это результат движения крошечных частиц, двигающихся на высокой скорости во всех направлениях во Вселенной. Интенсивность потока частиц предполагается одинаковой во всех направлениях, таким образом, изолированный объект А ударяется частицами со всех сторон, в результате чего он подвергается давлению вовнутрь объекта, но не подвергается направленной силе P1.

Однако, в случае присутствия второго объекта В, часть частиц, которые иначе бы ударили по объекту А со стороны В, перехватывается, таким образом В работает как экран, т.е. с направления В, объект А ударит меньше частиц, чем с противоположного направления. Аналогично, объект В будет ударен меньшим количеством частиц со стороны А, по сравнению с противоположной стороной. То есть, можно сказать, что объекты А и В «экранируют» друг друга, и оба тела прижимаются друг к другу результирующим дисбалансом сил (P2). Таким образом, кажущееся притяжение между телами в данной теории на самом деле является уменьшенным давлением на тело со стороны других тел. По этой причине данную теорию иногда называют «push гравитация» или «теневая гравитация», хотя наиболее часто встречается название «гравитация Лесажа».

5. 3. Теория относительности.

Специальная теория относительности.

А.Эйнштейн в статье «К электродинамике движущихся тел» (1905) предложил два, казалось бы, противоречащих постулата:

1. Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, - эти состояния относятся.
2. Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью c , независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом.

Т.о., основой специальной теории относительности является принцип постоянства скорости света. Смысл его состоит в том, что величина скорости света не зависит от движения наблюдателя. *Мы можем двигаться с любой скоростью навстречу свету или, наоборот, в противоположном направлении - в любом случае свет будет пронесётся мимо нас с одной и той же скоростью - 300 000 км/с!* И это - экспериментальный факт. Эйнштейн догадался, что время в движущейся системе отсчёта будет течь по-другому. Причём, скорость течения времени изменится таким образом, чтобы скорость света в ней оставалась той же самой! Поэтому Эйнштейн принял в качестве нового закона то, что скорость света одинакова во всех системах отсчёта. И, исходя из этого, рассчитал, как будет преобразовываться время и расстояние при переходе из одной системы отсчёта в другую. *Итак, масштаб времени и расстояния в движущейся системе отсчёта изменяется всегда таким образом, чтобы свет двигался относительно неё со скоростью 300 000 км/с.*

Эйнштейн догадался, что при переходе из одной системы отсчёта в другую будет меняться пространственно-временной масштаб, а скорость света - оставаться неизменной. Но он не объяснил, *почему* так происходит. Почему именно скорость света (скорость в $\sim 300\,000$ км/с) имеет такую привилегию в физическом мире, что *она не зависит* от скорости движения системы отсчёта.

Закон, по которому преобразуется время и расстояние при переходе из одной системы отсчёта в другую, называется преобразованиями Лоренца. Преобразования названы в честь Лоренца, так как он их открыл раньше Эйнштейна, исследуя совершенно другой раздел физики (он нашёл преобразования, при которых уравнения Максвелла остаются инвариантными). Суть их в том, что с точки зрения неподвижной системы отсчёта, время в движущейся системе отсчёта течёт медленнее в γ раз, а длины всех тел сокращаются в направлении движения также в γ раз, где γ - следующая величина:

$$\gamma = (1 - V^2/c^2)^{-1/2} \quad (\text{П5.3})$$

Здесь V - скорость движения системы отсчёта, а c - скорость света.

С физической точки зрения обе системы отсчёта (и "неподвижная" и "движущаяся") абсолютно равноправны. И если мы будем находиться в движущейся системе отсчёта, то с нашей точки зрения будет двигаться "неподвижная" система отсчёта, и мы обнаружим, что уже в ней время замедляется в γ раз, а длины всех тел сокращаются в γ раз. Как видно из уравнения, если $V \ll c$, то значение γ практически равно единице. А все релятивистские эффекты (сокращение длины, замедление времени) существенны лишь при околосветовых скоростях.

Итак, в теории относительности (в отличие от классической механики) и время, и расстояние изменяются при переходе из одной системы отсчёта в другую. Тем не менее, в теории относительности всё-таки существует величина, которая остаётся одной и той же во всех инерциальных системах отсчёта. Это интервал s между событиями. По определению квадрат интервала между событием, имевшим место в точке (x_1, y_1, z_1) в момент времени t_1 , и событием, имевшим место в точке (x_2, y_2, z_2) в момент времени t_2 , равен: $s^2 = c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2$.

Исходя из того, что величина скорости света будет одной и той же во всех инерциальных системах отсчёта, нетрудно показать, что и величина квадрата интервала будет одной и той же во всех инерциальных системах отсчёта. С математической точки зрения интервал можно рассматривать как расстояние между двумя точками в воображаемом четырёхмерном пространстве (которое представляет собой обычное трёхмерное пространство, дополненное временной координатой, умноженной на скорость света ct). Геометрия такого четырёхмерного пространства называется

псевдоевклидовой, так как она похожа на обычную евклидову геометрию, в которой квадрат расстояния r между двумя точками равен: $r^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2$.

В течение последних примерно 20 лет в СМИ неоднократно появлялись сообщения о том, что какой-нибудь группе физиков удалось превысить скорость света. С течением времени эти результаты оказывались либо ложными, либо ошибочными. Тем не менее в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) был получен результат, который привел физиков в замешательство. Ученые послали пучок нейтрино с ускорителя ЦЕРНА в подземную лабораторию, которая расположена в Италии в районе горы Гран-Сассо. Расстояние между этими объектами составляет 732 км. Частицы нейтрино пребывали в пункт назначения на 60 наносекунд быстрее, чем свет. Физики произвели 15 тыс. измерений скорости движения этих частиц, прежде чем обнародовать свое исследование (Brumfiel, 2011).

Несмотря на публикацию результата в NATURE, многие ученые осторожно отзываются о возможном сенсационном открытии и заявляют, что его предстоит изучить и перепроверить. Если результаты эксперимента подтвердятся, то вся физика, построенная на теории относительности Альберта Эйнштейна, окажется под вопросом, т.к. по современным представлениям, скорость света является предельной во Вселенной.

Как известно, обоснование специальной теории относительности потребовало создание теории тяготения (ОТО), в которой присутствовало бы время, а скорость распространения гравитационного поля оказалась бы равной скорости света.

Общая теория относительности (ОТО).

Общая теория относительности – теория пространства, времени и тяготения предложена Эйнштейном в 1916. В основе ОТО положен экспериментальный факт равенства инертной и гравитационной массы – принцип эквивалентности. Он проявляется в том, что движение тела в поле тяготения не зависит от его массы. Это позволяет ОТО трактовать тяготение, как искривление пространственно-временного континуума, которое описывается уравнениями Эйнштейна. Задача сводится к нахождению метрического тензора $g_{\mu\nu}$. Уравнения тяготения Эйнштейна связывают величины $g_{\mu\nu}$ с величинами, характеризующими материю, создающую поле: плотностью, потоками импульса и т.п. Эти уравнения записываются в виде:

$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu}R = 8\pi G/c^4 \cdot T_{\mu\nu}. \quad (\text{П5. 4})$$

Уравнения тяготения Эйнштейна – это тензорные уравнения, связывающие распределение тензора материи (энергии) с кривизной пространства-времени. Здесь $R_{\mu\nu}$ – т.н. тензор Ричи, $T_{\mu\nu}$ – тензор энергии-импульса материи, который, в частном случае записывается в виде $T_{\mu\nu} = \Lambda g_{\mu\nu}$, где $\Lambda = 8\pi G\rho/c^2$ – космологическая постоянная. Она была введена Эйнштейном с целью построения модели Вселенной, которая не изменяется с течением времени. Космологическую постоянную можно рассматривать как величину, описывающую плотность энергии и давление (натяжение) вакуума. Согласно современным представлениям Λ либо $\Lambda = 0$, либо она чрезвычайно мала: $\Lambda < 10^{-55} \text{ см}^{-2}$. Согласно теории ранней Вселенной эта величина была очень большой, и гравитация физического вакуума - определяла динамику расширения Вселенной.

Уравнение (4) подобно уравнению (1) для ньютонова потенциала. В обоих случаях слева стоят величины, характеризующие поля, а справа – величины, характеризующие материю, создающую поле. Однако уравнения (4) имеют ряд существенных особенностей. Уравнение (1) линейно и поэтому удовлетворяет принципу суперпозиции. Оно позволяет вычислить гравитационный потенциал φ для любого распределения произвольно движущихся масс. Ньютоново поле тяготения не зависит от движения масс, поэтому уравнение (1) само не определяет непосредственно их движение. Движение масс определяется из второго закона механики Ньютона. Иная ситуация в теории Эйнштейна.

Уравнения (4) не линейны, не удовлетворяют принципу суперпозиции. В теории Эйнштейна нельзя произвольным образом задать правую часть уравнения (4), зависящую от движения материи, а затем вычислить гравитационное поле $g_{\mu\nu}$. Решение уравнений Эйнштейна приводит к совместному определению и движения материи, создающей поле, и к вычислению самого поля. Существенно при этом, что уравнения поля тяготения содержат в себе и уравнения движения масс в поле тяготения. С физической точки зрения это соответствует тому, что в теории Эйнштейна материя создает искривление пространства-времени, а это искривление, в свою очередь, влияет на движение материи, создающей искривление.

Релятивистская теория гравитации.

В основу релятивистской теории гравитации (РТГ) положены следующие физические требования.

- В теории должны строго выполняться законы сохранения энергии-импульса и момента количества движения для вещества и гравитационного поля, вместе взятых. Под веществом мы понимаем все формы материи (включая и электромагнитное поле) за исключением гравитационной. Законы сохранения отражают общие динамические свойства материи и позволяют ввести единые характеристики для различных ее форм. Общие динамические свойства материи находят воплощение в структуре геометрии пространства-времени. Она с необходимостью оказывается псевдоевклидовой (иными словами, теория строится в пространстве Минковского). Таким образом, геометрия задается не соглашением, как считал Пуанкаре, а однозначно определяется законами сохранения. Пространство Минковского, как уже сказано, обладает четырехпараметрической группой трансляций и шестипараметрической группой вращений. Данное положение кардинальным образом отличает РТГ от общей теории относительности и полностью выводит нас из римановой геометрии.

- Гравитационное поле описывается симметрическим тензором и является реальным физическим полем, обладающим плотностью энергии и импульса. Если этому полю сопоставить частицы (кванты поля), то они должны иметь нулевую массу покоя, поскольку гравитационное взаимодействие дальнедействующее. При этом у реальных и виртуальных квантов гравитационного поля могут быть состояния со спинами 2 и 0.

- Такое определение гравитационного поля возвращает ему физическую реальность, поскольку его уже даже локально нельзя уничтожить выбором системы отсчета, а следовательно, нет никакой (даже локальной) эквивалентности между гравитационным полем и силами инерции. Данное физическое требование в корне отличает РТГ от ОТО.

Эйнштейн в ОТО отождествил гравитацию с метрическим тензором риманова пространства, но этот путь и привел к утрате понятия гравитационного поля как физического поля, а также к потере законов сохранения. Отказ от этого положения ОТО продиктован в первую очередь стремлением сохранить в теории гравитации эти фундаментальные физические понятия.

Физические следствия РТГ.

Остановимся теперь на некоторых физических следствиях РТГ. В начале 20-х годов А. А. Фридман, решая уравнения Гильберта — Эйнштейна в предположении, что плотность вещества в каждой точке пространства одинакова и зависит только от времени (фридмановская однородная и изотропная Вселенная), обнаружил, что возможны три модели нестационарной Вселенной (**фридмановские модели Вселенной**). Каждый тип Вселенной определяется соотношением между плотностью вещества в данный момент и так называемой критической плотностью, определяемой на основании измерения **постоянной Хаббла**. Если плотность вещества больше критической, - то Вселенная замкнута и имеет конечный объем, но не имеет границ. Если плотность вещества меньше

или равна критической, - то Вселенная бесконечна. На вопрос о том, какая из этих моделей реализуется в природе, ОТО, в принципе, не может дать определенного ответа.

Согласно РТГ фридмановская однородная и изотропная Вселенная бесконечна, и она может быть только плоской — ее трехмерная геометрия евклидова. В этом случае плотность вещества во Вселенной точно равняется критической плотности. Таким образом, РТГ предсказывает, что во Вселенной должна существовать “скрытая масса”, плотность которой почти в 40 раз превышает плотность вещества, наблюдаемого сегодня. Другим важным следствием РТГ является утверждение, что суммарная плотность энергии вещества и гравитационного поля во Вселенной должна равняться нулю.

Мы видим, что предсказание РТГ для развития фридмановской однородной и изотропной Вселенной существенно отличается от выводов ОТО.

Далее, из ОТО следует, что объекты с массой, превышающей три массы Солнца, за конечный промежуток собственного времени должны неограниченно сжиматься гравитационными силами (коллапсировать), достигая при этом бесконечной плотности. Объекты такого типа получили название черных дыр. Они не имеют материальной поверхности, и поэтому тело, падающее в черную дыру, при пересечении ее границы не встретит ничего, кроме пустого пространства. Из внутренней области черной дыры через ее границу не может вырваться наружу даже свет. Иными словами, все, что происходит внутри черной дыры, в принципе не познаваемо для внешнего наблюдателя. Дж. Уилер (*J. Wheeler*) рассматривал гравитационный коллапс и возникающую при этом сингулярность (бесконечную плотность) как один из величайших кризисов всех времен для фундаментальной физики. С этим невозможно не согласиться.

Релятивистская теория гравитации в корне изменяет представления о характере гравитационного коллапса. Она приводит к явлению гравитационного замедления времени, благодаря которому сжатие массивного тела в сопутствующей системе отсчета происходит за конечное собственное время. При этом, что самое главное, плотность вещества остается конечной и не превышает 10^{16} г/см³, яркость тела экспоненциально уменьшается, объект “чернеет”, но в отличие от черных дыр всегда имеет материальную поверхность. Такие объекты, если они возникают, имеют сложное строение, при этом никакого гравитационного “самозамыкания” не происходит, а потому вещество не исчезает из нашего пространства. В РТГ собственное время для падающего пробного тела зависит как от координат пространства Минковского, так и от гравитационной постоянной G , а, следовательно, ход собственного времени определяется характером гравитационного поля. Именно это обстоятельство и приводит к тому, что собственное время для падающего пробного тела неограниченно замедляется по мере приближения к так называемому **шварцшильдовскому радиусу**.

Таким образом, согласно РТГ, никаких черных дыр — объектов, в которых происходит катастрофически сильное сжатие вещества до бесконечной плотности и которые не имеют материальной поверхности, — в принципе не может быть в природе. Релятивистская теория гравитации, построенная на основании законов сохранения и представлений о гравитационном поле как физическом поле, обладающем плотностью энергии-импульса, в соединении с принципами геометризаци и локальной калибровочной инвариантности объясняет все известные наблюдательные и экспериментальные данные о гравитации и дает новые предсказания о развитии фридмановской Вселенной и гравитационном коллапсе.

ОТО и принцип Маха.

Ещё Ньютон обратил внимание на тот факт, что существует два вида движений: относительное и абсолютное. Прямолинейное движение тела является относительным движением, а вращательное – абсолютным. Мы не сможем сказать, с какой скоростью мы движемся (например, с какой скоростью движется планета Земля), если не укажем другое тело, относительно которого будем рассматривать наше движение. Но мы всегда сможем

узнать, с какой скоростью мы вращаемся (например, с какой скоростью вращается Земля). Это возможно потому, что во вращающемся теле возникают центробежные силы, которые деформируют тело. По величине центробежных сил или по вызванной ими деформации всегда можно определить скорость вращения тела. При этом возникает вопрос: а относительно чего, собственно говоря, тело вращается?

В конце 19-го века австрийский физик Эрнст Мах выдвинул следующую гипотезу (названную впоследствии принципом Маха). Инерциальные системы отсчёта существуют только благодаря неподвижным звёздам – удалённым массам Вселенной. При этом центр масс Вселенной является естественной инерциальной системой отсчёта. А свободно движущееся тело движется с постоянной скоростью относительно центра масс Вселенной – относительно удалённых массивных объектов. В этом случае тело оказывает сопротивление ускорению только потому, что ускоряется относительно неподвижных звёзд.

Тело в отсутствие действующих на него сил движется равномерно и прямолинейно. Для того чтобы оно отклонилось от своего пути, нужно приложить силу. Чем более массивным является тело, тем труднее изменить его движение. Звёзды своей огромной массой как бы создают поле инерциальных сил. Физики спрашивали Маха: выходит, если убрать звёзды, то тело уже не будет оказывать сопротивление ускорению и потеряет свою инерцию? Но Мах уходил от прямого ответа.

Гораздо последовательней в этом вопросе был Альберт Эйнштейн, относившийся к принципу Маха с большой симпатией. В период создания общей теории относительности он надеялся, что принцип Маха найдёт своё воплощение в его теории. Вот что он писал в то время: «...в последовательной теории относительности нельзя определять инерцию по отношению к “пространству”, но можно определять инерцию масс относительно друг друга. Поэтому если я удалю какую-нибудь массу на достаточно большое расстояние от всех других масс Вселенной, то инерция этой массы должна стремиться к нулю. Попытаемся сформулировать это условие математически». Для того, чтобы сообщить ускорение a , нужно приложить силу: $F = ma$. Так утверждает второй закон Ньютона. Таким образом, любая масса оказывает сопротивление ускорению. Опять возникает вопрос: ускорению относительно чего?

Правильный ответ можно прочесть в любом учебнике физики: относительно инерциальной системы отсчёта. Но как уже отмечалось, инерциальная система отсчёта - это всего лишь удобное понятие. Какая физическая связь может быть между телом и инерциальной системой отсчёта?

Существуют поля, действующие на тело независимо от того, движется оно или нет. Это, например, гравитационные и электрические поля. Но, скажем, магнитное поле действует только на движущийся заряд. Силы инерции можно в каком-то смысле сравнить с магнитными силами. Они возникают только в том случае, когда масса движется с ускорением. Нельзя определять инерцию по отношению к "пространству", но можно определять инерцию масс относительно друг друга. Поэтому если я удалю какую-нибудь массу на достаточно большое расстояние от всех других масс Вселенной, то инерция этой массы должна стремиться к нулю. Эйнштейн утверждал, что на достаточно большом удалении от всех масс Вселенной тело не будет обладать инерцией. С этой позицией Эйнштейна был вполне солидарен и Паули, полагая, что Мах ясно осознавал именно этот недостаток механики Ньютона и заменил абсолютное ускорение ускорением относительно остальных масс Вселенной.

Эйнштейн назвал этот постулат принципом Маха. Согласно принципа, инерция материи определялась только окружающими его массами и исчезала если все остальные массы будут устранены, так как с релятивистской точки зрения не имеет никакого смысла говорить о сопротивлении абсолютному ускорению (относительность инерции).

Тем не менее, когда общая теория относительности была построена, оказалось, что она не удовлетворяет принципу Маха. И на протяжении всего двадцатого века различными учёными предпринимались попытки построить физическую теорию на основе принципа Маха. Но эти попытки не увенчались успехом. Создаётся впечатление, что принцип Маха просто не вписывается в современную физику.

Существует ли какой-либо известный факт, подтверждающий справедливость принципа Маха? Да, действительно, существует одно экспериментальное свидетельство в пользу принципа Маха. Это факт равенства нулю угловой скорости вращения Вселенной, который установлен с высокой степенью точности (по крайней мере, период вращения Вселенной больше чем 10^{17} лет) в опытах по измерению анизотропии реликтового излучения.

С точки зрения теории гравитации Ньютона (также как и с точки зрения общей теории относительности) этот факт является невероятной случайностью. А из принципа Маха сразу следует, что Вселенная не может вращаться относительно инерциальной системы отсчёта, потому что в этом случае инерциальные системы отсчёта вращались бы вместе с ней. Следует также отметить, что принцип Маха выдвинут в конце девятнадцатого века и поэтому сформулирован в рамках классической механики Ньютона. А в двадцатом веке появились такие фундаментальные разделы физики, как теория относительности и квантовая механика. Поэтому чтобы найти место принципу Маха в современной физике, нужно учесть достижения, как теории относительности, так и квантовой механики.

В 1979 году в Берлине состоялась международная научная конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения Альберта Эйнштейна. На ней обсуждались наиболее фундаментальные проблемы современной физики. В том числе говорилось и об отношении принципа Маха к общей теории относительности. Вот несколько строк из резюме по данному вопросу: “Известно, что Эйнштейн не только принимал этот неортодоксальный принцип и восхищался им, но и надеялся привести свою теорию в согласие с системой идей Маха. Эйнштейн пытался включить общую теорию относительности в принцип Маха, или наоборот. Поэтому он видоизменил первую классическую формулировку ОТО. В этом направлении и по сей день, предпринимаются попытки, – неустанно, порой с обескураживающими результатами, часто с помощью весьма остроумных манипуляций, – достичь цели, к которой стремился Эйнштейн”.

В. Л. Янчилин, предложивший принципиально новую модель квантовой генерации («Неопределенность, гравитация, космос». М.: УРСС. 2003), о которой пойдет речь ниже, считает, что проблему, связанную с принципом Маха, решить можно. Но для этого нужно проделать следующее: Во-первых, раскрыть его физическое содержание (которое пока не ясно). Во-вторых, построить новую физическую теорию, которая содержала бы в себе, кроме известных физических законов, также и принцип Маха. До настоящего времени такой теории не было. В-третьих, рассчитать (а значит, и предсказать) принципиально новые следствия, которые вытекают из новой теории и которые можно экспериментально проверить в земных условиях (естественно, не трогая неподвижные звёзды). И в результате определить, верен или нет принцип Маха.

ОТО и квантовая механика.

Теория относительности внесла существенные изменения в классическую картину мира. Но всё-таки подлинную революцию в физике произвела именно квантовая механика. К концу XX столетия в физике назрели нерешенные проблемы, среди них: загадка квантовой гравитации, сверхсветовые квантовые корреляции, малость космологической постоянной, загадка темной энергии, составляющей 70 % физической Вселенной, небарионная холодная темная материя, составляющая до 26 % и очень маленькая начальная энтропия Вселенной. Наиболее досаждающим моментом современной физики

остался вопрос, сформулированный Эйнштейном: "Может ли квантовая механика быть получена из общей теории относительности?", или: как квантовать гравитационные полевые уравнения Эйнштейна?

Из четырех фундаментальных сил природы: электромагнитных, слабых, сильных и гравитационных, только первые три могут быть математически последовательно квантованы. Это оказывается невозможным для гравитации. Проблема, казалось, была разрешима только путем таких диковинных догадок, как, например, предположением более чем трех измерений для пространства, и точечно-подобной структуры элементарных частиц, (требуемой постулатами специальной теории относительности). Они должны быть заменены струнами или поверхностями (мембранами) высших размерностей.

В 1927 году Вернер Гейзенберг, пытаясь устранить противоречие "волна-частица", сформулировал принцип неопределённости (соотношение неопределённостей). Этот принцип выражает фундаментальный предел возможности одновременного измерения положения частицы и её импульса:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2. \quad (\text{П5.5})$$

Здесь Δx – неопределённость в положении частицы, а Δp_x – неопределённость в проекции её импульса вдоль оси x . Не сразу стало ясно, что именно выражает это соотношение. Только ли принципиальную невозможность получить более полное знание о движении частицы или же объективную неопределённость в её движении. Аналогично соотношению (П5.5) Гейзенберг установил соотношение для неопределённости в измерении энергии частицы ΔE и промежутка времени Δt , в течение которого производится данное измерение: $\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar/2$

Квантовая механика основана на представлениях о движении, принципиально отличных от представлений классической механики. В квантовой механике не существует понятия траектории частиц. Это обстоятельство составляет содержание так называемого принципа неопределённости - одного из основных принципов квантовой механики, открытого Гейзенбергом. Электрон (или любой другой квантовый объект) движется не по непрерывной линии (траектории), а как-то иначе. В каждый момент времени электрон не имеет ни определённого местоположения, ни определённой скорости. Если в результате измерения электрон получил определённые координаты, то при этом он вообще не обладает никакой определённой скоростью. Наоборот, обладая определённой скоростью, электрон не может иметь определённого местоположения в пространстве.

Движение электрона (как и движение любого другого квантового объекта) описывается комплексной волновой Ψ -функцией. В общем случае для одного электрона волновая Ψ -функция зависит от четырёх переменных - это три пространственные координаты и время. Допустим, мы хотим узнать, находится ли электрон в данный момент времени t_0 в данной точке пространства $(x_0; y_0; z_0)$. Если известна волновая функция электрона, то ответ такой: в момент времени t_0 плотность вероятности p_w обнаружить электрон в точке $(x_0; y_0; z_0)$ равна квадрату модуля волновой функции:

$$p_w = |\Psi(t_0; x_0; y_0; z_0)|^2$$

Таким образом, квантовая механика, в отличие от классической, - даёт только вероятностное описание движения.

В общем случае неопределённость в движении электрона можно охарактеризовать, во-первых, неопределённостью в его местоположении $(\Delta x; \Delta y; \Delta z)$, а во-вторых, неопределённостью в его импульсе $(\Delta p_x; \Delta p_y; \Delta p_z)$. Для электрона (или любого другого квантового объекта) всегда выполняются следующие неравенства:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2, \quad \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar/2, \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar/2,$$

где $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - постоянная Планка. Эти неравенства, или как их иначе называют "соотношения неопределённостей", были установлены Гейзенбергом.

В обычной физике принято считать, что электрон движется по вполне определённой траектории, и в каждый момент времени находится в определённой точке пространства. Просто мы не знаем, где он находится. А когда мы хотим узнать его местоположение при помощи какого-нибудь физического прибора, то тем самым воздействуем на электрон, и в результате теряем возможность предсказать его дальнейшее движение. С этой точки зрения соотношения неопределённостей Гейзенберга отражают лишь наше незнание истинной траектории движения.

Это не так. Совершенно не важно, знаем ли мы, где находится электрон или не знаем. В любом случае движение электрона принципиально отличается от движения, скажем, камня. Дифракция электронов на кристалле - хорошо известный экспериментальный факт.

Можно сколько угодно кидать камни случайным образом через открытые окна - никакой интерференционной картины при этом не будет. Очевидно, что наше незнание местонахождения электрона не может быть причиной его необычного поведения. Вот, например, что писал о необычном поведении квантовых объектов Ричард Фейнман: "Поведение тела очень малого размера не похоже ни на что, с чем вы повседневно сталкиваетесь. Эти тела не ведут себя ни как волны, ни как частицы, ни как облака, или бильярдные шары, или грузы, подвешенные на пружинах, - словом, они не похожи ни на что из того, что вам хоть когда-нибудь приходилось видеть". И далее: "Раз поведение атомов так не похоже на наш обыденный опыт, то к нему очень трудно привыкнуть. И новичку в науке, и опытному физику - всем оно кажется своеобразным и туманным. Даже большие учёные не понимают его настолько, как им хотелось бы, и совершенно естественно, потому что весь непосредственный опыт человека, вся его интуиция - всё это обращено к крупным телам. Мы знаем, что будет с большим предметом; но именно так мельчайшие тельца и не поступают".

Итак, движение частиц в микромире принципиально отличается от движения макроскопических тел. В микромире частицы движутся не по непрерывной траектории. В их движении есть неопределённость, из-за которой движение частиц носит случайный и непредсказуемый характер.

Главный недостаток ОТО с точки зрения квантовой механики.

С точки зрения общей теории относительности предполагается, что в гравитационном поле изменяется пространственно-временной масштаб (соответственно, изменяется и выражение для квадрата интервала). Например, вблизи большой массы замедляется течение времени, а также изменяются расстояния между точками.

В общей теории относительности предполагается, что фундаментальные физические постоянные (c , \hbar , m , e ...) вблизи большой массы не изменяются. И здесь возникает следующее противоречие с квантовой механикой. С точки зрения квантовой механики частота излучения атома полностью определяется величинами c , \hbar , e , m_e , m_p , m_n (здесь m_e , m_p , m_n - соответственно массы покоя электрона, протона и нейтрона). А если все эти величины остаются в гравитационном поле теми же самыми, то, следовательно, частоты излучения атомов также должны оставаться теми же самыми. Почему же тогда время вблизи большой массы замедляется?

Таким образом, главный недостаток общей теории относительности с точки зрения квантовой механики состоит в следующем. В рамках общей теории относительности время рассматривается как самостоятельная физическая величина, полностью независимая от протекания конкретных физических процессов. Хотя, с другой стороны,

современный эталон времени определяется через период излучения определённой спектральной линии.

Идея В.Л. Янчилина заключается в том, что вблизи большой массы изменяются скорость света, постоянная Планка, а также массы покоя элементарных частиц. И именно это, в свою очередь, приводит к изменению пространственно-временного масштаба. Именно в этом случае гравитация согласуется с квантовой механикой.

5. 4. Квантовая гравитация Янчилина.

Гравитационный потенциал Вселенной

Оценим массу Вселенной: $M_U \approx 4/3\pi\rho_U R_U^3$, где $\rho_U \approx 10^{-26}$ кг/м³ – средняя плотность материи во Вселенной, $R_U = cT_U \approx 10^{26}$ м - радиус Вселенной. Здесь c – скорость света, T_U - время существования Вселенной $T_U \approx 15$ млрд. лет = $5 \cdot 10^{17}$ с. Масса Вселенной $M_U \approx 4 \cdot 10^{52}$ кг, что составляет почти триллион галактик.

Гравитационный потенциал, создаваемый всей массой Вселенной: $\Phi_U \approx -G M_U / R_U \approx 3 \cdot 10^{16}$ м²/с², примерно равен квадрату скорости света ($c^2 \approx 10^{17}$ м²/с², G – гравитационная постоянная).

Янчилин принимает, что точность наших данных о плотности вещества Вселенной ρ_U и её размере R_U позволяет принять в качестве закона: - $\Phi_U = c^2$, где c – скорость света. Отсюда следуют два очевидных вывода: 1) За пределами Вселенной, где отсутствует её вещество, скорость света $c \rightarrow 0$, и 2) На ранних этапах эволюции Вселенной, когда её размер R_U - был меньше современного, скорость света c ($c \sim 1/R_U$) - была больше современной.

Эта, казалось бы, простая и более или менее очевидная формула положена В. Янчилиным в основание разработанной им принципиально новой теории квантовой гравитации.

Далее, Янчилин находит изменение величин e , m , c в гравитационном поле:

1. Исходя из закона сохранения электрического заряда, он делает вполне правдоподобный вывод, что *величина заряда электрона вблизи массивного тела не изменяется.*

2. Исходя из закона сохранения массы, можно сделать вывод, что *масса покоя любого тела, в том числе и масса покоя электрона, должна уменьшаться вблизи массивного тела.* Это так называемый дефект массы, равный гравитационной энергии связи, деленной на квадрат скорости света.

3. Исходя из закона Всемирного тяготения, в первом приближении, можно рассчитать, *как вблизи массивного тела изменяется любой эталон длины и, следовательно, узнать, как изменяется размер атома водорода.*

4. Исходя из анализа особенностей спектральных линий излучения атомов в лаборатории и космосе, можно прийти к заключению, что постоянная тонкой структуры $\alpha = e^2/ch = 1/137$ -const - не зависит от гравитационного потенциала.

(Постоянная тонкой структуры α - является фундаментальной физической постоянной, характеризующей силу электромагнитного взаимодействия. Впервые она была описана в 1916 г. немецким физиком Арнольдом Зоммерфельдом в качестве меры релятивистских поправок при описании атомных спектральных линий в рамках модели атома Бора).

После всего этого находим, как изменяется в гравитационном поле постоянная Планка.

Такой подход к гравитационному взаимодействию позволяет получить все известные релятивистские гравитационные эффекты. Кроме того, (и это самое главное!) он позволяет предсказать *принципиально новый эффект*, который *противоречит* общей теории относительности. Более того, уже в настоящее время можно провести относительно простой эксперимент, который позволит однозначно определить, какая из двух теорий гравитации (общая теория относительности или новая теория, основанная на уравнениях квантовой механики) является правильной.

Что такое квантовая теория гравитации по Янчилину.

Известно, что все тела притягивают друг друга, но не известно, почему это происходит. Закон Всемирного тяготения Ньютона (или его модификация, сделанная Эйнштейном в общей теории относительности) позволяет рассчитать, как будет двигаться то или иное тело в гравитационном поле. Этот закон очень хорошо описывает, как происходит гравитационное взаимодействие. Но он ни слова не говорит о том, почему тела притягивают друг друга. Иначе говоря, какой физический "механизм" имеет гравитационное притяжение?

Вот что писал об этом, например, Ричард Фейнман в своих лекциях по физике: "До сих пор мы только описывали, как Земля обращается вокруг Солнца, но ни слова не сказали о том, что заставляет её двигаться. Ньютон не строил догадок об этом; ему было достаточно открыть, что происходит, не входя в механизм происходящего. Но и никто другой с тех пор никакого механизма не открыл".

В рамках теории Янчилина можно дать простое и наглядное объяснение механизму гравитационного взаимодействия. Рассмотрим поведение электрона (или другого квантового объекта) в гравитационном поле. Допустим, он локализован в окрестности точки А. Существует вероятность, что через некоторое время он окажется в окрестности точки В. Существует также вероятность обратного перехода. В пространстве с постоянным гравитационным потенциалом эти вероятности равны. Если же величина гравитационного потенциала в точке В меньше, чем в точке А ($\Phi_B < \Phi_A$, а $|\Phi_{пл}| > |\Phi_{и}|$), то, согласно формуле $c\hbar = e^2/\alpha = \text{const}$, $\hbar = e^2/\alpha(-\Phi)^{1/2}$, значение постоянной Планка в точке В меньше, чем в точке А. Это, в свою очередь, означает, что и неопределённость движения электрона в точке В меньше, чем в точке А. Следовательно, вероятность перехода электрона из окрестности точки А в окрестность точки В больше, чем обратно. Поэтому с точки зрения теории Янчилина гравитационное взаимодействие можно рассматривать как квантовый эффект. Вблизи большой массы неопределённость в движении электрона (или другой частицы) уменьшается, вследствие чего электрон движется в сторону большой массы.

Предложенный механизм гравитационного взаимодействия не только позволяет объяснить, почему все тела притягивают друг друга. Он также позволяет объяснить, почему гравитационное взаимодействие такое слабое. Это есть следствие того, что неопределённость в движении электрона (или любой другой частицы) ограничена, в основном, удалёнными массами Вселенной. А близко расположенные тела уменьшают неопределённость в его движении на очень незначительную в процентном отношении величину.

Обычно считается, что между теорией гравитации и квантовой механикой нет ничего общего. А в рамках теории Янчилина гравитационное взаимодействие - это исключительно квантовый эффект!

Квантовый механизм гравитационного взаимодействия можно рассмотреть и с другой точки зрения. В качестве примера опять рассмотрим движущийся электрон. Из-за того, что в движении электрона есть неопределённость, он обладает волновыми свойствами. То есть движущийся электрон представляет собой движущуюся волну, которая может быть описана с помощью волновой Ψ -функции. В однородном пространстве (в пространстве с одинаковым гравитационным потенциалом) волна будет распространяться по прямой линии. Но вблизи большой массы неопределённость в движении электрона уменьшится, и, следовательно, уменьшится его длина волны. В результате траектория движения электрона будет искривлена.

Принцип наименьшего действия.

Фундаментальные законы движения выражаются в виде принципа наименьшего действия (принципа Гамильтона). Суть принципа состоит в том, что тело будет двигаться

из точка а в точку b по такой траектории, вдоль которой будет иметь минимум величина S – называемая действием: $S = \int L dt = \min$, где L лагранжиан: $L = mV^2/2 - U(x, y, z)$.

Физический смысл принципа наименьшего действия раскрывает квантовая механика. Движение частицы представляет собой движение волны, описываемое волновой Ψ -функцией. Волна движется так, чтобы разность фаз в конце и начале пути была бы минимальна. Частица движется по траектории, которая соответствует наименьшему действию. Иначе, частица движется из точки в точку таким образом, чтобы затратить на пройденный путь наименьшее количество «шагов». А так же по такому пути, где «шаг» частицы - будет максимален (шаг, иначе, – длина волны).

Согласно теории Янчилина постоянная Планка меняется в гравитационном поле. Следовательно, частица будет двигаться по такой траектории, вдоль которой имеет минимум действие, измеренное в единицах \hbar , которая имеет размерность действия. Янчилин получает формулу, описывающую движение частицы в гравитационном поле, созданном точечной массой M . А вблизи массы M ее шаг уменьшается, и поэтому частица огибает массу, чтобы затратить на пройденный путь меньшее число шагов.

Возможность экспериментальной проверки закона квантовой гравитации (КГ).

Из закона КГ следует, что свет будет не только ускоряться в гравитационном поле, но и то, что величина скорости света будет изменяться вместе с изменением величины гравитационного потенциала. Расширение Вселенной должно найти отражение в уменьшении скорости света. Земля движется вокруг Солнца по эллипсу. Вследствие этого гравитационный потенциал, создаваемый Солнцем на поверхности Земли, изменяется в течение года. Экспериментально установлено, что скорость света постоянна с точностью примерно 1 м/с.

Используя формулы, полученные в КГ, можно оценить на какую максимальную величину Δc должна изменяться скорость света в течение года. Гравитационный потенциал на поверхности Земли изменится на величину $\Delta\Phi = (GM/L^2) \Delta L$, где M – масса Солнца, L – расстояние от Солнца до Земли, ΔL – изменение этого расстояния в течение года (510^9 м). Изменение скорости света составит величину $\Delta c = -\Delta\Phi/2c$, что составляет 0.05 м/с. Следовательно, закон КГ не противоречит современным данным по точности измерения величины скорости света. Проверка теории квантовой гравитации сопряжена, в этом случае, с решением технической задачи, связанной с повышением точности измерения скорости света на два порядка, что вполне осуществимо.

Янчилин предлагает ещё один весьма простой эксперимент по проверке квантовой теории гравитации. Суть его состоит в следующем. Двое очень точных и идентичных часов следует установить на различных высотах: одни – на равнине, другие – в горах. Если верна ОТО, то отставать будут часы, находящиеся на равнине. Относительное отставание часов составит $gh/c^2 = 510^{-13}$. За 12 дней они отстанут на 0.5 микросекунды. Если верна квантовая теория гравитации, то отставание будет примерно в два раза больше: за 12 дней часы отстанут на одну микросекунду. При этом часы на равнине уйдут вперед.

Следует учесть, что не все процессы будут ускоряться в гравитационном поле, Например, процессы, связанные с распадом ядра, будут, наоборот, замедляться. Поэтому в общем случае, чтобы выяснить, как изменяется скорость протекания какого-либо процесса в гравитационном поле, нужно хорошо представлять физику процесса.

Хаос – граница пространства и времени.

В современной физике принято считать, что окружающее нас пространство-время обладает совокупностью разнообразных свойств: 1) Макроскопические тела движутся в пространстве-времени по определенным траекториям. 2) В пространстве существуют инерциальные системы отсчета. 3) Существует предельная скорость распространения взаимодействий, одинаковая для всех наблюдателей. 4) Существует неопределенность в

движении субатомных частиц. 5) Пространство-время обладает геометрическими свойствами. 6) Любое тело, находящееся в пространстве-времени обладает энергией. Все свойства пространства-времени рассматриваются как неизменные и не зависящие от распределения масс во Вселенной.

Янчилин предлагает альтернативную точку зрения. Все свойства пространства-времени являются результатом взаимодействия находящихся в нем частиц и полей. Любое тело, существующее в пространстве-времени, обладает энергией покоя: $E_0 = m_0 c^2 = -m_0 \Phi$. Вне гравитационного поля Вселенной тело не будет обладать энергией, а значит, и не может существовать там.

Наблюдаемое движение тела есть результат гравитационного взаимодействия этого тела со всеми остальными массами Вселенной. Тогда движение тела будет зависеть от его гравитационной энергии, то есть зависеть от величины гравитационного потенциала Вселенной в данной точке пространства. А это в свою очередь будет означать, что и законы физики зависят от величины гравитационного потенциала.

Все массы Вселенной, взаимодействуя друг с другом посредством единого гравитационного поля, ограничивают неопределенность в движении тел. Существующие физические законы отображают эти ограничения. По мере удаления от всех масс Вселенной из-за уменьшения абсолютной величины гравитационного потенциала законы движения будут становиться всё менее определенными. А свойства пространства-времени будут постепенно вырождаться. Предельная степень вырождения пространства-времени и есть Хаос. Из-за того, что при приближении к Хаосу скорость света будет уменьшаться вплоть до нуля, будет разрушаться и причинно-следственная и пространственно-временная связь между различными событиями.

Из-за неограниченного возрастания неопределенности в движении, - понятие точки или местоположения в Хаосе теряет физический смысл. Понятия расстояния и времени имеют смысл только для тел, движение которых подчиняется определенным законам. Поэтому, при приближении к Хаосу понятия расстояния и времени теряют физический смысл. Хаос существует вне времени и за пределами пространства, а также является естественным вместилищем Вселенной. Пространство и время есть результат наложения гравитационного поля Вселенной на Хаос. Наблюдаемое движение физических объектов в пространстве и во времени есть результат ограничения их хаотического движения огромным гравитационным потенциалом Вселенной. Именно благодаря этому ограничению Хаос преобразуется в окружающее нас пространство и время.

Дискретное движение

Янчилин предложил принципиально новый тип движения, который позволяет найти объяснение многим парадоксам квантовой механики. Суть его состоит в том, что квантовые объекты, например электрон, движутся дискретно. Электрон движется в виде виртуального облака. Объем облака – это объем области пространства, в котором волновая Ψ -функция отлична от нуля. Янчилин предположил, что внутри этого облака электрон движется дискретно, а именно: в момент времени t электрон находится в некоторой точке облака, затем он исчезает из этой точки и через бесконечно малое время dt появляется в другой, совершенно произвольной точке, также находящейся в этом облаке. Т.о. электрон за бесконечно малое время побывает во всех точках облака. Более того, в каждой точке облака электрон побывает бесчисленное количество раз. Хаотическое движение электрона внутри облака является разрывным в каждой точке. Янчилин утверждает, что введение такого понятия позволяет описать происходящие в микромире процессы. Например, непрерывное движение можно описать как дискретное.

Соотношение неопределенностей. Неопределенность в местоположении электрона внутри облака приводит к неопределенности в силе электромагнитного взаимодействия электрона со своим полем. А неопределенность электромагнитной силы, с которой

электрон взаимодействует со своим полем, приводит к неопределенности в импульсе электрона. С другой стороны, чем больше область, в которой размазан электрон, тем слабее электромагнитное поле, создаваемое им, и, значит, тем слабее сила, с которой электрон взаимодействует со своим полем. Это, в свою очередь приводит к уменьшению неопределенности в импульсе электрона. Получается, что неопределенность в импульсе электрона обратно пропорциональна неопределенности в его местоположении. Это качественное объяснение соотношению неопределенностей Гейзенберга: $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$.

Редукция волновой Ψ -функции. В классической электродинамике не существует удовлетворительной модели электрона, он считается точечным. Полная энергия электромагнитного поля, создаваемая точечным зарядом, равна бесконечности. Поэтому, согласно классической электродинамике электрон должен обладать бесконечной массой. В квантовой электродинамике электрон также считается точечным, проблема бесконечной энергии точечного заряда остается не решенной.

В теории Янчилина электрон представлен в виде облака, имеющего конечный размер. Полная энергия такого электромагнитного поля конечна, проблема бесконечно большой энергии отпадает. Редукция волновой Ψ -функции является ключевым моментом к пониманию квантового парадокса «действие на расстоянии». Редукция, это схлопывание волнового пакета. Может ли она происходить быстрее скорости света? Действительно, это так. Противоречит ли это теории относительности? Янчилин показывает, что нет, т.к. ни заряд, ни масса, ни энергия не перемещаются.

Расщепление волнового пакета. Предположим, что электрон совершает хаотическое движение в ограниченной области, например, в комнате. В каждый сколь угодно малый, но конечный промежуток времени электрон успевает побывать (исчезнуть и появиться) во всех точках комнаты.

Разделим комнату пополам непроницаемой для электрона оболочкой. Перегородка, так же как и стены комнаты не взаимодействуют с электроном. Что в этом случае изменится в движении электрона? Ничего не изменится. Перегородка не будет мешать движению электрона, т.к. он движется не по непрерывной траектории, а дискретно: исчезает из одной области и появляется в другой. Итак, получилось две изолированные друг от друга комнаты, в которых движется дискретно *только один* электрон. Начнем отодвигать комнаты одна от другой. Расстояние между комнатами можно сделать сколь угодно большим. Электрон будет продолжать двигаться одновременно в двух комнатах. Примером такого дискретного движения в двух изолированных друг от друга областях может служить движение электрона в атоме.

Волновой пакет (виртуальное облако), в котором электрон совершает хаотическое дискретное движение, имеет возможность расщепиться на две половинки – два волновых пакета. Электрон может двигаться в двух различных направлениях. Например, он может пройти через два отверстия одновременно. Если при дальнейшем движении эти волновые пакеты соединятся на детекторе, то произойдет их интерференция. Хотя при этом электрон всего один.

Нелокальность квантовой механики позволяет коррелированно, одновременно взаимодействовать двум волновым пакетам, полученным из одной единой волновой Ψ -функции на сколь угодно больших расстояниях до тех пор пока не произойдет редукция, распад этой Ψ -функции.

Время необратимо именно потому, что происходит редукция Ψ -функции. Новая модель дискретного движения дает объяснение этому процессу на самом фундаментальном уровне. Скорость перемещения и скорость расплывания волнового пакета ограничена скоростью света, поэтому движение волнового пакета является непрерывным. При

расщеплении волновой Ψ -функции на два пакета и при редукции одного из них, например за счет взаимодействия с классическим объектом, обнаружить электрон во втором пакете невозможно. Этот пример иллюстрирует корпускулярно-волновой дуализм.

Таким образом, подход, развиваемый Янчилиным, позволяет рассматривать движение квантового объекта как комбинацию двух движений: непрерывного движения волновых пакетов и дискретного движения внутри этих пакетов.

Новая интерпретация квантовой механики позволяет объяснить: Откуда берется неопределенность в микромире, как электрон ухитряется пройти через два отверстия одновременно, как физически осуществляется механизм дальнего действия, что описывает Ψ -функция и как происходит её редукция, почему квантовый объект ведет себя то как частица, то как волна и, наконец, как объяснить необратимость времени.

5. 5. С какой скоростью распространяется гравитация?

Электромагнитное взаимодействие распространяется со скоростью света, и его переносчиками являются фотоны – кванты электромагнитного поля. Рассуждая по аналогии, можно предположить, что существуют гравитационные волны – возмущения гравитационного поля, распространяющиеся с конечной скоростью и несущие с собой энергию, а, следовательно, и массу. В этом случае возможно существование частиц, являющихся квантами гравитационного поля.

Впервые существование гравитационных волн было предсказано Эйнштейном на основе ОТО ещё в 1916. Начиная с 60-х годов XX века, в различных странах ведутся поиски гравитационных волн. Однако, несмотря на затраченные полувековые усилия, гравитационные волны не обнаружены.

Возможны три варианта:

1. $V = c$. Наиболее «естественная» возможность. Эйнштейн принял этот вариант без каких-либо экспериментальных доказательств.
2. $V > c$. Этот вариант противоречит специальной теории относительности. Представим себе, что $V = 500\,000$ км/с. Так как c – остается одной и той же в различных системах отсчета, V - должна быть различной в этих системах. Однако существует некоторая надежда, что гравитация выходит за рамки той области, где применима СТО. В пространстве, где есть поле тяготения, симметрия полностью исчезает, поэтому в нем не выполняется принцип относительности. Нет сохранения относительной или внутренней структуры цепочек событий при действии группы симметрии.
3. $V \leq c$. Вариант не противоречит специальной теории относительности, но V – должно быть близко к c , иначе, - наблюдались бы отклонения от закона Всемирного тяготения, в котором предполагается, что гравитация распространяется мгновенно.

Если гравитация распространяется мгновенно, то сила притяжения, действующая на Луну со стороны Земли, направлена в центр Земли. Если гравитация распространяется со скоростью света, то эта сила направлена в точку, которая находится в 40 км от центра Земли. Пьер Лаплас провел анализ данных наблюдений за движением Луны, накопленных за сотни лет и сделал определенный вывод.

Скорость гравитации и Лаплас.

Пьер Симон Лаплас (1749 -1827), основываясь на научных данных своего времени, ясно осознал, что Солнечная система очень чувствительна к возмущениям. В его время уже было известно, что скорость света конечна. А это означает, что видимые и истинные положения светил могут не совпадать. Рассмотрим простейший случай: два объекта А и В равной массы вращаются вокруг общего центра масс С по часовой стрелке. Пускай в момент времени $t = 0$ они лежат на одной линии:

А.....С.....В

Учитывая конечную скорость распространения света, наблюдатель в точке А видит точку В не в её истинном положении сейчас, а там где она была некоторое время назад (обозначим её В'), то есть под некоторым углом по отношению к направлению на центр масс. То же самое справедливо для наблюдателя В: он видит объект А в точке А'.

.....В'
А.....С.....В
А'.....

Оба наблюдателя видят друг друга чуть-чуть впереди по сравнению с центром масс. Если гравитационное взаимодействие распространяется с такой же скоростью, что и свет, то на каждый из этих двух объектов будет действовать ускоряющая сила. Значит, система должна постоянно раскручиваться и разлететься.

Поэтому Лаплас пришел к выводу о мгновенном распространении гравитации. Вот что он писал:

"...Расчет показал мне, что из этой разницы следует возрастание средних движений планет вокруг Солнца и спутников вокруг своих планет. Я вообразил, что таким способом можно объяснить вековое уравнение Луны, поскольку думал, так же как и все геометры, что оно необъяснимо при принятых представлениях о действии тяготения. Я нашел, что если бы вековое уравнение Луны происходило по этой причине, то чтобы полностью заменить ею тяготение Луны к Земле, надо было бы приписать Луне скорость, направленную к центру этой планеты, по крайней мере, в 7000000 раз большую, чем скорость света. Поскольку истинная причина векового уравнения Луны сегодня хорошо известна, мы уверены, что скорость распространения тяготения еще гораздо больше. Значит, эта сила действует со скоростью, которую мы можем рассматривать как бесконечную; и мы можем заключить, что притяжение Солнца передается за почти неделимое мгновение до крайних пределов солнечной системы".

Пьер Симон Лаплас, "Изложение Системы Мира", Ленинград, "Наука", 1982, стр. 224.

Итак, уже двести лет назад, для спасения устойчивости Солнечной системы Лаплас был вынужден указать на бесконечную скорость распространения гравитации.

Объяснение парадокса с точки зрения ОТО.

В начале двадцатого века было доказано, что никакие взаимодействия не могут распространяться быстрее скорости света, поскольку при этом нарушается принцип причинности. На смену ньютоновской теории гравитации пришла эйнштейновская теория относительности. А вопрос устойчивости Солнечной системы теперь должен был решаться по-другому. Откроем сборник задач по теории относительности и гравитации. (А.Лайтман, В. Пресс, Р. Прайс, С. Тюкольски. Москва, Мир, 1979, стр. 80.)

Задача 12.4. Положение Солнца на небе в принципе можно определить с помощью чувствительного приливного гравиметра. На какой угол отличается положение, определенное этим способом, от измеренного оптическими средствами? Далее если бы истинное положение Солнца соответствовало его оптически наблюдаемому положению, то на Землю вдоль направления её движения должна была бы действовать некая сила. Почему? Как бы в этом случае менялся со временем радиус земной орбиты?

Уже из условия задачи ясно, что в нынешней теории гравитации направление на видимое положение Солнца и направление его гравитационного взаимодействия не лежат на одной линии. На странице 322 читаем решение этой задачи:

Лаплас был первым, кто осознал тот факт, что эти два положения должны отличаться друг от друга. Оптически наблюдаемое положение Солнца на небосводе смещено за счет конечности скорости света; другими словами, приходящий от Солнца свет испытывает абберацию на угол $\gamma = v/c$, где v - скорость движения Земли по орбите. Далее поскольку кулоновское гравитационное поле абберации не испытывает, то если бы сила тяготения была направлена в сторону смещенного положения Солнца,

существовала бы компонента солнечного ускорения, равная $(GM_{Sun}/r^2)*(v/c)$ и направленная вдоль движения Земли. В этом случае энергия Земли должна была бы возрасти со скоростью

$$d(E/M_{Earth}) / dt = GM_{Sun}/r^2 * v^2/c$$

Однако, поскольку $E/M_{Earth} = - (1/2)GM_{Sun}/r$ мы фактически имели бы дело с потерей энергии [Я бы уточнил: с потерей кинетической энергии, ростом потенциальной энергии, и в итоге - ростом общей энергии. И.Г.], соответствующей увеличению радиуса земной орбиты со скоростью $dr/dt = 2v^2/c$. Если учесть, что $v^2 = GM_{Sun}/r$, это уравнение легко интегрируется:

$$t-t_0 = c/(4GM_{Sun})*(r^2-r_0^2).$$

Для земной орбиты $r=1.5*10^{13}$ см, $v = 30$ км/с, так что $v/c=10^{-4}$. [То есть, авторы здесь несколько нарушили последовательность изложения, взяли отношение $v/c = 30(\text{км/с})/300000(\text{км/с})=10^{-4}$, и указали нам первый ответ: угол между направлением силы гравитационного и видимого положений Солнца. А далее они продолжают решение, и стартуют Землю с поверхности Солнца по касательной.] Если теперь положить r_0 равным, например, радиусу Солнца $r_0 = 7*10^{10}$ см, то $t-t_0 \sim 1,3*10^{10}$ с ~ 400 лет. Это значительно меньше, чем длительность геологического периода, в течение которого, как известно, радиус земной орбиты не менялся.

Следовательно, если бы Земля находилась у поверхности Солнца, то ускоряющая сила вывела бы Землю на её нынешнюю траекторию за 400 лет. А почему бы и нет? Поверхность Солнца не есть положение равновесия для нас. Положением равновесия для нас должна быть наша нынешняя орбита, по которой Земля уже летает миллиарды лет. Но описанная ускоряющая сила должна толкать Землю и дальше от этой орбиты. Чтобы вытолкнуть Землю не на одну астрономическую единицу, а на две а.е., то понадобилось бы 1600 лет; на три а.е. - 3600 лет; на четыре - 6400 лет. Но Земля не смещается со своей траектории. Следовательно, либо оптическое и гравитационное изображение Солнца отличаются, причем так, что можно было бы даже полагать скорость распространения гравитации бесконечной, либо должна существовать сила, направленная в противоположную сторону, и противодействующая этому ускорению, так чтобы для планет существовали области, где они находятся в положении устойчивого равновесия.

Гипотеза о нелокальной природе гравитационного поля.

Рассмотрим ситуацию, когда скорость распространения гравитации бесконечна: $V = \infty$. Как известно, такого взгляда придерживался Ньютон. В сформулированном им законе Всемирного тяготения гравитационное взаимодействие распространяется мгновенно. Конечно, даже во времена Ньютона бесконечная скорость распространения вызывала недоверие. После создания специальной теории относительности, когда стало ясно, что ничто материальное не может перемещаться в пространстве быстрее света, недоверие к бесконечности скорости возросло.

Однако после создания квантовой механики ситуация существенно изменилась. Квантовая механика – это нелокальная теория, которая предсказывает существование мгновенной корреляции в движении пространственно разнесенных объектов. В том случае, если эти объекты описываются общей волновой Ψ -функцией. Многочисленные эксперименты подтвердили одно из самых странных свойств квантового мира – нелокальность. Квантовая механика предсказывает существование нелокальной связи между пространственно разделенными объектами. Суть нелокального взаимодействия состоит в том, что система, состоящая из нескольких элементарных частиц, ведет себя как единое целое и взаимодействует с окружающим миром как единое целое. Если, например, одна из частиц этой системы взаимодействует с классическим объектом, то одновременно с изменением её состояния изменяется состояние всех остальных частиц.

Для того чтобы между различными частицами возникла нелокальная связь, достаточно, чтобы они в течение некоторого времени взаимодействовали друг с другом.

Для того чтобы разрушить нелокальную связь между двумя частицами, достаточно одну из них локализовать в некотором месте пространства.

Нелокальность существует между квантовыми объектами, и это экспериментально доказанный факт, однако почему бы не допустить, как это делает Янчилин, наличие нелокальной связи между гравитационными полями, создаваемыми различными массами Вселенной? В этом случае:

Гравитационное взаимодействие передаётся мгновенно на громадные расстояния не потому, что оно распространяется с бесконечной скоростью, а потому, что существует нелокальная связь между гравитационными полями, создаваемыми всеми массами, заполняющими Вселенную.

Например, движение нашей Галактики мгновенно влияет на движение соседней галактики, и наоборот. И при этом ничто материальное не распространяется от одной галактики к другой. То есть, гравитационных волн просто нет! Эта идея открывает возможность найти объяснение известным в солнечной системе резонансам и соизмеримостям во вращении планет и спутников.

5. 6. Черные дыры.

Черная дыра в гравитации Ньютона. Для того чтобы вылететь из поля притяжения тела массой M радиусом R , тело массы m должно иметь скорость V : $mV^2/2 = GmM/R$, $V = (2GM/R)^{1/2}$. Вторая космическая скорость на поверхности тела массы M равняется скорости света c при радиусе тела $r_g = 2GM/c^2$. Величина r_g называется гравитационным радиусом массы M . Если радиус некоторой массы меньше гравитационного, то означает ли это то, что свет не может покинуть её поле притяжения? В рамках модели Янчилина такой подход не правомерен, т.к. неизвестна скорость света вблизи массы M .

Черная дыра в ОТО. Решение уравнения Эйнштейна для случая точечной массы получено Шварцшильдом. Суть его в следующем. Если на большом удалении от массы пройдет интервал времени T : $T = T_0(1 - 2GM/rc^2)^{1/2}$. Получается, что на расстоянии $r_g = 2GM/c^2$ все физические процессы полностью останавливаются! Гипотетический массивный объект с радиусом меньше гравитационного, получил название «черная дыра».

Черная дыра в рамках ньютоновской гравитации, это огромная масса, вблизи которой вторая космическая скорость больше чем 300 000 км/с. Такие объекты могут существовать в природе. В черной дыре согласно ОТО, время замедляется и останавливается, сила гравитационного притяжения возрастает до бесконечности. С точки зрения стороннего наблюдателя он никогда не достигнет черной дыры, т.к. ему потребуется бесконечное время для достижения гравитационного радиуса.

Как ответить на вопрос: является ли Вселенная черной дырой, т.к. в течение её эволюции размер Вселенной, очевидно, был меньше гравитационного радиуса. Опыт изучения Вселенной противоречит идее черной дыры. Иначе получается, что, наблюдая Вселенную, - мы видим, что происходит внутри неё.

Черная дыра.

Имеется предел для массы звезды, которая может удерживаться в равновесии плотно упакованными нейтронами. Этот предел невозможно вычислить точно, так как поведение вещества при плотностях, существенно превышающих плотность ядерной материи, недостаточно изучено. Оценки массы звезды, которая уже не может стабилизироваться за счет вырожденных нейтронов, дают значение $\sim 3M_{\odot}$.

Таким образом, если при взрыве сверхновой сохраняется остаток массы $M > 3M_{\odot}$, то он не может существовать в виде устойчивой нейтронной звезды. Ядерные силы отталкивания на малых расстояниях не в состоянии противостоять дальнейшему гравитационному сжатию звезды. Возникает необычный объект - черная дыра. Основное свойство черной дыры состоит в том, что никакие сигналы, испускаемые ею, не могут

выйти за её пределы и достигнуть внешнего наблюдателя. Звезда массы M , коллапсируя в черную дыру, достигает сферы радиуса r_g (сферы Шварцшильда):

$$r_g = 2GM/c^2,$$

(Формально к этому соотношению можно прийти, полагая в известной формуле для второй космической скорости $v_{k2} = (2GM/R)^{1/2}$ предельное значение этой скорости, равное скорости света).

При достижении объектом размера сферы Шварцшильда, его гравитационное поле становится столь сильным, что покинуть этот объект не может даже электромагнитное излучение. Шварцшильдовский радиус Солнца равен 3 км, Земли - 1 см.

Черная дыра Шварцшильда относится к не вращающимся объектам и является остатком массивной не вращающейся звезды. Вращающаяся массивная звезда коллапсирует во вращающуюся черную дыру (черную дыру Керра).

Черную дыру можно обнаружить только по косвенным признакам, в частности, если она входит в состав двойной звездной системы с видимой звездой. В этом случае черная дыра будет затягивать газ звезды. Этот газ будет нагреваться, становясь источником интенсивного рентгеновского излучения, которое может быть зарегистрировано.

В настоящее время нет прямых экспериментальных подтверждений существования черных дыр. Есть несколько космических объектов, поведение которых можно объяснить присутствием черных дыр. Так имеется объект Лебедь XI, представляющий собой двойную систему с периодом вращения 5.6 суток. В состав системы входят голубой гигант с массой $22M_{\odot}$ и невидимый источник пульсирующего рентгеновского излучения с массой $8M_{\odot}$, который возможно является черной дырой (объект такой большой массы не может быть нейтронной звездой).

Наряду с черными дырами, образовавшимися при коллапсе звезд, во Вселенной могут быть черные дыры, возникшие задолго до появления первых звезд вследствие неоднородности Большого Взрыва. Появившиеся при этом сгустки вещества могли сжиматься до состояния черных дыр, тогда как остальная часть вещества расширялась. Черные дыры, образовавшиеся на самом раннем этапе Вселенной, называют реликтовыми. Предполагают, что размер некоторых из них может быть значительно меньше размера протона.

В 1974 г. Хокинг показал, что черные дыры должны испускать частицы. Источником этих частиц является процесс образования виртуальных пар частица-античастица в вакууме. В обычных полях эти пары аннигилируют столь быстро, что их не удается наблюдать. Однако в очень сильных полях виртуальные частица и античастица могут разделиться и стать реальными. На границе черной дыры действуют мощные приливные силы. Под действием этих сил некоторые из частиц (античастиц), входивших в состав виртуальных пар, могут вылететь за пределы черной дыры. Так как многие из них аннигилируют, черная дыра должна становиться источником излучения. Энергия, излучаемая в пространство черной дырой, поступает из её недр. Поэтому в процессе такого испускания частиц, масса и размеры черной дыры должны уменьшаться. Таков механизм “испарения” черной дыры. Оценки показывают, что темп “испарения” очень медленный. Черная дыра массой в 10 солнечных масс испарится за 10^{69} лет. Время испарения сверхмассивных (миллиарды масс Солнца) черных дыр, которые могут быть в центре больших галактик, может составлять 10^{96} лет.

5. 7. Темная энергия.

Дифференциальные скорости вращения галактик (то есть зависимость скорости вращения $v(r)$ галактических объектов от расстояния r до центра галактики) определяются распределением массы в данной галактике и для сферического объема с радиусом r , в котором заключена масса $M(r)$, задаются соотношением:

$$v(r) = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}},$$

т. е. за пределами объёма $M(r)$, в котором сосредоточена основная масса галактики скорость вращения $v(r) \sim r^{-1/2}$. Однако для многих спиральных галактик скорость $v(r)$ остаётся почти постоянной на весьма значительном удалении от центра (20—25 килопарсек), что противоречит быстрому убыванию плотности наблюдаемой материи от центра галактик к их периферии (см. рис. П5-3).

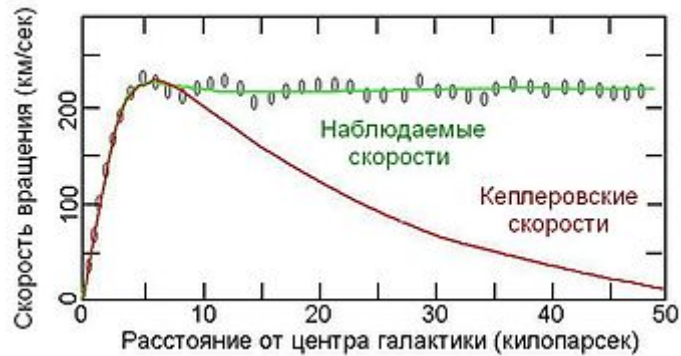


Рис. П5-3. Кривые дифференциального вращения галактик: отклонение от кеплеровского закона вращения объясняется, предположительно, наличием скрытой массы.

Таким образом, для объяснения наблюдаемых значений $v(r)$ необходимо допустить существование ненаблюдаемой (несветящейся) материи, простирающейся на расстояния, превышающие в десятки раз видимые границы галактик и с массой, на порядок выше совокупной массы наблюдаемой светящейся материи галактики.



Рис. П5-4. Состав Вселенной по данным WMAP.

Тёмная материя в астрономии и космологии - это гипотетическая форма материи, которая не испускает электромагнитного излучения и не взаимодействует с ним. Это свойство данной формы вещества делает невозможным её прямое наблюдение. Однако возможно обнаружить присутствие тёмной материи по создаваемым ею гравитационным эффектам. Обнаружение тёмной материи поможет решить проблему скрытой массы, которая, в частности, заключается в аномально быстрой скорости вращения внешних областей галактик.

Барионная тёмная материя. Предполагается, что некоторая часть тёмной материи — это обычное вещество, но не испускающее электромагнитного излучения или испускающего слишком мало для прямого обнаружения. Как минимум, некоторые из таких объектов можно считать уже обнаруженными. Это тёмные галактические гало. Также на роль тёмного барионного вещества предлагают уже открытые коричневые карлики и нейтронные звезды.

Небарионная материя. В зависимости от скоростей частиц, из которых состоит тёмная материя, её можно разделить на несколько классов:

Горячая тёмная материя. Состоит из частиц, движущихся со скоростью близкой к световой, вероятно из нейтрино. Эти частицы имеют очень маленькую массу, но всё же не нулевую, учитывая огромное количество нейтрино во вселенной (300 частиц на 1 см^3), это даёт огромную массу. В некоторых моделях на нейтрино приходится 10 % тёмной материи. Эта материя из-за своей огромной скорости не может образовывать стабильные структуры, но может влиять на обычное вещество и другие виды тёмной материи.

Тёплая тёмная материя. Материю, движущуюся с релятивистскими скоростями, но ниже, чем у горячей тёмной материи, называют «тёплой». Скорости её частиц могут лежать в пределах от $0,1c$ до $0,95c$. Некоторые данные, в частности, температурные колебания фонового микроволнового излучения, дают основания полагать, что такая форма материи может существовать. Пока нет никаких кандидатов на роль составляющих тёплой тёмной материи, но возможно, стерильные нейтрино, которые должны двигаться медленнее обычных трёх ароматов нейтрино, может стать одним из них.

Холодная тёмная материя. Тёмную материю, которая движется при классических скоростях, называют «холодной». Этот вид материи представляет наибольший интерес, так как, в отличие от тёплой и горячей тёмной материи, холодная может образовывать стабильные формирования, и даже целые тёмные галактики.

Однако недавно было высказано противоположное мнение: Темная материя – всего лишь иллюзия, производимая эффектом гравитационно поляризованного квантового вакуума, считает исследователь из CERN. Объяснить странное поведение вещества в галактиках можно на основе известных квантово-механических эффектов, не привлекая экзотическую физику. Физик Драган Славко Хадждукевич (Hajdukovic D.S), работающей в CERN - один из тех, кто скептически относится к гипотезе скрытой массы. В свежем номере журнала *Astrophysics and Space Science* опубликована его статья под названием «Не является ли темная материя иллюзией, вызванной гравитационной поляризацией квантового вакуума?» (текст статьи доступен в архиве электронных препринтов), предлагающая альтернативное и довольно изящное решение проблемы парадокса со скоростями.

«Есть два подхода в объяснении аномально высоких скоростей вращения внешних областей галактик: один постулирует существование темной материи, другой требует изменения закона гравитации, – пояснил Хадждукевич. - Я предлагаю третий вариант, не требующий ни участия темной материи, ни модификаций существующих законов».

5. 8.Самогравитация.

Самогравитация рассматривается на примере плоского холодного бесконечно тонкого гравитирующего слоя. В такой модели при сжатии вещества *не возникает противодействующей силы*. Вещество, ускоряясь, падает на область повышенной плотности, увеличивая её величину и, тем самым, увеличивая силу притяжения.

Развивается гравитационная неустойчивость (коллапс), частота возмущений которой является чисто мнимой.

В такой системе *из-за отсутствия возвращающей силы - колебательного процесса нет*. Для холодных систем нет различия между бесстолкновительной и газодинамической средами.

Вещество падает само на себя для любых начальных возмущений, но наиболее быстро растут мелкомасштабные (большие k), и этим гравитирующий слой отличается от однородной во всех направлениях среды плотности ρ_0 , для которой $\omega^2 = 4\pi G\rho_0$. Последнюю формулу легко понять на следующем примере. Если в начальный момент времени расстояние между двумя одинаковыми неподвижными относительно друг друга гравитационно взаимодействующими телами равно a , то через время $t_0 = \pi/2(a^3/2mG)^{1/2}$ частицы столкнутся (это значение легко получить из третьего закона Кеплера). Принимая для оценок среднюю плотность такой системы $\rho_0 = 2m/(4/3\pi a^3)$, получаем $t_0 \approx 1/(G\rho_0)^{1/2}$. Мнимая часть частоты (инкремент) обратна характерному времени роста возмущений и по порядку величины $\text{Im}(\omega) \sim 1/t_0 \sim (G\rho_0)^{1/2}$.

В процесс самогравитации последовательно включаются в рассмотрение: учет хаотического движения частиц, вращения диска, различных неоднородностей равновесных величин и т.п. Некоторые факторы делают диск более неустойчивым (увеличивают инкремент), и их естественно называть дестабилизирующими. Другие приводят к уменьшению инкремента вплоть до стабилизации гравитационной неустойчивости.

Гравитационный коллапс - быстрое сжатие и распад межзвездного облака или звезды под действием собственной силы тяготения. Гравитационный коллапс – очень важное астрофизическое явление; он участвует как в формировании звезд, звездных скоплений и галактик, так и в гибели некоторых из них.

В межзвездном пространстве существует множество облаков, состоящих в основном из водорода плотностью около 1000 ат/см^3 , размером от 10 до 100 св. лет. Их структура и, в частности, плотность непрерывно изменяются под действием взаимных столкновений, нагрева звездным излучением, давления магнитных полей и т.д. Когда плотность облака или его части становится настолько большой, что гравитация превосходит газовое давление, облако начинает неудержимо сжиматься – оно коллапсирует. Небольшие начальные неоднородности плотности в процессе коллапса усиливаются; в результате облако фрагментирует, т.е. распадается на части, каждая из которых продолжает сжиматься.

При сжатии газа возрастают его температура и давление, что может препятствовать дальнейшему сжатию. Но пока облако прозрачно для инфракрасного излучения, оно легко остывает, и сжатие не прекращается. Однако по мере нарастания плотности отдельных фрагментов их остывание затрудняется и возрастающее давление останавливает коллапс – так образуется звезда, а вся совокупность превратившихся в звезды фрагментов облака образует звездное скопление.

Коллапс облака в звезду или в звездное скопление продолжается около миллиона лет – сравнительно быстро по космическим масштабам. После этого термоядерные реакции, происходящие в недрах звезды, поддерживают температуру и давление, что препятствует сжатию. В ходе этих реакций легкие химические элементы превращаются в более тяжелые с выделением огромной энергии (подобное происходит при взрыве водородной бомбы). Выделившаяся энергия покидает звезду в виде излучения. Массивные звезды излучают очень интенсивно и сжигают свое «горючее» всего за несколько десятков миллионов лет. Звездам малой массы хватает их запаса топлива на многие миллиарды лет медленного горения. Рано или поздно у любой звезды топливо заканчивается,

термоядерные реакции в ядре прекращаются и, лишенная источника тепла, она остается в полной власти собственной гравитации, неумолимо ведущей звезду к гибели.

Коллапс звезд малой массы. Если после потери оболочки остаток звезды имеет массу менее 1,2 солнечной, то его гравитационный коллапс не заходит слишком далеко: даже лишенная источников тепла сжимающаяся звезда получает новую возможность сопротивляться гравитации. При высокой плотности вещества электроны начинают интенсивно отталкиваться друг от друга; это связано не с их электрическим зарядом, а с их квантово-механическими свойствами. Возникающее при этом давление зависит только от плотности вещества и не зависит от его температуры. Такое свойство электронов физики называют вырождением. У звезд малой массы давление вырожденного вещества способно сопротивляться гравитации. Сжатие звезды останавливается, когда она становится размером приблизительно с Землю. Такие звезды называют белыми карликами, поскольку светят они слабо, но имеют сразу после сжатия довольно горячую (белую) поверхность. Однако температура белого карлика постепенно снижается, и через несколько миллиардов лет такую звезду уже трудно заметить: она становится холодным невидимым телом.

Коллапс массивных звезд. Если масса звезды более 1,2 солнечной, то давление вырожденных электронов не в состоянии сопротивляться гравитации, и звезда не может стать белым карликом. Ее неудержимый коллапс продолжается, пока вещество не достигнет плотности, сравнимой с плотностью атомных ядер (примерно $3 \cdot 10^{14}$ г/см³). При этом большая часть вещества превращается в нейтроны, которые, подобно электронам в белом карлике, становятся вырожденными. Давление вырожденного нейтронного вещества может остановить сжатие звезды, если ее масса не превышает приблизительно 2 солнечных. Образовавшаяся нейтронная звезда имеет диаметр всего около 20 км. Когда стремительное сжатие нейтронной звезды резко останавливается, вся кинетическая энергия переходит в тепло и температура поднимается до сотен миллиардов кельвинов. В результате происходит гигантская вспышка звезды, ее внешние слои с большой скоростью выбрасываются наружу, а светимость возрастает в несколько миллиардов раз. Астрономы называют это «взрывом сверхновой». Примерно через год яркость продуктов взрыва уменьшается, выброшенный газ постепенно охлаждается, перемешивается с межзвездным газом и в следующие эпохи входит в состав звезд новых поколений. Возникшая в ходе коллапса нейтронная звезда в первые миллионы лет быстро вращается и наблюдается как переменный излучатель – пульсар.

Если же масса коллапсирующей звезды значительно превышает 2 солнечных, то сжатие не останавливается на стадии нейтронной звезды, а продолжается до тех пор, пока ее радиус не уменьшится до нескольких километров. Тогда сила притяжения на поверхности возрастает настолько, что даже луч света не может покинуть звезду. Сжавшуюся до такой степени звезду называют черной дырой. Такой астрономический объект можно изучать только теоретически, используя общую теорию относительности Эйнштейна. Расчеты показывают, что сжатие невидимой черной дыры продолжается, пока вещество не достигнет бесконечно большой плотности (сингулярности).

Возможен ли коллапс пылевого шара в ОТО. Статья под таким названием была недавно опубликована в ДАН (Герштейн и др., 2008). Авторы, среди которых академик А.А.Логунов, разработавший альтернативную ОТО, релятивистскую теорию гравитации, обнаружили несоответствие между общими положениями псевдоримановой геометрии и уравнениями Гильберта-Эйнштейна. Уравнения ОТО оказываются не совсем адекватны общей идее ОТО, что гравитация проявляется как псевдориманова геометрия

пространства-времени. Это приводит к сингулярности, т.е. нефизическому решению, - получаемому при анализе уравнений ОТО.

«В отличие от ОТО, в релятивистской теории гравитации, как полевой теории, благодаря другой системе гравитационных уравнений, такая ситуация не возникает, так как согласно уравнениям релятивистской теории гравитации, **процесс сжатия пылевого шара непрерывно переходит к остановке сжатия шара, а затем к его последующему расширению**».

Вместо заключения.

В заключение приведём пару неудачных попыток понять сущность гравитации исходя из представлений о кажущейся аналогии между гравитацией и электродинамикой. Обе попытки имеют давнюю историю и принадлежат двум известным физикам: Хевисайду и Дирку.

Хевисайд предложил уравнения гравитации, подобные уравнениям Максвелла. Эти уравнения хорошо согласованы с рядом законов и принципов физики. Поэтому можно непосредственно обратиться к уравнениям Хевисайда, минуя ОТО.

Между ОТО и теорией Хевисайда большое различие, состоящее в том, что первая связана с ограниченной, а вторая - с неограниченной Вселенной. Поэтому в теории Хевисайда, как и в теории Ньютона, возникает проблема расходимости гравитационного потенциала, т.е. проблема гравитационного парадокса в безграничном пространстве, заполненном материей. Однако эта трудность имеет место только в случае, когда предполагается существование вещества с положительной массой, и только.

Уравнения Максвелла	Уравнения Хевисайда
$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho_E;$	$\operatorname{div} \mathbf{P}_G = -\rho_G;$
$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0;$	$\operatorname{div} \mathbf{P}_S = 0;$
$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{J}_E + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t};$	$\frac{1}{s_0} \operatorname{rot} \mathbf{s} = -\mathbf{J}_G + \frac{\partial \mathbf{P}_G}{\partial t};$
$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t};$	$\frac{1}{s_0} \operatorname{rot} \mathbf{G} = -\frac{\partial \mathbf{P}_S}{\partial t};$
$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P};$	$\mathbf{P}_G = \mathbf{P}_{GVF} + \mathbf{P}_{GK};$
$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{M},$	$\mathbf{P}_S = \mathbf{P}_{SFV} + \mathbf{P}_{SK},$

Проблема отрицательной массы ставит под сомнение этот подход. Существует подход, развиваемый Шиповым, где сказано о равенстве положительных и отрицательных масс во Вселенной. (Этот подход подвергается резкой критике физиками). В этом случае в теории гравитации Хевисайда (и Ньютона) сразу же снимаются возражения, связанные с гравитационным парадоксом. В гравидинамике Хевисайда появляется фундаментальное положение равенства положительных и отрицательных масс, эквивалентное фундаментальному положению равенства положительных и отрицательных электрических зарядов в электродинамике.

Исходя из признания СТО теорией всеобщего применения, необходимо распространить группу преобразований Лоренца и на уравнения Хевисайда. В частности, необходимо принять скорость гравитационных волн равной скорости света, положив массу релятивистским инвариантом. Таким образом, в теории Хевисайда становятся справедливыми все три фундаментальные положения электродинамики, если в нем осуществить замену релятивистски-инвариантных зарядов на релятивистски-

инвариантные массы.

Для полей: E - электрическое, \mathbf{M}' - магнитное, G - гравитационное, S - спиновое; для поляризаций ФВ: \mathbf{P}_{EFV} - электрическая, \mathbf{P}_{MFV} - магнитная, \mathbf{P}_{GFV} - гравитационная, \mathbf{P}_{SFV} - спиновая; для поляризаций вещества: \mathbf{P}_{EK} - электрическая, \mathbf{P}_{MK} - магнитная, \mathbf{P}_{GK} - гравитационная, \mathbf{P}_{SK} - спиновая. Кроме того, вводятся следующие обозначения: ρ_E - плотность электрических зарядов вещества; ρ_G - плотность гравитационных масс вещества; $\mathbf{J}_E = \rho_E \cdot \mathbf{v}$ - плотность электрического тока вещества; $\mathbf{J}_G = \rho_G \cdot \mathbf{v}$ - плотность гравитационного тока вещества; \mathbf{v} - скорость носителей электрического или гравитационного токов. В случае движения точечного электрического заряда q: $\mathbf{J}_E = \mathbf{v} q \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_q)$; в случае движения точечной гравитационной массы m: $\mathbf{J}_G = \mathbf{v} m \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_m)$; $\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_m)$ - δ -функция; $\mathbf{r}_q, \mathbf{r}_m$ - радиусы- векторы траектории движения электрического заряда и гравитационной массы соответственно; \mathbf{r} - текущий радиус-вектор; $\mathbf{v} = d\mathbf{r}_q/dt = d\mathbf{r}_m/dt$.

Уравнения Максвелла		Уравнения Хевисайда	
ϵ_0	$8.855 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$	g_0	$1.193 \cdot 10^9 \text{ м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^2$
μ_0	$1.257 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$	s_0	$0.9329 \cdot 10^{-26} \text{ м} \cdot \text{кг}^{-1}$
ρ_E	$\text{м}^3 \cdot \text{с} \cdot \text{А} = \text{Кл} / \text{м}^3$	ρ_G	$\text{м}^{-3} \cdot \text{кг} = \text{кг} / \text{м}^3$
\mathbf{J}_E	$\text{м}^2 \cdot \text{А} = \text{А} / \text{м}^2$	\mathbf{J}_G	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-1} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}}{\text{м}^3}$
\mathbf{P}_E	$\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{А} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{м}^3}$	\mathbf{P}_G	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^3}$
\mathbf{P}_M	$\text{м}^1 \cdot \text{А} = \frac{\text{А} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^3}$	\mathbf{P}_S	$\text{м}^1 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-1} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}}{\text{м}^3}$
\mathbf{E}	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} (\text{м} \cdot \text{с}^{-2})$	\mathbf{G}	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
\mathbf{M}'	$\text{Кл} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} (\text{с}^{-1})$	\mathbf{S}	с^{-1}

Уравнения гравидинамики Хевисайда стимулировали развитие идей, связанных с т.н. спиновыми полями кручения, или, иначе, с торсионными полями.

П. Дирак обратил внимание на безразмерную постоянную $e^2/4\pi G m_e m_p$, которая по порядку величины равна 10^{40} . Эта постоянная может быть получена следующим образом. Сила взаимодействия протона и электрона в атоме водорода обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними: $F_e = e^2/4\pi r^2$. То же самое относится и к гравитационному взаимодействию: $F_g = G m_e m_p / r^2$. Если составить отношение сил электростатической и гравитационной, то получится постоянная Дирака. Он высказал предположение (гипотеза больших чисел), что такое большое число в природе не может быть случайным, и связал это число с возрастом Вселенной. По последним оценкам ее возраст (T) составляет примерно 16 млрд. лет. Год - это искусственная единица времени. Дирак воспользовался атомной единицей времени, в которой за отсчет берется интервал

времени, в течение которого свет проходит "сквозь" классический электрон $e^2/4\pi m_e c^3$. Возраст Вселенной в этих единицах оказывается равным $\approx 10^{40}$. Дирак предположил, что эти очень большие числа действительно равны, т.е.: $e^2/4\pi G m_e m_p \approx T$. В атомной системе единиц заряд электрона e , массы протона и электрона m_p и m_e постоянны, если возраст Вселенной T растет, значит должна изменяться гравитационная постоянная ($G \sim 1/T$). В соответствии с возрастом Вселенной за год это изменение должно составлять 5×10^{-11} .

П. Дирак обратил внимание еще на одну очень большую безразмерную величину - полную массу Вселенной, выраженную в массах протона (примерно 10^{80}). Согласно гипотезе больших чисел следует ожидать, что это число пропорционально возрасту Вселенной в квадрате ($\sim T^2$). Это означает, что во Вселенной должно рождаться вещество, причем рождаться непрерывно. Дирак предположил два различных механизма этого явления. В первом из них новое вещество непрерывно рождается во всем пространстве Вселенной. Это, так называемое, - аддитивное рождение. Либо оно рождается рядом с уже существующим веществом, - это мультипликативное рождение. В предположении аддитивного рождения вещества масса Солнца M_\odot остается приблизительно постоянной величиной, следовательно $(G \times M_\odot) \sim 1/T$. Если имеет место мультипликативное рождение, $M_\odot \sim T^2$, т. е. $(G \times M_\odot) \sim T$.

Идеи П. Дирака были развиты и обобщены В. Кануто, П. Джорданом, Р. Дике и др. Проводимые ими исследования в значительной степени касались изменения во времени величины земного радиуса и величины ускорения силы тяжести в зависимости от вариации гравитационной постоянной. Кануто предполагал возможность вариации величины G , при этом, он считал, что при вариациях земного радиуса происходит превращение части потенциальной гравитационной энергии в энергию электромагнитного поля (?). Дике показал, что нет принципиальной разницы между предположениями об изменении массы и изменении гравитационной постоянной. Можно предположить, что в постоянной Дирака изменяется со временем электрический заряд, однако, как было показано (Sabbata, 1980), это противоречит современным экспериментальным данным.

Общая теория относительности не удовлетворяет тезису Дирака, но может быть соответствующим образом обобщена, что было сделано Джорданом, а затем Брансом и Дике. Из теории Джордана вытекает факт творения материи. Бранс и Дике, введя дополнительное к гравитационному скалярное поле, собственно связанное с изменением величины G , "обошли" эту трудность. Идея "творения" материи - ошибочна.

Литература

- Александров Е. Б. В поисках пятой силы // <http://n-t.ru/tp/iz/pps.htm>
Буллен К.Е. Плотность Земли. М.: Мир. 1978. 442 с.
Герштейн С.С., Логунов А.А., Мествиришвили М.А. Возможен ли коллапс пылевого шара в общей теории относительности. ДАН. Т. 421. № 1. С. 34-36. 2008.
Кэрри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. М.: Мир. 1991. 447 с.
Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра. 1965. 379 с.
Мясников В.М. Расширение Вселенной - локальная физика (опыт построения современной физической картины мира). ЛГУ. 2004. <http://quater1.narod.ru/>
Серкеров С.А. Теория гравитационного и магнитного потенциалов. М.: Недра. 1990. 304с.
Хаббард У. Внутреннее строение планет. М.: Мир. 1987. 327 с.
Шен Э.Л. Расширение Земли в связи с формированием её глобальной структуры. В кн. Проблемы расширения и пульсаций Земли. М.: Наука. 1984. С.180-185.
Шен Э.Л. Типы внутренней структуры Земли и возможные схемы эволюции Земли и планет. Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 2. С. 18-25.
Янчилин В.Л. Неопределенность, гравитация, космос. М.: Едиториал УРСС, 2003. 248с.
Янчилин В.Л. Тайны гравитации. М.: Новый Центр, 2004. 240с.

- Brans C., Dicke R.H. Mach's principle and relativistic theory of gravitation. *Phys. Rev.* 1961. V. 124. N. 3. P. 925-935.
- Brumfiel G. Particles break light-speed limit. Neutrino results challenge cornerstone of modern physics // *Nature*, 22 September 2011 | doi:10.1038/news.2011.554/
- Chao B.F., Gross R.S. Changes in the Earth's rotation and low-degree gravitational field induced by earthquakes. *Geophys. J.R. astr. Soc.* 1987. V. 91. P. 569-596.
- Chao B.F., Gross R.S. Changes in the Earth's rotational energy induced by earthquakes. *Geophys. J. Int.* 1995-a. V. 122. P. 776-783.
- Chao B.F., Gross R.S. and Dong D-N. Changes in global gravitational energy induced by earthquakes. *Geophys. J. Int.* 1995-b. V. 122. P. 784-789.
- Dicke R.H. Implication for cosmology of stellar and galactic evolution rates. *Rev. Mod. Phys.* 1962. V. 34. N. 1. P. 110-122.
- Dirac P.A.M. A new basis for cosmology. *Proc. Roy. Soc. London A.* 1938. V. 165. P. 199-206.
- Jordan T.H. The deep structure of the continents. *Sci.Amer.* 1979. V. 240. N 1. P.70-82. 570. N. 9. P. 63-90.
- Hajdukovic D.S. Is dark matter an illusion created by the gravitational polarization of the quantum vacuum? arXiv:gr-qc/0612088v2 (2007).
- Heaviside O.A. Gravitational and Electromagnetic Analogy. *The Electrician.* 1893. P. 281-282, 359.
- Sabbata V. On the variation of the gravitational constant G. *Acta cosmol. Zes.nauk UJ.* 1980. V.