

© М.Х. Шульман, 2011 - 2020

М. Х. Шульман

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ КОСМОЛОГИЯ

(Июнь 2011 – апрель 2020 г.г.)

Москва 2020

Шульман М.Х. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ КОСМОЛОГИЯ.

Рассмотрена альтернативная (по отношению к стандартной) космологическая модель Вселенной. Показана невозможность существования бесконечной Вселенной с ненулевой плотностью материи, неизбежность ее превращения в черную дыру вследствие гравитационного коллапса. Это, в свою очередь, неизбежно меняет наши представления о Вселенной, но и объясняет многие ее свойства, важнейшими из которых являются факт существования несингулярного начального момента (“Большой Взрыв”) и необратимое расширение. В такой модели время оказывается строго пропорциональным радиусу Вселенной, а ее энергия и масса не сохраняются, но растут за счет внешних ресурсов.

© Шульман М.Х., 2020

M.H.Shulman. ALTERNATIVE COSMOLOGY

An alternative cosmological model (relative to the standard one) of the Universe is considered. The infinite Universe cannot exist and has to contract into a black hole due to the gravitational collapse. This fact changes our representations about the Universe and explains its main properties, particularly – the non-singular initial point (“Big Bang”) and irreversible expansion. In such the model Time is strictly proportional to the Universe radius, and the total energy and mass do not conserve, they increase due to external resource.

© Shulman M. H., 2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге вниманию читателя предлагается новая космологическая модель, которая до настоящего времени не получила поддержки в среде профессиональных астрофизиков (и даже не известна подавляющему большинству из них). Данная книга фактически является фрагментом моей ранее выпущенной работы “Парадоксы, логика и физическая природа времени” и ограничена исключительно космологической тематикой.

С одной стороны, количество астрофизических данных за последние десятилетия стремительно растет вследствие бурного развития программы космических и наземных исследований. С другой стороны, в ходе моих собственных теоретических исследований мне удалось, насколько я в состоянии судить, получить некоторые новые результаты, которые все больше убеждают меня в справедливости развиваемой модели. В этой связи мне показалось целесообразным выделить “космологическую” часть предшествующей книги в отдельную публикацию (которая затем разрослась за счет ряда вновь включенных приложений), дав возможность читателю ознакомиться именно с ней.

Я горячо благодарен недавно скончавшемуся руководителю Российского междисциплинарного семинара по исследованию природы времени д.б.н. А. П. Левичу (МГУ) за проявленное им внимание и оказанную поддержку, в том числе за публикацию полученных мною результатов на сайте Института исследований природы времени (www.chronos.msu.ru, грант № 00-07-90211 Российского фонда фундаментальных исследований). Я также хотел бы выразить свою глубокую благодарность моему покойному другу А. В. Московскому за многолетнее обсуждение философии и истории физики, а также моему соавтору по нескольким статьям Гарри Рэффелу (США). Указанные лица, разумеется, не несут никакой ответственности за возможные недостатки данной работы.

В 2012 году я исправил опечатки, на которые мне любезно указал Ю.А. Лебедев, за что я ему искренне благодарен.

Вопросы и замечания читатели могут присылать мне по электронному адресу shulman@dol.ru.

Автор, февраль 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ВВЕДЕНИЕ.....	5
2. СТАНДАРТНАЯ КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.....	9
2.1. Стационарная космологическая модель Эйнштейна	9
2.2. Нестационарная космологическая модель Эйнштейна-Фридмана (без космологической постоянной)	10
2.3. Стандартная космологическая модель (с ненулевой космологической постоянной)	11
2.4. О давлении гравитирующей материи.....	13
2.5. Проблема космологической постоянной.....	15
3. О ЧЕРНЫХ ДЫРАХ, МЕТАБОЛИЧЕСКОМ ВРЕМЕНИ И ЛИНЕЙНОМ РАСШИРЕНИИ ВСЕЛЕННОЙ.....	17
3.1. Что происходит при коллапсе черной дыры.....	17
3.2. О черных дырах и их “метаболическом” поведении.....	21
3.3. Свойства черных дыр: взгляд внешнего наблюдателя.....	22
3.4. Что происходит внутри черной дыры?.....	23
3.5. Новый подход для области внутри ЧД.....	24
3.6. Наша Вселенная в роли ЧД во внешней супер-вселенной.....	25
4. НОВАЯ КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.....	26
4.1. Формализм ТШРВ.....	26
4.2. О замкнутости Вселенной.....	29
4.3. Проблемы “горизонта” и “плоскостности” Вселенной.....	30
4.4. Начальный пик спектра мощности флуктуаций температуры космического фонового излучения.....	32
4.5. Проблема пониженной яркости вспышек Сверхновых.....	35
4.6. Зависимость углового размера галактик от красного смещения.....	37
4.7. Зависимость численности галактик от красного смещения.....	40
4.8. Абсолютная система отсчета.....	45
4.9. Логические доказательства основной гипотезы ТШРВ.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Анатомия одного заблуждения.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Энтропия источника гравитации.....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Энтропия и эволюция.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Эволюция черных дыр.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Можно ли путешествовать во времени?.....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. О парадоксе старения фотонов.....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Неоконченная сюита для Вселенной.....	80
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Об испарении черных дыр и других источников гравитации.....	85
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. О черной дыре и информационном парадоксе.....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. О дискретном течении времени.....	96
ПРИЛОЖЕНИЕ 11. Рождение ЧД, причинность, нелокальность.....	99
БИБЛИОГРАФИЯ	106

1. ВВЕДЕНИЕ

Что такое Время? Его природа до сих пор остается недостаточно ясной для естествознания, хотя представление о нем интенсивно используется в научной и практической деятельности человечества. В механике Ньютона время выступало в качестве некоего универсального формального параметра, значение которого мистически неуклонно (и притом одинаково для всех точек Вселенной) возрастает, а все физические процессы происходят в пространстве в соответствии с течением времени. В специальной теории относительности противопоставление времени пространству в значительной мере снято благодаря их объединению в 4-мерный континуум, однако и там временная компонента имеет несколько "экзотический" характер, что проявляется в необходимости приписать ей мнимый множитель; и в этой модели априорно подразумевается неизменный рост времени в любой системе отсчета. Общая теория относительности позволила связать свойства времени с полями тяготения и геометрией пространства, однако не прояснила для нашей интуиции смысл этого параметра, а может быть и сделала его еще более таинственным; наряду с этим подразумеваемое течение времени стало связываться с пространственным расширением Вселенной.

Говоря о времени, мы, с одной стороны, можем говорить о его *протяженности*, которая проявляется в существовании у каждой физической системы характерных параметров, своего рода временных размеров (например, периода колебаний, времени полураспада и т.п.), в известной степени аналогичных пространственным размерам. С другой стороны, в работах Н.А. Козырева [Козырев, 1991] было введено представления о *ходе* времени. Можно принимать или отвергать его соображения об интенсивности и неравномерности этого *хода*, представления о времени как о некоей *субстанции*, его конкретные теоретические модели и результаты экспериментов, но любому человеку интуитивно очевиден (не непосредственно через органы чувств, но опосредованно, через опыт бытия) сам факт *течения* времени как основы любого природного или искусственного процесса. При этом времени присуще определенное *направление* этого хода - так называемая стрела времени. Точнее, говорят о нескольких стрелах времени - космологической, термодинамической и т.д., и о примечательной связи между ними, для объяснения которой выдвигаются различные теоретические обоснования.

Традиционный подход теоретической физики к описанию процессов основан на использовании представления о ходе времени в качестве первичного, исходного. В современной физике делаются также попытки прийти к понятию времени как ко вторичному, дедуцируемому или конструируемому на базе некоторых иных (микроскопических) фундаментальных понятий. Возможен и третий путь (инверсный по отношению к первому), который лежит в основе представленной работы. Этот путь в качестве отправной точки содержит следующий вопрос: "А не существует ли во Вселенной процесса, имеющего исключительно общий характер, который мог бы *породить* физическое время?"

Такой фундаментальный космологический процесс в действительности существует. Более того, он хорошо известен науке. Это - расширение Вселенной, открытое в первой трети XX века американским астрономом Э.Хабблом и другими (см., например, [Шаров, Новиков, 1989]). Под ним понимается не удаление тел от общего центра, а "всеобщее" увеличение расстояний между всеми телами. Хорошим модельным образом является "разбегание" точек на поверхности воздушного шара при его заполнении газом, при этом его центр не принадлежит поверхности, а все точки поверхности шара (Вселенной) равноправны.

Мои первые самостоятельные размышления на темы космологии датируются 1993 годом. Логика развития идеи сейчас уже не совпадает с логикой ее изложения в данной книге. Есть опасность, что читателю будет трудно понять (или отследить), каким образом в этой новой модели возникает связь между черными дырами, метаболическом временем и *линейным* (в этом метаболическом времени) расширением Вселенной. Поэтому здесь я кратко опишу именно логику *исторического развития* идеи, а уж затем буду стараться следовать внутренней логике самой модели (какой она мне сейчас представляется).

На первом этапе, задумавшись над идеями Н.А. Козырева, я попытался представить себе расширение чисто пространственной 4-мерной евклидовой шарообразной Вселенной. Мне в голову пришла мысль о том, нельзя ли *отождествить* понятие времени с радиусом Вселенной – тогда не потребуются никакое дополнительное конструирование этого понятия, и сразу получает исчерпывающее объяснение его универсальность.

Но здесь возникает конфликт с космологией общей теорией относительности (ОТО). В общепринятой космологической модели зависимость *радиуса* Вселенной от ее возраста в общем случае вовсе не является линейной! После довольно долгих размышлений я увидел выход из этой ситуации. *Стандартный* подход к решению системы уравнений Эйнштейна-Фридмана (ЭФ) состоит в том, чтобы принять давление материи P равным нулю (если пренебречь давлением света). Если же отказаться от этого принудительного приравнивая, то *существует* решение с линейной по времени зависимостью радиуса от времени. При этом давление оказывается заранее неизвестной функцией радиуса, которая находится в результате решения. Более того, и плотность материи, распределение которой при стандартном подходе также должно было задаваться внешним образом, теперь опять-таки не должна задаваться, а оказывается величиной, определяемой в результате решения.

Все это было хорошо, но были и два новшества, поначалу меня крайне смутившие. Во-первых, найденное давление оказывалось существенно *отрицательным* (а авторитет Эйнштейна казался незыблемым). Во-вторых, в новой модели (в глобальном масштабе времени) не выполнялся закон сохранения энергии, что в течение уже нескольких столетий должно вселять в каждого физика (или причисляющего себя к их числу) суеверный ужас.

Прошло значительное время, пока я вдруг осознал, почему получающееся давление действительно должно быть отрицательным. Это самое давление является ни чем иным, как проявлением объемной энергии гравитационного поля, а ведь гравитация характерна именно тем, что заставляет частицы материи стягиваться к общему центру, а не разбегаться (что происходит с частицами газа).

Еще более интересное объяснение оказалось у вывода о несохранения количества энергии и материи во Вселенной. Закон сохранения энергии (в соответствии с известной теоремой Нётер) обусловлен *однородностью* времени, т.е. *неизменностью физики* в течение всего периода существования Вселенной. Но в ОТО физика самым существенным образом зависит от геометрии Вселенной – в частности, компоненты фундаментального метрического тензора (а значит, и сила тяготения) зависят от радиуса кривизны Вселенной. Поэтому время (в глобальном масштабе) никак нельзя считать однородным. Все это означало, что законы сохранения вытекают из свойств пространства-времени, а не могут быть произвольно заданы в качестве внешних условий. Например, в классической механике закон сохранения энергии справедлив только при условии, что функция Лагранжа не зависит явно от времени (так, если масса частицы зависела бы явно от времени, то это, очевидно, не соответствовало бы закону сохранения).

Факт несохранения (линейного нарастания) энергии и массы во Вселенной натолкнул меня на мысль, что это сильно похоже на то, что происходит с черной дырой (ЧД). Поглощая материю извне, черная дыра необратимо увеличивает свою массу и свой размер, т.е. расширяется подобно нашей Вселенной. Таким образом, масса и размер ЧД параметризуют текущее состояние черной дыры (как годовые кольца – эволюцию дерева). Можно использовать размер ЧД для определения ее собственного *параметрического* времени – это время *течет* только тогда и постольку, когда и поскольку увеличивается масса ЧД.

Но может ли наша Вселенная быть черной дырой? Как часто бывает, пытаюсь ответить на этот вопрос, я прошел три стадии. Первая стадия – ужас от собственной дерзости и мысль о том, что научное сообщество дружно скажет: этого не может быть, потому что не может быть никогда! Во всяком случае, оно должно было бы испугаться этой идеи, поняв, к каким следствиям это ведет.

Однако спустя определенное количество лет наступила вторая стадия: я начал встречать публикации, в которых так или иначе эта мысль если не прямо, то косвенно, все же

высказывалась. В конце концов в 2010 году я обнаружил в электронном Архиве статью Ли Смолина [Smolin, 1994], в которой рассматривалась гипотеза, восходящая, по словам автора статьи, еще к Джону Арчибальду Уилеру:

“Можно предположить, что каждая черная дыра в нашей Вселенной приводит к созданию новой вселенной и, соответственно, большой взрыв в нашем прошлом есть результат формирования черной дыры в иной вселенной.” (Перевод мой – МХШ)

Много лет я пытался убедить научное сообщество рассмотреть эту гипотезу как *одну из возможных*, но научное сообщество меня не слушало, так что я практически потерял надежду узнать при своей жизни, прав ли я. Однако уныние действительно является большим грехом и должно преодолеваться. Ответ пришел с совершенно неожиданной стороны – не от научного сообщества.

Простое, но неопровержимое рассуждение, основанное на в общем-то известных фактах, перевело вопрос в третью стадию: этого просто *не может не быть*, наша Вселенная *должна* быть черной дырой! Доказательства этого утверждения элементарны и приведены в конце главы 4 (раздел 4.9).

Заметим, что поскольку черная дыра *необратимо* увеличивает свою массу и поверхность горизонта событий, “питаясь” энергией и материей, она расширяется, подобно нашей Вселенной. Исходя из такой космологической концепции, можно получить много аргументов, свидетельствующих в ее пользу. Более того, она успешно, с моей точки зрения, выдерживает конкуренцию со стороны Стандартной Космологической Модели.

В то же время наша Вселенная представляется изотропной, тогда как теория черных дыр рассматривает их как существенно неізотропные объекты. Если для *внешнего* наблюдателя ЧД отождествляется со своего рода сферической двумерной мембраной (ограничивающей трехмерную сферу), то для *внутреннего* наблюдателя почти все известные решения дают 3-мерные (и весьма экзотические) зависимости от радиуса, весьма далекие от изотропии.

Однако такие решения (и в том числе пугающие сингулярности) получаются в результате *продолжения вовнутрь* внешних решений. Но были предложены и иные подходы (см. ниже), где сингулярностей нет. Я пришел к еще более радикальной идее: при коллапсе ЧД происходит топологическое изменение пространства-времени. Таким образом, в нашей Вселенной черные дыры – это 2-мерные объекты не только с точки зрения внешнего наблюдателя, но и в принципе, внутри них нет ничего – ни материи, ни сингулярности, ни пространства-времени.

А если наша Вселенная – это гиперсферическая 3-мерная оболочка (черная дыра) в некоторой внешней 4-мерной (материнской) вселенной? Тогда все сходится с той моделью, которая возникла в моей голове первоначально. Анализ теоретических и эмпирических следствий из этой модели, приведенный ниже, все более укрепляет меня в мысли, что она ближе к действительности, чем стандартная космология.

Развиваемую ниже концепцию я предлагаю именовать Теорией Шаровой Расширяющейся Вселенной, кратко – ТШРВ. Ее космологический аспект и излагается ниже. В разделе 2 дается краткое описание стандартной космологической модели и некоторый ее критический анализ. Раздел 3 содержит переход от стандартной модели к модели на основе концепции черной дыры и описание формализма вновь предлагаемой модели – использование уравнений Эйнштейна-Фридмана, но с новыми граничными условиями. В разделе 4 приведены новые результаты, вытекающие из предложенной модели, и их сопоставление с данными астрофизических наблюдений.

Книга содержит также несколько приложений. В приложении 1 я анализирую ошибочные, с моей точки зрения, утверждения современных космологов. Приложение 2 содержит обобщение известной формулы для энтропии черной дыры на случай произвольного гравитирующего источника, что позволяет отказаться от очень грубой ее оценки с помощью голографического предела Бекенштейна. В приложении 3 развивается идея о том, что эволюция нашей Вселенной протекает по законам открытой системы, причем ее энтропия со временем не

возрастает, а уменьшается. В приложении 4 развиваются представления о глобальной эволюции черных дыр в нашей Вселенной, а также во вселенных иных размерностей. В приложении 5 показано, что машина времени не может перемещаться в прошлое, т.к. аннигилирует с окружающей материей. В приложении 6 я показываю, как ТШРВ решает парадокс “старения” фотонов, прилетающих к нам из далеких галактик.

2. СТАНДАРТНАЯ КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

2.1. Стационарная космологическая модель Эйнштейна

Как известно, классическая теория тяготения основывалась на законе Ньютона. Ньютонианская концепция Вселенной в качестве своей существенной предпосылки использует представление о бесконечном трехмерном пространстве, заполненном материей. Такая концепция, как было показано в конце 19-го столетия, приводит к определенным трудностям. В. Паули в книге [Паули, 1947] со ссылкой на работы Неймана и Зеелигера напоминает, что закон всемирного тяготения Ньютона может быть строго применен лишь в том случае, если плотность массы Вселенной при стремлении расстояния к бесконечности стремится к нулю быстрее, чем $1/r^2$. В противном случае сила, действующая на материальную точку со стороны всех масс Вселенной, будет неопределенной. Описанная проблема получила название гравитационного парадокса. В 1917 году Альберт Эйнштейн в работе [Эйнштейн, 1917] сослался на ту же трудность теории тяготения Ньютона для бесконечной Вселенной. Он также отметил, что граничное условие Ньютона в форме существования постоянного предела для гравитационного потенциала в пространственной бесконечности влечет за собой обращение на бесконечности в нуль плотности материи.

Эту проблему Эйнштейну удалось преодолеть в рамках релятивистской теории тяготения. Исходным пунктом для обобщения послужило дифференциальное уравнение Пуассона, связывающее в классической теории распределение в 3-мерном пространстве *скалярного* гравитационного потенциала с распределением масс. Эйнштейн предпринял следующие шаги: 1) перешел от скалярных величин и 3-мерных векторов к 4-мерным векторам и тензорам; 2) сформулировал основное уравнение поля, приравняв тензор энергии-импульса материи к тензорной величине, характеризующей *кривизну* пространства.

Кривизна пространства означала, что такая Вселенная *может не быть бесконечной* во всех трех пространственных направлениях (что обязательно присуще *плоскому* пространству). Бесконечная Вселенная оказывалась возможной, только если средняя плотность материи в ней была бы равна нулю. В противном случае Вселенная имеет конечный радиус R в пространстве¹, поэтому гравитационный парадокс исчезает, исчезает и необходимость задания произвольных пространственных граничных условий (например, на бесконечности). В первоначальной модели Эйнштейна Вселенная представляла собой 4-мерный цилиндр, который в любом пространственном сечении давал трехмерную сферу, тогда как образующая цилиндра соответствовала оси времени. Постоянство пространственного радиуса Вселенной отвечало отсутствию ее эволюции во времени, т.е. сугубо стационарной модели. В 1916 году Эйнштейн и предположить не мог, что размер Вселенной во времени может изменяться.

Итак, в космологическое уравнение Эйнштейна входит средняя плотность материи, а также среднее ее давление. Учитывая малые скорости галактик, Эйнштейн (а за ним и все его последователи) положил это (динамическое) давление равным нулю. И все было бы замечательно, если бы полученное уравнение Эйнштейна имело решение. Но решения с нулевым давлением не существовало. Более того, не существовало и решения с положительным давлением, давление могло быть только отрицательным. Вероятно, это обстоятельство повергло Эйнштейна в шок. Он, однако, придумал формальный выход, имевший самые далеко идущие последствия.

С одной стороны, он не решился явно допустить отрицательное давление, предельно лаконично мотивируя это так [Эйнштейн, 1953]:

¹ Эйнштейн нашел, что $R = (2MG)/(c^2\pi)$, где M – масса Вселенной, G – гравитационная постоянная Ньютона, c – скорость света; таким образом, R оказывается в π раз меньше так называемого "гравитационного радиуса" Вселенной.

“Возражением против такого решения является то, что приходится вводить отрицательное давление, для чего нет никаких физических оснований.”

С другой стороны, он тут же выпускает этого джинна с черного хода, введя “руками” в уравнение дополнительную константу Λ и придумав ей название “космологическая постоянная”, а давление как таковое приняв равным нулю. Разумеется, физический смысл этой константы все равно сводится к *отрицательному* давлению, и Эйнштейн, оправдываясь, пишет:

“Вещество состоит из электрически заряженных частиц. В рамках теории Максвелла они не могут быть поняты как свободные от особенностей электромагнитные поля. Чтобы не противоречить фактам, в выражение для энергии необходимо ввести дополнительные члены, не содержащиеся в теории Максвелла, которые обеспечили бы устойчивость электрически заряженных частиц, несмотря на взаимное отталкивание составляющих их одноименно заряженных частей. Именно в связи с этим Пуанкаре предположил, что внутри этих частиц имеется давление, которое и компенсирует электростатическое отталкивание. Нельзя, однако, определенно утверждать, что это давление исчезает вне частиц. Мы приходим к согласию с этими представлениями, если в нашем феноменологическом рассмотрении добавим член, описывающий давление. Это давление, однако, не следует смешивать с гидродинамическим давлением, поскольку оно служит лишь энергетическим выражением динамических связей внутри вещества.”

Заметим, что Эйнштейн здесь совершенно ясно говорит о том, что это “эффективное” давление, связанное с постоянной Λ , должно быть *отрицательным* и призвано *компенсировать* “взаимное отталкивание частей”, т.е. способствовать их взаимному *притяжению*.

2.2. Нестационарная космологическая модель Эйнштейна-Фридмана (без космологической постоянной)

В 1929 году Эдвин Хаббл опубликовал свой знаменитый закон: галактики разлетаются со скоростью, пропорциональной расстоянию между ними, а значит – Вселенная расширяется, т.е. не может считаться стационарной. Еще за несколько лет до этого А.А. Фридман предложил теоретическое обобщение космологической модели Эйнштейна на нестационарные случаи. Таким образом, современные представления об эволюции Вселенной восходят к простейшей космологической модели Эйнштейна-Фридмана, оперирующей с трехмерным неевклидовым пространством *переменного во времени* радиуса кривизны R (т.е. со сферической гиперповерхностью 4-мерного евклидова шара). Указанное пространство предполагается в этой модели изотропным и заполненным “пылевидной” материей, а время выступает в качестве формального параметра, от которого и зависит “текущая” кривизна пространства. При этих предположениях уравнения Фридмана-Эйнштейна записываются в виде (см., например, сноску на стр. 47 в монографии [Зельдович, Новиков, 1975]):

$$\begin{aligned} k \cdot (c/R)^2 + (\dot{R}/R)^2 + 2(\ddot{R}/R) &= -8 \cdot \pi G \cdot P/c^2 \\ k \cdot (c/R)^2 + (\dot{R}/R)^2 &= 8 \cdot \pi G \cdot \rho/3, \end{aligned}$$

где G - постоянная в законе всемирного тяготения Ньютона, c - скорость света, ρ - плотность, P - давление, $k = 0, 1$ или -1 в зависимости от знака кривизны. Здесь символы $\dot{R}$ и $\ddot{R}$ обозначают первую и вторую производную R по времени соответственно. Заметим, что если эти производные обратить в ноль, то мы получим в точности уравнение Эйнштейна для *стационарной* модели.

Скалярное давление, которое содержится в правой части первого уравнения, может быть обусловлено скоростями частиц, т.е. связано с их кинетической энергией, так что для покоящейся материи такое (динамическое) давление равно нулю. Как уже было сказано,

первоначально Эйнштейн пытался использовать отрицательное давление, не связанное с движением материи, чтобы получить не зависящее от времени решение. Это был вынужденный шаг с его стороны, поэтому позже он отказался от этой идеи в пользу нестационарного решения, предложенного Фридманом (в этой модели присутствие Λ уже необязательно).

Хорошо известны три класса таких решений (найденных при условии *постоянства* энергии Вселенной), выбор между которыми зависит от соотношения между реальной (ρ) и “критической” (ρ_0) величиной средней плотности материи во Вселенной в настоящую эпоху:

- при $\rho > \rho_0$ радиус кривизны сначала растет со временем, а затем убывает, кривизна положительна;
- при $\rho_0 > \rho > 0$ радиус кривизны неограниченно возрастает со временем, кривизна отрицательна;
- при $\rho = \rho_0$ Вселенная имеет плоскую метрику, кривизна отсутствует.

Здесь под критической плотностью подразумевается величина

$$\rho_0 = 3 \cdot H^2 / (8 \cdot \pi G)$$

где H – параметр (“постоянная”) Хаббла. Отметим, что в случае $\rho = \rho_0$ параметр Хаббла оказывается обратно пропорциональным возрасту Вселенной.

На рис. 2.1 приведены графики возможной эволюции Вселенной (заимствованные из книги [Эйнштейн, 1953]) в зависимости от соотношения между ρ и ρ_0 .

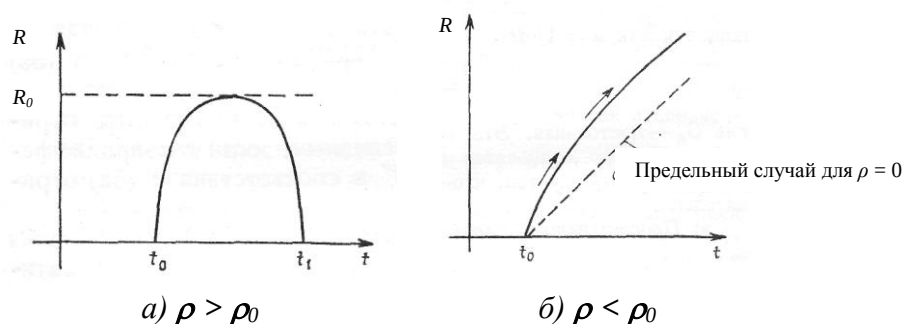


Рисунок 2.1. Типы эволюции Вселенной (при $\Lambda = 0$)

Завершу краткое изложение первоначальной космологической модели Эйнштейна-Фридмана, подчеркнув принципиальное обстоятельство: и давление, и плотность материи вводятся в уравнения “внешним” образом. Эти параметры в правой части уравнений определяют неизвестные параметры в левой части, так что решение уравнений сводится к поиску формальных зависимостей неизвестных *геометрических* величин от *заданных физических* величин. В эти зависимости в качестве аргумента включают и *время*, предварительно *постулировав* априорное наличие этой физической сущности.

2.3. Стандартная космологическая модель с ненулевой космологической постоянной

В настоящее время (к 2011 г.) накоплено огромное количество данных астрофизических наблюдений, в основном – с помощью космических спутников. Опираясь на эти данные и так называемую Горячую модель Большого взрыва (согласно которой наша Вселенная однородна и изотропна на больших масштабах и заполнена “остывшим” реликтовым излучением), можно рассчитать ряд базовых космологических параметров – возраст Вселенной, плотность различных компонент материи, и др.

Основываясь на сравнении реально наблюдаемого спектра флуктуаций мощности реликтового излучения с теоретически рассчитанным, был сделан вывод о том, что геометрия пространственной Вселенной является *плоской*. Из этого был сделан следующий вывод – суммарная плотность ρ материи во Вселенной практически равна критической величине ρ_0 .

При этом оказалось, что согласовать между собой теоретические предсказания и данные наблюдений в рамках нестационарной модели Эйнштейна-Фридмана, используя *нулевое* значение космологической константы Λ , невозможно. Более того, конкретное значение Λ современные космологи *подбирают*, исходя именно из данных наблюдений. Так теоретическая конструкция Эйнштейна, которую он впоследствии назвал своей “самой грубой ошибкой”, была восстановлена в статусе неотъемлемой части космологии. По сути дела, величина Λ в стандартной космологической модели (СКМ, SCM) играет роль *дополнительного* (свободного, “введенного руками”) параметра, с помощью которого удастся согласовать теорию и реальность.

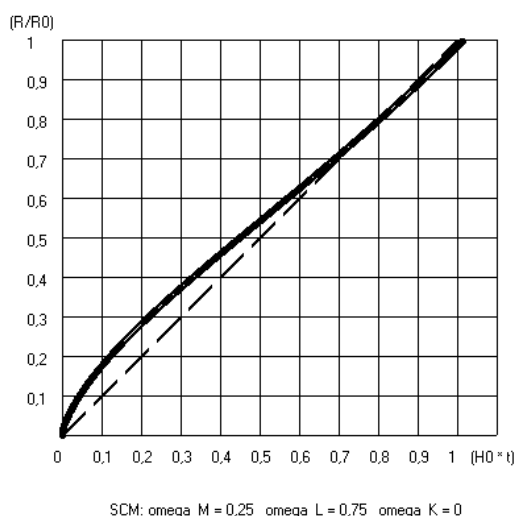


Рисунок 2.2. Эволюция Вселенной в стандартной космологической модели (со специально подобранными значениями Λ и ее отдельных составляющих).

Для наглядности пунктиром изображена прямая линия

На рис. 2.2 приведена зависимость безразмерного радиуса Вселенной R (здесь R_0 – современное значение радиуса) от ее безразмерного возраста (H_0 – современное значение параметра Хаббла), полученная в стандартной космологической модели при следующих специальных допущениях о плотностях различных компонент материи: вклад кривизны пространства равен нулю (пространство плоское), относительный вклад за счет Λ (“темная” энергия) равен 75%, вклад остальной материи (включая барионную) составляет 25%.

Как можно видеть, космологическая постоянная в этой модели играет весьма существенную роль. Ее значение было существенным образом определено по данным систематизированных наблюдений за вспышками Сверхновых в середине 2000-х. В свою очередь, как *принято считать*, полученная кривая (рис. 2.2) влечет за собой важный и нетривиальный вывод: эволюция размера Вселенной во времени является нелинейной, причем в течение примерно последней четверти возраста Вселенной ее расширение происходит с ускорением².

² Я оспариваю это утверждение в дальнейшей части книги.

2.4. О давлении гравитирующей материи

Этот и следующий разделы посвящены моей критике стандартной космологической модели. Анализ модели Эйнштейна начнем с вопроса о правомерности отказа от учета давления. Разумеется, для покоящейся материи *динамическое давление равно нулю*, но остается открытым вопрос о *статическом давлении*. Данный вопрос, как показало его предварительное устное обсуждение, является главным источником возражений со стороны большинства специалистов по ОТО, поэтому я хотел бы уделить ему особое внимание.

У самого Эйнштейна источником появления скалярного давления явилось специально добавленное слагаемое, которое не нарушает ковариантности уравнения. Априорное исключение этого слагаемого – скорее, вопрос субъективного выбора, чем строгого теоретического обоснования. Уже этого обстоятельства достаточно (с чем согласны многие авторы) чтобы, по крайней мере, подвергнуть анализу возможные следствия такой модификации уравнений. В то же время с *математической* точки зрения вполне законным является и непосредственное вхождение компонент давления в тензор плотности энергии-импульса.

Физическая аргументация в пользу учета статического давления основывается на концепции эффективного гравитационного взаимодействия материи, не связанного со скоростью частицы. Наиболее простой, с моей точки зрения, аргумент в пользу учета давления сводится к тому, что пренебрежение им равносильно пренебрежению суммарным гравитационным полем Вселенной, а это последнее, в свою очередь, однозначно связано с наличием глобальной кривизны, т.е. отличием от нуля радиуса кривизны Вселенной и постоянной Хаббла. Материю во Вселенной нельзя считать простым скоплением невзаимодействующей “пыли”. Напротив, каждый островок материи связан жесткими путями тяготения, по крайней мере, с соседними островками, так что вся материя в целом образует более или менее упругую структуру с распределенной в пространстве энергией. Давление же, по определению, обусловлено как раз объемной плотностью энергии.

Рассматриваемый вопрос отчасти связан с формулировкой принципа эквивалентности, которая была дана Эйнштейном. Дело здесь заключается в том, что Эйнштейн устанавливает (локальную) эквивалентность ускорения и гравитационного поля для *точечной* материальной частицы, используя уровень идеализации, характерный для *механики точки*. В работе [Эйнштейн, 1916] он пишет: “Ускоренное движение бесконечно малой (“местной”) координатной системы должно быть выбрано при этом так, чтобы отсутствовало гравитационное поле; для бесконечно малой области это возможно”. На этом уровне вводится абстракция *внешнего* источника и (локально) *однородного* поля, причем расстояние между взаимодействующими телами существенно превышает размеры самих тел. Энергия покоя тел локализована в их объеме, который по размерам во много раз меньше объема области, занимаемого гравитационным полем; следовательно, объемной концентрацией энергии последнего (т.е. внутренней энергии деформации среды) вполне допустимо пренебречь.

Однако возможны случаи, когда размеры области, занимаемой полем, не превосходят размеров взаимодействующих тел или, тем более, их гравитационного радиуса, и именно эта ситуация имеет место при глобальном рассмотрении Вселенной. Здесь гипотеза даже о локальной однородности поля тяготения уже неприменима, и необходимо перейти на более тонкий понятийный уровень – уровень *механики сплошной среды*. Поэтому в рамках ОТО при анализе эквивалентности в общем случае необходимо рассматривать не точечную частицу, а элемент материальной среды, занимающий элементарный объем. В неподвижной системе, на которое действует поле тяготения внешнего источника, элементарный объем заполнен материей, сжатой в результате ее взаимного притяжения. При переходе к ускоренной системе исключение гравитационного поля *внешнего* источника не позволяет исключить *собственную* гравитационную деформацию объема материи и соответствующее давление за счет выбора какой бы то ни было локальной системы отсчета.

Вообще допустимость использования приближения локально однородного поля тяготения заслуживает отдельного обсуждения. Прежде всего, полезно дать количественное определение критерия локальной однородности, например, в виде $\Delta g/g \ll 1$, где Δg – разность между наибольшим и наименьшим значением напряженности, g – среднее значение напряженности в этой области. Используя такой критерий, можно аргументировать невыполнение условия локальной однородности как для статического поля тяготения, изображенного на рисунке 2.3, так и, например, для поля вращающегося тела, если только отношение скорости углового перемещения к скорости поступательного не является достаточно малым (и при условии, что само поступательное движение достаточно медленное, чтобы рассматривать его участки как эквивалентные локально однородным областям поля).

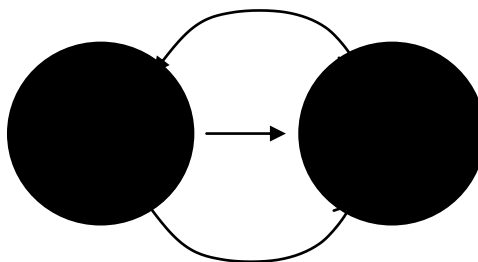


Рис. 2.3. Поле, не допускающее локальной однородности

Приведенная мной аргументация в какой-то степени созвучна критике идей ОТО со стороны А.А. Логунова и его школы. В работе [Логунов, 1988] указывается:

“... несмотря на успехи, ОТО почти с самого своего рождения столкнулась с трудностями. ... Э. Шредингер в 1918 г. показал, что соответствующим выбором системы координат все компоненты, характеризующие энергию-импульс гравитационного поля, вне сферически симметричного тела можно обратить в нуль ... Сначала этот результат показался Эйнштейну удивительным, но затем после анализа он ответил следующим образом: “Что же касается соображений Шредингера, то их убедительность заключается в аналогии с электродинамикой, в которой напряжения и плотность энергии любого поля отличны от нуля. Однако я не могу найти причину, почему так же должно обстоять дело и для гравитационных полей. Гравитационные поля можно задавать, не вводя напряжений и плотности энергии” ... Или еще: “...для бесконечно малой области координаты всегда можно выбрать таким образом, что гравитационное поле будет отсутствовать в ней” ...

Мы видим, что Эйнштейн сознательно отошел от классического понятия поля как материальной субстанции, которую даже локально никогда нельзя уничтожить выбором системы отсчета, и сделал он это во имя локального принципа эквивалентности сил инерции и гравитации, который был возведен им в ранг фундаментального принципа, хотя физических оснований для этого не было и нет. Все это и привело к представлению о невозможности локализации гравитационной энергии в пространстве. ... ни сам Эйнштейн, ни другие физики не осознали, что в ОТО в принципе невозможны законы сохранения энергии-импульса и момента количества движения.

... внимательный анализ показывает, что в рассуждениях Эйнштейна и Клейна содержится простая, но принципиальная ошибка. ... Суть ее заключается в том, что величина, которой оперировал в своих рассуждениях Эйнштейн, отождествив ее компоненты с энергией и импульсом, просто равна нулю.

Таким образом, принятие концепции ОТО ведет к отказу от ряда фундаментальных принципов, лежащих в основе физики. Во-первых, это отказ от законов сохранения энергии-импульса и момента количества движения вещества и гравитационного поля, вместе взятых. Во-вторых, отказ от представления гравитационного поля как классического поля типа Фарадея—Максвелла, обладающего плотностью энергии-импульса. Для многих физиков, занимающихся ОТО, это неясно и до сих пор, другие же

склонны рассматривать отказ от законов сохранения как величайшее достижение теории, низвергнувшей такое понятие, как “энергия”.

... Гравитационное поле описывается симметрическим тензором и является реальным физическим полем, обладающим плотностью энергии и импульса... 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.”

Должен, однако, отметить, что, соглашаясь с А. А. Логуновым в критической части, я пытаюсь идти далее совершенно иным путем. Это проявляется в целом ряде различий между выводами его релятивистской теории гравитации (РТГ) и результатами, к которым приводит развиваемый мной подход. Вот некоторые из этих различий:

- РТГ настаивает на строгом выполнении законов сохранения, тогда как я связываю меру невыполнения этих законов с мерой отклонения от однородности и изотропности, точнее – с тем, что наша Вселенная не является *замкнутой* физической системой.
- РТГ утверждает, что геометрия пространства-времени “с необходимостью оказывается псевдоевклидовой (иными словами, теория строится в пространстве Минковского), ... фридмановская однородная и изотропная Вселенная бесконечна, и она может быть только плоской”, я же прихожу к римановой геометрии положительной кривизны.
- РТГ утверждает, что истинного коллапса в смысле ОТО не существует, в то время как я не разделяю этой точки зрения РТГ.
- Плотность вещества во Вселенной, согласно полученному мной решению, равняется *удвоенной* критической плотности.

2.5. Проблема космологической постоянной

Как мы уже знаем, космологическая постоянная Λ – плод усилий Эйнштейна по спасению решения для статической модели Вселенной. В дальнейшем этот параметр был повторно введен “руками” уже в нестационарные модели, чтобы “подогнать” стандартную космологическую модель (СКМ) под результаты экспериментального определения космологических параметров. Однако при этом возникли две новые фундаментальные проблемы, удовлетворительного решения которых физиками так и не найдено.

Первая проблема – найти физическое объяснение для формального введения космологической константы Λ в уравнения ЭФ. Предлагается отождествить “темную энергию”, отвечающую Λ , с энергией физических колебаний вакуума. Однако (см., например, [Кландор-Клайнротхаус, Цюбер, 2000]) астрофизические наблюдения дают для указанной гипотетической плотности вакуума значение порядка 10^{-30} г/см³, в то время как квантово-механические вычисления приводят к оценке порядка 10^{92} г/см³, т.е. расхождение оказывается неимоверно большим – 122 порядка! Имеется и более сильный, с моей точки зрения, довод: *энергия “нулевых” колебаний вакуума не может быть извлечена и использована ни для гравитационного расширения Вселенной, ни для чего бы то ни было еще, поскольку отвечает состоянию с наименьшей возможной энергией.*

Вторая проблема, “которая часто оставляется без внимания”³, но имеет едва ли не большее значение, состоит вот в чем. При введении в уравнения ЭФ космологической постоянной Λ в ней тем самым задается определенная шкала расстояния $R = (\Lambda/3)^{-1/2}$. Поскольку в настоящую эпоху $\Lambda = 10^{-56}$ см⁻², то R можно идентифицировать с современным размером Вселенной (10^{28} см). Но размер Вселенной менялся и меняется с течением времени, а

³ Автор обзора [Буссо, 2007] пишет (перевод мой – М.Х.Ш.): “Современное значение космологической константы не соответствует ее значению для ранней Вселенной. Это одна из наиболее значительных трудностей в проблеме космологической константы, которая часто оставляется без внимания”

величина Λ полагается (во всяком случае, при “подгонке” космологической модели к астрофизическим данным) неизменной. Спрашивается, какой физический смысл имеет величина $(\Lambda/3)^{-1/2}$?

Обе проблемы легко снимаются в рамках предлагаемого нами в следующих главах подхода. Никакой константы Λ вообще в уравнения вводить не требуется, нужный эффект достигается автоматически за счет учета статического давления материи $\mathbf{P}$ и связанной с ним объемной энергии гравитации (а не колебаний вакуума!). При этом легко объясняется и вышеуказанная связь между *гипотетической величиной* Λ и *текущим* размером Вселенной $\mathbf{R}$. Действительно, в космологических уравнениях эта (ненужная) гипотетическая величина Λ равна $8 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho$ (при скорости света $c = 1$). Найденное нами *новое* решение (см. ниже раздел 4.1) космологических уравнений (при $c = 1$) дает для плотности ρ :

$$\rho = 3 / (4 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2)$$

Из этого следует

$$\Lambda = 8 \cdot \pi \cdot G \cdot 3 / (4 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2) = 6/R^2$$

т.е.

$$R = (\Lambda / 6)^{-1/2} .$$

3. О ЧЕРНЫХ ДЫРАХ, МЕТАБОЛИЧЕСКОМ ВРЕМЕНИ И ЛИНЕЙНОМ РАСШИРЕНИИ ВСЕЛЕННОЙ

3.1. Что происходит при коллапсе

Анализ гравитационного коллапса часто основан на предположении, что реальный размер коллапсирующего объекта (например, звезды) много меньше его гравитационного радиуса, или этот объект вообще рассматривается в качестве материальной точки.

В монографии [Новиков, Фролов, 1986] рассматривается процесс возникновения черной дыры в результате сжатия сферической массы до размеров, меньше гравитационного радиуса. При анализе авторы этой монографии используют упрощенное предположение, что внутри сферы давление равно нулю, поскольку это позволяет “избавиться от эффектов, не имеющих непосредственного отношения к образованию черной дыры и только осложняющих решение...”. Собственно, из этого же упрощенного предположения исходили и авторы самой первой посвященной этому процессу публикации [Oppenheimer, Snyder, 1939], которые откровенно признали, что им “не удалось проинтегрировать эти уравнения, не полагая давление равным нулю”.

Между тем, такой подход может лишить наглядности некоторые важные и интересные особенности исследуемой ситуации, поэтому, с моей точки зрения, целесообразнее проводить анализ все же на основании решения Шварцшильда для задачи об идеальной однородной сфере (а не материальной точки) массы m из несжимаемой жидкости [Толмен, 1934]. Решение, найденное Толменом, можно представить в виде

$$\frac{3P}{\rho c^2} = \Phi(r, r_1, R) \equiv \frac{3\sqrt{1-(r/R)^2} - 3\sqrt{1-(r_1/R)^2}}{3\sqrt{1-(r_1/R)^2} - \sqrt{1-(r/R)^2}} \quad (*)$$

где r_1 – радиус сферы, r – текущее значение расстояния от центра сферы, R – радиус кривизны, обусловленной гравитационным полем:

$$R = \sqrt{\frac{3c^2}{8\pi\rho G}}$$

Здесь ρ – плотность однородной жидкости, из которой состоит сфера, G – гравитационная постоянная Ньютона, c – скорость света в вакууме. Поскольку “гравитационный радиус” (радиус Шварцшильда) равен

$$r_g = \frac{2mG}{c^2} = \frac{8\pi G \rho r_1^3}{3c^2},$$

то из последних соотношений мы получаем

$$R^2 \cdot r_g = r_1^3 \quad \text{и} \quad r_g = \frac{r_1^3}{R^2}$$

Таким образом, радиус кривизны R однозначно связан с гравитационным радиусом r_g и радиусом шара r_1 соотношением

$$\frac{r_g}{r_1} = \frac{r_1^2}{R^2}$$

Радиус кривизны R имеет размерность расстояния, как и должно быть. Далее, из (5) следует, что $(r_1 < R)$ влечет $(r_1 > r_g)$, и наоборот. Заметим также, что

$$\frac{\rho}{\rho_g} = \frac{r_g^2}{R^2} = \frac{(r_1^3 / R^2)^2}{R^2} = \frac{r_1^6}{R^6}$$

где ρ_g – плотность, отвечающая наступлению коллапса, т.е. условию $r_1 = r_g$.

Предколлапс

Толмен опубликовал свое решение (*), имея в виду соблюдение условия

$$r_g < r_1, \quad (**)$$

когда коллапс еще не наступил. Он писал, что это ограничение настолько слабое, что (к моменту публикации) не привело ни к каким противоречиям с данными астрофизических наблюдений (например, для Земли гравитационный радиус $r_g = 0.443$ см, $r_1 \approx 40000$ км). Этап, предшествующий коллапсу объекта, мы будем именовать предколлапсом. На этом этапе действительное решение для уравнения (*) существует, в силу присутствия радикалов четной степени, при выполнении условия

$$0 \leq r \leq r_1 < R. \quad (***)$$

В этом условии, на первый взгляд, не кроется ничего особо примечательного, по крайней мере, мне не удалось найти соответствующих упоминаний в литературе. Однако не даром говорится, что дьявол прячется в деталях. Знаменатель правой части выражения (*) представляет собой разность двух радикалов, которая в некоторых случаях может изменять свой знак, проходя через нулевое значение, а это приводит к появлению бесконечного биполярного разрыва на кривой безразмерного давления. Разрыв возникает при выполнении равенства $\frac{3}{2}\sqrt{1-(r_1/R)^2} = \frac{1}{2}\sqrt{1-(r/R)^2}$, откуда нетрудно вывести условие $r/R = \sqrt{9(r_1/R)^2 - 8}$.

Поскольку выражение под радикалом должно быть неотрицательным, мы находим граничное условие для кривизны R , обеспечивающее наличие биполярного разрыва давления⁴:

$$1 \geq (r_1/R) \geq \sqrt{8/9} = 2\sqrt{2}/3 \approx 0.943, \text{ или } 1 \leq R/r_1 \leq 1.0604.$$

На рис.3.1 приведены графики распределения давления при двух значениях кривизны R плотности и соответствующих значениях относительной плотности (ρ/ρ_g) , рассчитанных с помощью соотношения $\rho/\rho_g = r_1^6/R^6$. Вдали от режима коллапса давление спадает к границе сферы достаточно плавно, а ближе к наступлению коллапса приобретает более уплощенную по вертикали форму.

⁴ В монографии [Новиков, Фролов, 1986] со ссылкой на работу [Hagihara, 1931] указывается, что критической круговой орбитой, отделяющей устойчивые движения от неустойчивых, соответствует $r = 3r_g$, а скорость движения частиц по ней $v = c/2$. Удельная энергия $\tilde{E}$ частицы на единицу собственной энергии mc^2 при этом составляет $\sqrt{8/9} \approx 0.943$.

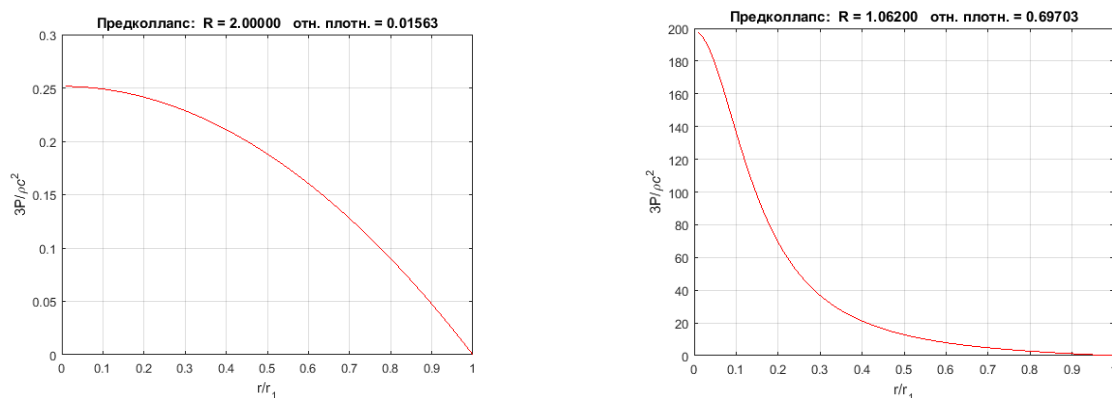


Рисунок 3.1.

Плавное распределение положительного давления от центра
к периферии будущей ЧД
(r – удаление от центра сферы, r_1 – радиус сферы)

Когда достигается значение $(r_1 / R) \approx 0.943$, непосредственно в центре сферы возникает биполярный разрыв давления, который по мере приближения к началу коллапса $(r_1 / R) \rightarrow 1$ смещается от центра к самой границе сферы (рис. 3.2).

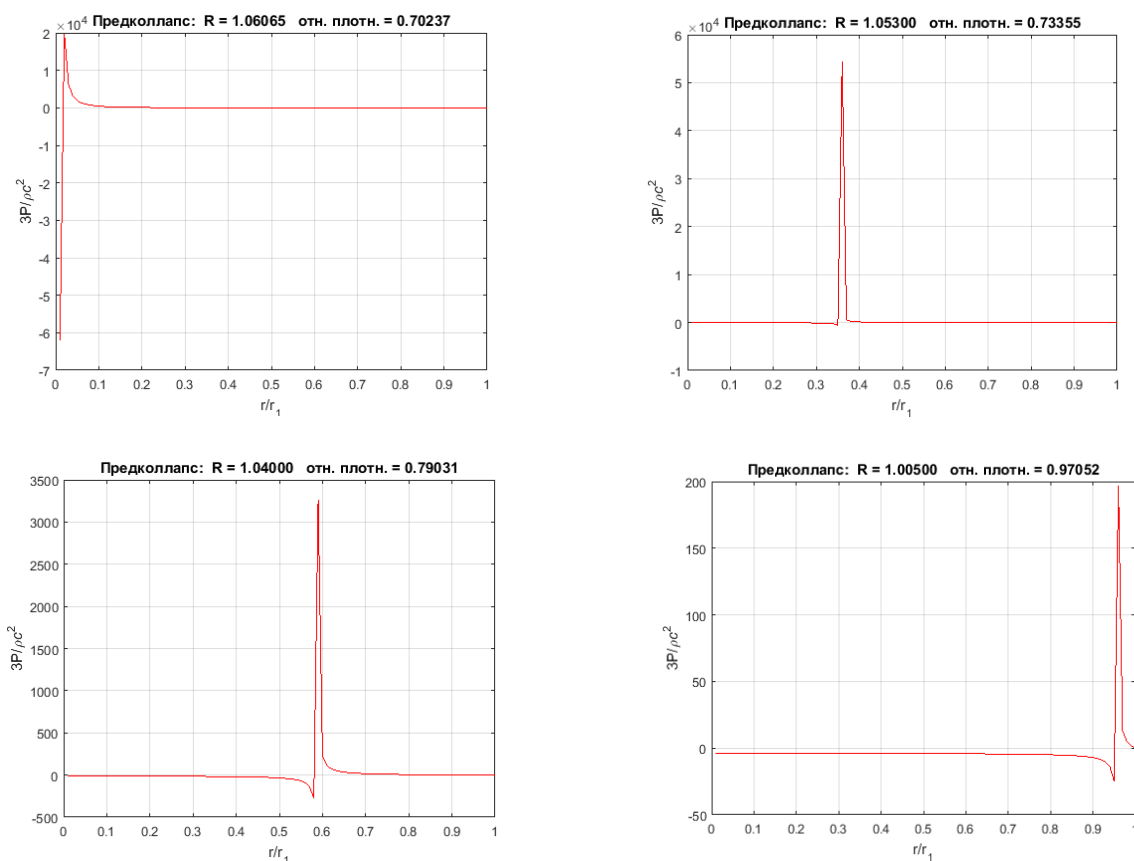


Рисунок 3.2.

Возникновение и миграция биполярного разрыва давления от центра
к периферии будущей ЧД
(r – удаление от центра сферы, r_1 – радиус сферы)

Постколлпс

Вернемся к вопросу о существовании действительных решений для уравнения (*). Этап постколлпса наступает, когда кривизна R становится меньше (а гравитационный радиус r_g больше) размера сферы r_1 . Соответственно, плотность ρ материи, образующей сферу, становится больше критического значения ρ_g . Что же при этом происходит с радикалами, входящими в выражение (*)?

Ответ следующий: уже при $r_1 > R$ радикал $\sqrt{1-(r_1/R)^2}$ становится мнимым. Далее, при приближении к центру сферы другой радикал, а именно $\sqrt{1-(r/R)^2}$, сначала (при $r_1 > r > R$) также оказывается мнимым, но затем (при $0 < r < R$) он становится действительным. Следовательно, при выполнении условия

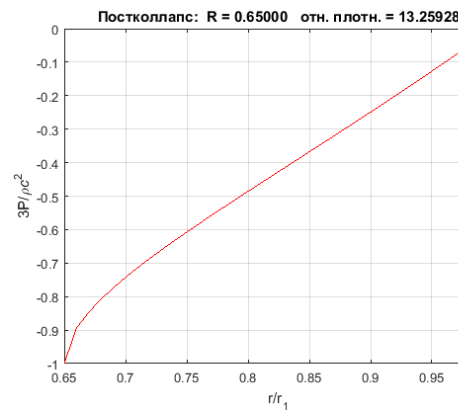
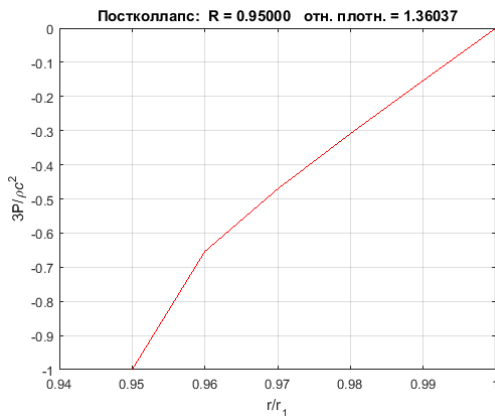
$$r_1 > r > R$$

на стадии постколлпса мы можем изменить знак под каждым из радикалов на противоположный, вынести в каждом из них мнимую единицу за знак радикала и затем сократить ее в числителе и знаменателе. Итоговое решение при выполнении последнего условия решение приобретет вид

$$\frac{3P}{\rho c^2} = \tilde{\Phi}(r, r_1, R) \equiv \frac{3\sqrt{(r/R)^2 - 1} - 3\sqrt{(r_1/R)^2 - 1}}{3\sqrt{(r_1/R)^2 - 1} - \sqrt{(r/R)^2 - 1}} \quad (****)$$

и будет, как мы видим на рис. 3.3, действительным для той части сферы, которая примыкает к ее внешней границе. Заметим, что давление оказывается отрицательным, т.е. прижимает материю к центру, способствуя, а не препятствуя коллапсу.⁵

В то же время для центральной части ЧД (ее “ядра”) давление будет описываться комплексной величиной, что позволяет заподозрить протекание в этой области достаточно быстрых периодических процессов.



⁵ Отрицательные давления не являются для физики чем-то новым. В обычных условиях давление тел положительно, т.е. направлено так, как если бы тело стремилось расширяться. Это, однако, не обязательно, и тело может находиться также и в состояниях с отрицательными давлениями: в таких состояниях тело как бы “растянуто” и потому стремиться сжаться. Например, отрицательным давлением может обладать перегретая жидкость; такая жидкость действует на ограничивающую ее поверхность с силой, направленной внутрь объема жидкости [Ландау, Лифшиц, 1976], §83.

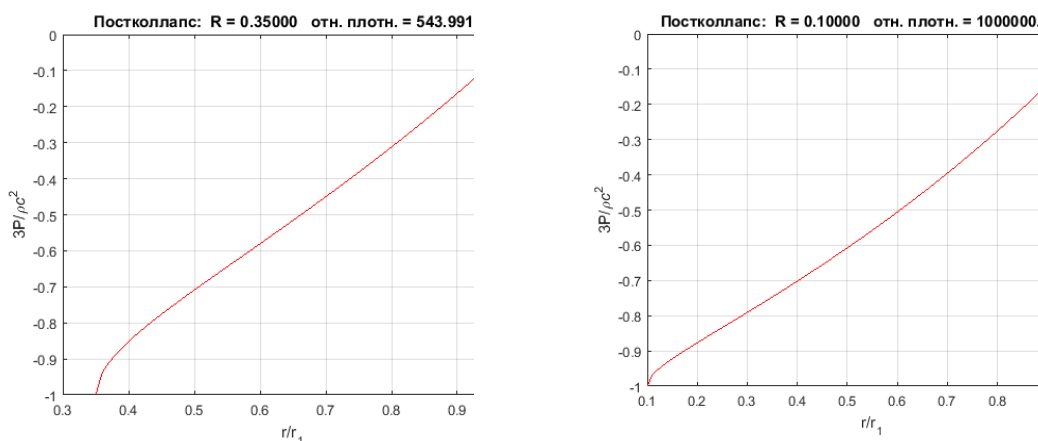


Рисунок 3.3

Распределение давления вне “ядра” ЧД при постколлапсе

3.2. О черных дырах и их “метаболическом” поведении

Итак, мы проследили стадии превращения (в процессе гравитационного коллапса) обычного тела в черную дыру (ЧД). Иными словами, ЧД возникают в результате коллапса материи под действием сил тяготения. Возникшая таким образом область пространства причинно не связана со своим окружением, т.к. никакая массивная частица и никакой сигнал не могут выйти за ее пределы и перенести информацию о ее природе и состоянии.

Что же происходит после этого с ЧД? А вот что – они поглощают объекты своего окружения и *необратимо* расширяются именно вследствие и по мере этого. Такое поведение подобных астрофизических объектов невольно вызывает ассоциацию с поведением живых существ и их популяций, осуществляющих метаболический обмен с окружающей средой.

Но для живых существ и популяций (вообще для каждой эволюционирующей системы) можно ввести характерную единицу времени, которая позволяет разумным образом выразить “возраст” системы. Например, в эмбриологии – это интервал между двумя последовательными делениями клетки, в экологии, генетике и этнографии – это время между сменами поколений. В своих работах А.П. Левич (см. [Левич, 1989, 2003, 2004]) для каждого произвольного эволюционирующего объекта предложил ввести некоторое абстрактное время в качестве *линейной* меры его изменчивости, в том или ином варианте принять его равным количеству меняющихся элементов. Время, измеряемое по “часам” той или иной динамической системы, Левич предлагает именовать “параметрическим” и понимать его как индикатор при отображении процесса изменчивости в линейно упорядоченное, метризованное множество. Он указывает, что любые изменяющиеся системы потребляют некоторый *ресурс*. Этот ресурс характеризуется набором числовых характеристик системы, которые: 1) с необходимостью сопровождают изменчивость системы; 2) растут монотонно с изменением системного времени и, тем самым, 3) могут служить для параметризации изменений. Количество “потребленного” ресурса и определяет так называемое “*метаболическое время*” системы. Все эти идеи оказываются вполне применимыми и к ЧД, если под характерным ресурсом понимать ее массу.

Большинство физиков стали принимать черные дыры всерьез лишь в конце 60-х годов. Оказалось, что черная дыра в некотором смысле допускает очень простое описание: оно определяется (подобно описанию элементарной частицы) всего тремя (!) степенями свободы – массой, моментом вращения и электрическим зарядом. Впервые математическое описание статичной невращающейся черной дыры дал Карл Шварцшильд в 1916 году. Затем в 1916 – 1918 г.г. Ханс Райсснер и Гуннар Нордстрём получили решение, учитывающее наличие у невращающейся ЧД электрического заряда. Далее, в 1963 году Рой Керр нашел стационарное осесимметрическое решение для вращающейся ЧД, но без заряда. И наконец, к 1965 г. было получено наиболее полное решение Керра – Ньюмена, учитывающее все три фактора. Сейчас

астрофизики выделяют три основных типа черных дыр: первичные ЧД (возникшие в момент рождения Вселенной), ЧД звездной массы (до десятков солнечных масс) и сверхмассивные черные дыры (СМЧД) в центрах галактик с массой в миллионы солнечных масс.

Вернемся к концепции эволюции на основе метаболизма. Итак, черные дыры возникают и эволюционируют, поглощая материю и энергию из внешней среды. В своей работе Ли Смолин (см. [Smolin, 1994]) ее автор напоминает гипотезу Дж. Уилера о том, что каждая ЧД – это новая расширяющаяся вселенная, подобная нашей, причем каждый вновь родившийся экземпляр Вселенной может немного отличаться от “родителя” значениями фундаментальных физических констант. Смолин относит к их числу массы протона, нейтрона, электрона и нейтрино, а также константы связи слабых, сильных и электромагнитных взаимодействий. Делая ряд правдоподобных допущений, Смолин на примере конкретных процессов эволюции звезд в спиральных галактиках анализирует, как вариации этих констант могут повлиять на “численность потомства” ЧД (по его оценке, в нашей Вселенной рождается сотни черных дыр в секунду). Оказывается, что подобного рода спонтанные малые вариации должны в общем случае приводить к *уменьшению* числа рождающихся ЧД. Таким образом, возникает некий механизм эволюции, стабилизирующий параметры фундаментальных физических законов во Вселенной: он обеспечивает максимум производства черных ЧД. Считаю важным добавить, что ЧД – это объекты с максимальной энтропией, поэтому максимум их производства соответствует *максимальному* темпу роста энтропии во Вселенной. С другой стороны, в моей недавней работе было показано, что “энтропийные” свойства ЧД, отражаемые обобщенным вторым началом термодинамики Бекенштейна и так называемым “голографическим пределом” для энтропии системы, являются продолжением свойств обычного гравитирующего тела (см. Приложение 2 и [Шульман, 2010б]).

Интересно также отметить, что различные дочерние черные дыры возникают в разные моменты времени и растут с различной скоростью. Гипотетически возможно, что некоторые из этих дыр могут расширяться столь стремительно, что в конечном счете могут поглотить всю материнскую вселенную.

3.3. Свойства черных дыр: взгляд внешнего наблюдателя

Практическую космологию интересует, прежде всего, описание ЧД с точки зрения внешнего наблюдателя. В 70-х годах 20-века был предложен новый для теории черных дыр “мембранный” подход. В соответствии с ним горизонт событий (граничная поверхность) ЧД выглядит для внешнего наблюдателя как *двумерная физическая мембрана из вязкой жидкости* с определенными механическими, электрическими и термодинамическими свойствами, пишут авторы статьи [Новиков, Фролов, 2001].

Площадь горизонта событий в общем случае математически выражается всего через три независимых параметра: массу, заряд и момент вращения черной дыры. Поэтому можно выразить малое приращение *массы* в виде суммы трех слагаемых, обусловленных приращениями *площади горизонта, углового момента и заряда*. В этом соотношении, по форме аналогичном первому началу термодинамики, особый интерес представляет первое слагаемое, т.е. частное приращение

$$\delta M = (\theta/8\pi) \delta A,$$

где δA – приращение площади горизонта событий, θ – поверхностный гравитационный заряд ЧД. Это слагаемое можно сопоставить “тепловому” слагаемому $\delta Q = T\delta S$ в обычной форме первого начала, где T – температура, а δS – приращение энтропии обычного объекта⁶. Оказывается, что площадь A горизонта событий (неквантовой) ЧД обладает тем же свойством, что и энтропия S – она никогда не уменьшается в процессе эволюции, в том числе – при

⁶ Температура излучения Хокинга $T_H = (\hbar/2\pi ck)\theta$ совпадает с температурой Унру $T_U = (\hbar/2\pi ck)a$, где a – эффективное ускорение, создаваемое полем поверхностного гравитационного заряда. Иными словами, именно этим зарядом определяется напряженность гравитационного поля.

слиянии нескольких ЧД (теорема Хокинга)⁷. Таким образом, эволюция ЧД носит в общем случае необратимый характер, т.е. доля внутренней энергии, которую нельзя из нее извлечь, возрастает со временем. Более того, возрастает (или не убывает) со временем и суммарная энтропия ЧД и ее окружения (обобщенный второй закон термодинамики Бекенштейна).

С другой стороны, множитель перед δA , пропорциональный *поверхностному гравитационному заряду*, играет роль эффективной температуры T . Последняя характеризует процесс “теплового” излучения ЧД вследствие квантовых эффектов вблизи горизонта событий. Эта температура оказывается *обратно пропорциональной массе* ЧД, поэтому они (как звезды и другие сильно гравитирующие объекты) обладают *отрицательной* теплоемкостью.

3.4. Что происходит внутри черной дыры?

Вообразим смельчака, приближающегося на ракете к далекой черной дыре. Земным наблюдателям будет казаться, что по мере приближения к ЧД время для него будет замедляться до бесконечности, так что по земным часам он никогда не пересечет горизонт событий ЧД. Посылаемый им на Землю световой сигнал с точки зрения земного наблюдателя будет испытывать все более сильное (в пределе – бесконечное) “синее” смещение. Однако по собственным часам ракеты он пересечет горизонт событий ЧД за конечное время и, пока его не разорвет на части продольный градиент приливной силы, казалось бы, сможет наблюдать внутреннюю область дыры.

Первые попытки теоретически описать то, что происходит внутри черной дыры Шварцшильда, относятся к концу 70-х годов. Представление о ЧД как о мембране, абсолютно справедливое для *внешнего* наблюдателя, в современной общей теории относительности (ОТО) считается непригодным для наблюдателя, проникающего в ЧД через ее горизонт событий, т. е. для *внутреннего* наблюдателя.

При этом ОТО исходит из решений уравнений Эйнштейна, *продолженных* внутрь черной дыры. Популярное описание различных известных решений можно найти в [Kaufman, 1977], где обсуждаются крайне экзотические их особенности – интригующая внутренняя структура ЧД, центральная сингулярность, связь с бесконечно удаленными во времени состояниями нашей Вселенной и даже с другими вселенными.

Все эти решения принципиально основываются на сохранении в произвольной *внутренней* точке ЧД *зависимости решения от расстояния до ее центра*. Вследствие этого возникают некоторые фундаментальные проблемы (см. [Новиков и Фролов, 2001]). Во-первых, в решении обязательно возникает начальная сингулярность внутри черной дыры (это отчасти напоминает сингулярность для гравитационного или электростатического потенциала точечного заряда в классической физике):

“Вблизи от этой сингулярности, где кривизна пространства-времени приближается к планковской величине, общая теория относительности неприменима... , поэтому обсуждение физики в этой области было бы в высшей степени умозрительным” [Новиков и Фролов, 2001].

Во-вторых, возникают парадоксы, связанные с направлением течения времени и причинностью. Оказывается, например, что:

“... положение горизонта [событий] и его расширение до пересечения с [падающей на ЧД тонкой материальной] оболочкой зависят от событий в будущем (коллапса массивной оболочки)... Это поведение выглядит так, как если бы мембрана дыры жила во времени, которое течет в противоположном направлении: из будущего в прошлое.

⁷ Отметим, что энтропия, например, Солнца на 20 порядков меньше, чем энтропия черной дыры с такой же массой. Этот факт объясняют тем, что при образовании черной дыры вся информация о ее структуре полностью утрачивается внешним наблюдателем (см. [Bekenstein, 2003]).

... внутренняя структура типичной вращающейся черной дыры ... решающим образом зависит от условий на горизонте событий в очень удаленном будущем внешнего наблюдателя, ... например, от конечного состояния испарения черной дыры, от возможных столкновений черной дыры с другими черными дырами и от судьбы самой Вселенной. Ясно, что теоретики чувствуют себя весьма неуютно в таких обстоятельствах...” [Новиков и Фролов, 2001].

3.5. Новый подход для области внутри ЧД

Указанные проблемы, с моей точки зрения, обусловлены *неверной посылкой* о том, что внутреннее решение для ЧД является продолжением внешнего решения.

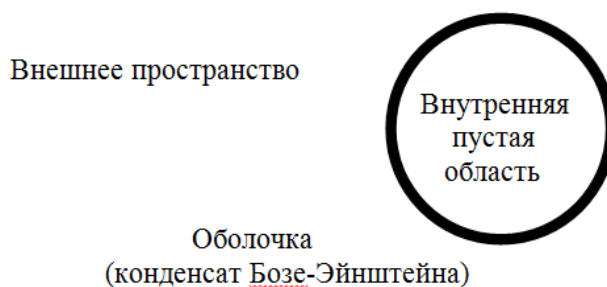


Рисунок 3.4. “Гравастар”.

Отказ от такой стандартной концепции внутренней структуры ЧД и новое решение для конечной точки гравитационного коллапса были предложены, например, в работе [Mazur and Mottola, 2002]. В ней предлагается модель ЧД с не содержащей материи обычной внешней областью, однако вместо поверхности горизонта событий вводится граничная область, содержащая конденсат Бозе-Эйнштейна и обладающая малой, но конечной толщиной (не более, чем на несколько порядков превышает планковскую длину). Наконец, внутренняя область ЧД представляет собой пустое пространство-время де Ситтера.

Новое решение не имеет ни сингулярностей, ни горизонтов событий, и характеризуется единым глобальным временем. Энтропия граничной фазы соответствует стандартной гидродинамической энтропии, так что информационный парадокс также исчезает. В отличие от черных дыр, коллапсирующая звезда такого типа (авторы предложили для нее название “гравастар”, см. рис. 3.4) термодинамически устойчива.

Данная модель очень близка к представлению о мембране для внешнего наблюдателя. С другой стороны, она опирается на картину фазового перехода обычной материи в конденсат Бозе-Эйнштейна, которая в данном случае содержит достаточно много допущений, а фигурирующая в модели оболочка имеет хоть и очень малую (близкую к “планковской”), но все же конечную толщину.

Мое собственное исследование (см. раздел 3.1), основанное на известных результатах ОТО, выявило не менее интригующую картину того, что происходит при образовании черной дыры с объектом конечных размеров (т.е. не точечного). Если в режиме, далеко от коллапса, распределение давления внутри объекта положительно и монотонно убывает от центра шара к его границе, то при приближении к режиму коллапса в его центре возникает *точка разрыва давления*, которая постепенно вытесняется к его границе. По обе стороны этой точки давление бесконечно по величине, но имеет разные знаки.

Это побудило меня предложить еще более радикальную концепцию для описания ЧД в нашей Вселенной, которая также может послужить основой для объяснения свойств самой Вселенной. Данная концепция предполагает, что мембранная оболочка *действительно возникает* на горизонте событий ЧД, но в результате гравитационного коллапса там происходит *изменение топологии* пространства – само физическое пространство исчезает, как

такое, внутри ЧД, а *граница между внешней и внутренней областями приобретает размерность, на единицу меньшую чем размерность внешнего пространства* (т.е. в данном случае граница будет двумерной).

При таком подходе представление о двумерности граничной мембраны оказывается не приближенным, а абсолютно точным. Вся масса черной дыры окажется сосредоточенной в этой двумерной области⁸ вполне однородным образом, поскольку различий, зависящих от удаленности относительно центра, не будет. Становится также понятным, почему энтропия в окружающей *внешней* среде в среднем пропорциональна *объему* элемента среды, а в мембране – *площади* элемента поверхности мембраны.

3.6. Наша Вселенная в роли ЧД во внешней супер-вселенной

Согласно моей точке зрения, в момент гравитационного коллапса происходит понижение на единицу размерности граничной области, а внутри ЧД нет вообще ничего (ни пространства де Ситтера, ни какого либо иного пространства в физическом и математическом понимании этого термина). При дальнейшем поглощении материи и энергии поверхность горизонта событий *растет*. Эта *поверхность растет быстрее массы ЧД*, так что плотность поверхностного гравитационного заряда уменьшается.

С точки зрения гипотетического 2-мерного наблюдателя, находящегося на этой поверхности, его 2-мерная вселенная растет, причем реальной мерой изменчивости этого мира будет изменчивость полной массы и, соответственно, его радиуса кривизны. Если такой наблюдатель располагает способом сравнивать радиус кривизны с некоторым фиксированным эталоном, то он может *определить в качестве меры изменчивости своей вселенной величину – интервал параметрического времени, пропорциональный приращению ее радиуса*. Добавим, что для этого наблюдателя в его вселенной не будет выполняться закон сохранения энергии (полная масса и энергия непрерывно растут).

Сравнивая с этой ситуацией поведение нашей собственной Вселенной, мы, прежде всего, обращаем внимание на то, что она также расширяется. В 1993 году, размышляя над идеями Н.А. Козырева о ходе времени, я пришел к концепции Вселенной в виде сферической 3-мерной оболочки 4-мерного евклидова шара ([Шульман, 20076]). Увеличивающийся радиус шара я отождествил с возрастом Вселенной, придав ему простой и ясный смысл *параметрического времени*. Скорость света в такой модели обрела статус эмпирически определенного коэффициента для перехода от измерения длины вдоль 3-мерной *поверхности* шара к измерению длины вдоль *нормали* к этой поверхности. С другой стороны, статус скорости света как *предельно возможной скорости* простым образом отвечает предельному углу (90°) возможного наклона 4-мерной мировой линии движения тела относительно пространственного сечения Вселенной, т.е. 3-мерной сферической поверхности. Такая модель может быть выведена из предположения, что *наша Вселенная является 3-мерной черной дырой, т.е. 3-мерной мембраной – горизонтом событий, отделяющим некоторую внутреннюю 4-мерную область от 4-мерного окружающего пространства*.

⁸ В качестве аналогии рассмотрим зависимость от центра для потенциала электрически заряженного шара в классической физике. Вне шара поле совпадает с полем эквивалентного точечного заряда. В то же время поле внутри шара зависит от того, как расположены заряды в шаре – если распределены только на его поверхности, то поле внутри шара будет равно нулю.

4. НОВАЯ КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

4.1. Формализм ТШРВ

Математически формализм предлагаемой мной теории шаровой расширяющейся Вселенной (ТШРВ) основан на тех же общерелятивистских уравнениях Эйнштейна – Фридмана, что и стандартная космологическая модель (СКМ). Выпишем их снова:

$$\begin{aligned} k \cdot (c/R)^2 + (\dot{R}/R)^2 + 2(\ddot{R}/R) &= -8 \cdot \pi G \cdot P / c^2 \\ k \cdot (c/R)^2 + (\dot{R}/R)^2 &= 8 \cdot \pi G \cdot \rho / 3, \end{aligned}$$

где G - постоянная в законе всемирного тяготения Ньютона, c - скорость света, ρ - плотность, P - давление, $k = 0, 1$ или -1 в зависимости от знака кривизны. Здесь символы $\dot{R}$ и $\ddot{R}$ обозначают первую и вторую производную R по времени соответственно.

Однако при решении этих уравнений мы теперь вводим два принципиальных отличия. Во-первых, поскольку Вселенная заполнена материей (с некоторой, хотя бы и очень малой, плотностью ρ), мы, в соответствии с выводами раздела 3.3, не будем полагать статическое давление материи P тождественно равным нулю, а будем искать его в процессе решения уравнений. Во-вторых, мы также отказываемся считать неизменной (а значит, заданной) глобальную энергию Вселенной в процессе ее эволюции, поскольку рассматриваем Вселенную как черную дыру, поглощающую энергию и материю извне. Поэтому и закон эволюции энергии мы будем искать, решая указанную систему уравнений.

При этом нам требуется заменить допущение о сохранении во времени массы вещества и энергии во Вселенной какой-то другой гипотезой. Такую гипотезу легко сформулировать, исходя из представления о том, что время нашей Вселенной есть не что иное, как “метаболическое время” черной дыры, которую она собой представляет, т.е. *строго пропорционально ее размеру*⁹! Поэтому мы положим $\dot{R}=0$, тем самым исключив возможность нелинейного изменения размера Вселенной. Оказывается, что в этом случае возникают новые замечательные решения. Действительно, получаем уравнение для определения давления P в виде:

$$k(c/R)^2 + (\dot{R}/R)^2 = -8\pi G P / c^2$$

а также обычное уравнение связи между давлением P и плотностью ρ :

$$P = -\rho c^2 / 3$$

Сводка решений уравнения ЭФ при $\dot{R} = 0$ приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

$\dot{R}$	k	Решаемое уравнение	ρ	P
0	0	$0 + 0 = -8\pi G P / c^2$	0	0
	1	$(c/R)^2 + 0 = -8\pi G P / c^2$	$+3c^2 / (8\pi G R^2)$	$-c^4 / (8\pi G R^2)$
	-1	$-(c/R)^2 + 0 = -8\pi G P / c^2$	$-3c^2 / (8\pi G R^2)$	$+c^4 / (8\pi G R^2)$
$\pm c$	0	$0 + (\pm c/R)^2 = -8\pi G P / c^2$	$+3c^2 / (8\pi G R^2)$	$-c^4 / (8\pi G R^2)$
	1	$(c/R)^2 + (\pm c/R)^2 = -8\pi G P / c^2$	$+3c^2 / (4\pi G R^2)$	$-c^4 / (4\pi G R^2)$
	-1	$-(c/R)^2 + (\pm c/R)^2 = -8\pi G P / c^2$	0	0

⁹ С точки зрения материнской вселенной, метаболическое время черной дыры растет только в те периоды, когда ее масса увеличивается.

Решение для стационарного случая $\dot{R} = 0$, $\ddot{R} = 0$, $k = 1$ первоначально и рассматривал Эйнштейн. Поскольку он-то не учитывал статического давления материи, то ему пришлось искусственно ввести космологическую постоянную (иначе решение вообще отсутствует). В дальнейшем вопрос об этой величине и ее физическом смысле повис в воздухе и считается открытым вплоть до настоящего времени. Таковы издержки методологической традиции.

Мы же для этого стационарного случая находим связь между давлением и радиусом кривизны:

$$\rho = 3c^2/(8\pi GR^2)$$

Второе замечательное решение возникает (при $k = 1$), если принять условия $\dot{R} = c$, $\ddot{R} = 0$, согласно которым радиус кривизны растет строго пропорционально времени. Это решение имеет фундаментальную физическую интерпретацию, смысл которой состоит в том, что процесс расширения Вселенной и представляет собой само течение времени, что нет никаких иных “маркеров” возраста Вселенной, кроме ее текущего размера.

Подставив данные условия в приведенные выше уравнения Эйнштейна, найдем:

$$\begin{aligned} 2(c/R)^2 &= -8\pi G\rho/c^2 \\ 2(c/R)^2 &= 8\pi G\rho/3 \end{aligned}$$

при этом коэффициент связи между давлением и радиусом кривизны по сравнению со стационарной моделью *отличается в два раза*. В обоих случаях, однако, соотношение между давлением и плотностью (уравнение состояния) имеет одинаковый вид ($P = -\rho c^2/3$).

Следует отметить, что в это второе решение время в явном виде вообще не входит, что и подтверждает описанную выше его интерпретацию. Далее, линейная зависимость радиуса кривизны от времени, будучи постулированной, не должна теперь выводиться из полученных соотношений; этот же постулат делает ее физически не зависящей (во времени) от плотности материи. Отсюда следует вывод, противоречащий принятой традиции решения уравнений поля, но полностью отвечающий самому духу эйнштейновского подхода, направленного на геометризацию физики. Он состоит в том, чтобы из найденных выражений искать плотность и давление материи в виде зависимостей от кривизны пространства, а не наоборот:

$$\begin{aligned} \rho &= 3c^2/(4\pi GR^2) \\ P &= -c^4/(4\pi GR^2) \end{aligned}$$

На языке физики это означает, что плотность и давление материи суть просто данные нам в ощущениях (измерениях) характеристики кривизны пространства, т.е. что они являются вторичными, зависимыми от нее величинами. Добавим, что этот путь, в сущности, обозначил сам Эйнштейн, введя замкнутую на себя Вселенную, т.е. заменив задание фиксированных условий на границах условием самосогласованности решения!

Тогда из обычных космологических уравнений Эйнштейна – Фридмана для модели эволюции Вселенной в параметрическом времени давление и энергия находятся уже как решение этих уравнений. Это решение, как и должно быть, определяет (отрицательное) давление функцией, в точности отвечающей величине гравитационной энергии и массе Вселенной, которая изменяется во времени линейно. Такое решение позволяет объяснить очень многие космологические характеристики наблюдаемой Вселенной.

В частности, становится ясным физический смысл Большого Взрыва – он оказывается началом гравитационного коллапса¹⁰ некоторого объекта, наблюдаемым “изнутри”, т.е. наблюдателем из 3-мерной мембраны. Возраст этой мембраны строго пропорционален ее текущему 3-мерному радиусу. *Масса каждого объекта (как и масса всей Вселенной) растет*

¹⁰Как было отмечено выше, аналогичная гипотеза со ссылкой на Дж. Уилера приводится в публикации [Smolin, 1994].

линейно во времени и, таким образом, неожиданно и своеобразно оказывается справедливым тезис Н.А. Козырева о преобразовании времени в энергию.

На рис. 4.1 показаны ([Шульман и Рэффел, 2008]) безразмерные зависимости масштабного фактора Вселенной от ее возраста для различных моделей эволюции: красная линия соответствует ТШРВ (SEUT), тогда как зеленая и синяя кривые – двум версиям СКМ. При этом синяя кривая отвечает ненулевой космологической постоянной, численное значение подобрано космологами из соображения наилучшего совпадения с данными наблюдений. Заметим, что введение космологической постоянной заведомо определяет *нелинейную* эволюцию синей кривой.

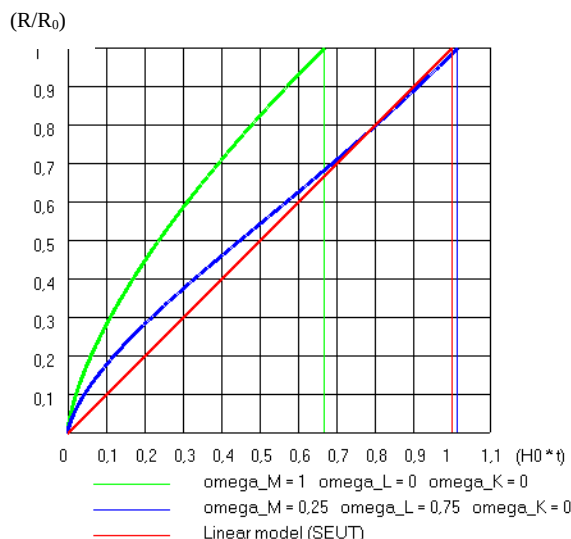


Рисунок 4.1. Изменение размера Вселенной с возрастом

Поскольку новое решение получено для случая $\dot{R} = c$, то параметр Хаббла оказывается обратно пропорциональным радиусу и возрасту Вселенной. Существенное отличие этого решения от похожего решения Фридмана состоит в том, что оно отвечает положительной кривизне 4-сферы, а не плоской метрике, но при этом плотность *всегда* равна $3H^2/(4\pi G)$, что соответствует $2\rho_0$ (ср. с замечанием Вейнберга¹¹). Соответственно, и масса Вселенной, равная произведению средней плотности на ее объем, оказывается не постоянной во времени, а пропорциональной радиусу кривизны и времени.

Как известно, закон сохранения энергии однозначным образом соответствует такому чисто "геометрическому" свойству Вселенной, как однородность времени, т.е. независимость в общем случае характеристик течения физического процесса от того, когда именно он был начат - вчера, сто лет или сто миллиардов лет назад. Такое соответствие обусловлено отсутствием в аналитическом формализме явной зависимости от времени функции Лагранжа для замкнутой физической системы, т.е. равенством нулю ее частной производной по времени.

Оставаясь в рамках классической механики, мы уже можем усомниться в том, что течение всех без исключения физических процессов не зависит от кривизны той области пространства, в которых эти процессы протекают. Напомним, что основные уравнения Лагранжа выводятся из вариационного принципа, согласно которому реальная траектория в пространстве обеспечивает наименьшее значение специального функционала - действия. Если кривизна пространства меняется с течением времени, то выбор начального и конечного момента варьирования принципиально влияет уже на само множество и характер варьируемых траекторий, что в общем случае исключает независимость результата от этого выбора, т.е. тезис об однородности

¹¹ В §2 главы 15 известной монографии [Weinberg, 1972] ее автор пишет, что если верить полученным из наблюдений значениям "параметра замедления" и постоянной Хаббла, то с необходимостью получается, что плотность Вселенной около $2\rho_{кр}$.

времени. Когда же мы переходим к релятивистской механике, мы непосредственно сталкиваемся с тем, что от радиуса кривизны Вселенной зависит фундаментальный метрический тензор, определяющий параметры механического движения. Более того, от величины этого радиуса, т.е. от возраста Вселенной, могут зависеть и другие фундаментальные величины, например – постоянная Планка (см. [Шульман, 2004]).

Вообще, когда речь заходит о распространении закона сохранения энергии на общую теорию относительности, то делается это скорее в силу традиции, чем исходя из строгого обоснования. Это приводит к известным логическим трудностям, по поводу которых у физиков имеются различные мнения (см., например, [Логунов, 1988]) и на которых мы здесь останавливаться не станем.

В действительности именно уравнения Эйнштейна и отражаемая ими объективная физическая реальность должны использоваться в качестве отправного момента теории, приводя к обобщению теоремы Нётер. В правильной теории найденная путем решения этих уравнений зависимость средней плотности материи и всей массы Вселенной от времени должна приводить к точному или приближенному выполнению закона сохранения массы и энергии, а не наоборот. Так и обстоит дело в действительности, и данное обстоятельство не только проясняет проблему сохранения энергии во Вселенной, но и помогает выйти на правильные исходные позиции при анализе такого объективно существующего феномена, как направленность (“стрела”) времени.

В силу сказанного выше космологическая теория “большого взрыва” должна быть заменена моделью “энергетического насоса”. Проблемы, связанные с начальной сингулярностью, во многом теряют свою остроту, поскольку начальные значения массы и энергии в нашей модели также равны нулю.

Исходя из астрофизических наблюдений, Н.А.Козырев [Козырев, 1991] высказывал утверждение о единстве механизма излучения звезд, основанного на “превращении” времени в энергию. Согласно нашей модели относительное приращение массы и энергии покоя звезды равно относительному приращению времени существования Вселенной: $\Delta m/m = \Delta E/E = \Delta t / t$. Отсюда следует, что дополнительная энергия может обусловить мощность излучения на единицу массы звезды, пропорциональную постоянной Хаббла (в нашей модели эта постоянная равна $H = 1/t$):

$$\Delta E/(\Delta t \cdot m) \leq c^2 H$$

Так, для Солнца относительное уменьшение массы за счет излучения в год составляет до 10^{-13} , тогда как текущий возраст Вселенной обеспечивает удельный прирост массы до 10^{-10} . Интересно отметить, что при массе Солнца порядка 10^{30} кг ежегодный прирост массы в 10^{18} кг составляет в относительном выражении примерно 10^{-12} . Близкий по величине прирост массы необходим для объяснения наблюдаемого (и пока никем не объясненного¹²) ежегодного увеличения расстояния между Землей и Солнцем на 15 см.

Далее на основе вновь полученных решений мы сравним предсказания ТШРВ с реально имеющимися данными астрофизических наблюдений, обсудим ряд важных астрофизических тем.

4.2. О замкнутости Вселенной

Как уже было отмечено в разделе 2.11 (в сноске), Эйнштейн нашел для своей первоначальной стационарной модели, что

$$R=(2M \cdot G)/(c^2 \pi)=R_G/\pi,$$

¹² arXiv:0907.2469v1 [gr-qc] 14 Jul 2009. J. Anderson et al. Astrometric Solar-System Anomalies.

где M – масса Вселенной, G – гравитационная постоянная Ньютона, c – скорость света; при таком подсчете R оказывается в π раз меньше так называемого "гравитационного радиуса" Вселенной.

С другой стороны, выразив массу нашей Вселенной $M = \rho \cdot V$ через (найденную нами в качестве нового решения) среднюю плотность $\rho = 3c^2/(4\pi G R^2)$ и объем 3-мерного неевклидова шара $V = 2\pi^2 R^3$, непосредственно получим оценку примерно того же порядка

$$R = 2 \cdot M \cdot G / (3 \cdot \pi \cdot c^2) = R_G / (3\pi)$$

То обстоятельство, что при ничтожной плотности вещества геометрический радиус оказывается меньше гравитационного (и, следовательно, сама Вселенная - "черной дырой"), объясняется, как выше говорилось, следующим простым соображением: при заданной плотности и сферической форме гравитационный радиус пропорционален массе объекта, а геометрический - всего лишь кубическому корню из массы. Выполнение условия $R < R_G$ в обоих случаях согласуется со сделанным при расчете допущением о замкнутости Вселенной, отсутствием у нее границ при конечном объеме, т.е. подтверждает предположение о том, что область локализации энергии покоя материи Вселенной не превышает области, в которой действует гравитация.

Таким образом, и теоретический анализ, и основанные на реальных данных оценки (см. главу 1) подтверждают тот факт, что геометрический размер нашей Вселенной действительно не превосходит ее гравитационного радиуса.

4.3. Проблемы "горизонта" и "плоскостности" Вселенной

В стандартной космологической модели (СКМ) известна проблема "горизонта", связанная с глобальной пространственной однородностью Вселенной ([Сажин, 2002]). Однородность обычно объясняется с помощью гипотезы о существовании фазы инфляции, т.е. сверхбыстрого расширения Вселенной на ранних стадиях ее существования. В то же время, как отмечено в [Вессон, 2003], не ясно, объясняет ли это также однородность свойств массивных частиц, которая была выявлена спектроскопией удаленных астрономических источников, например - квазаров. Между тем, в рамках нашей модели размер Вселенной со временем растет строго линейно, поэтому скорость удаления горизонта в точности совпадает со скоростью расширения Вселенной, так что данной проблемы просто не возникает.

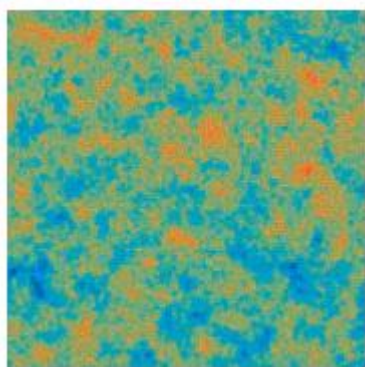


Рисунок 4.2. ([Wayne Hu, 2008])
Фрагмент карты
температурных флуктуаций

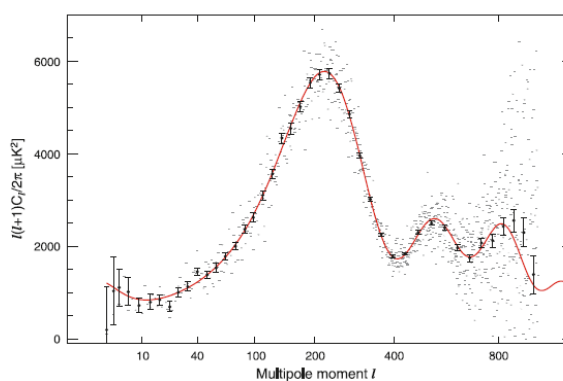


Рисунок 4.3 ([Dunkley et al., 2008]).

Спектр мощности температурных флуктуаций

Известно также, что СКМ объясняет расположение наиболее высокого корреляционного пика температурных флуктуаций космического микроволнового фонового излучения (СМБР) при $l \approx 200$ (соответствует угловому размеру порядка 1°), используя представление о *плоской*

пространственной геометрии Вселенной. На рис. 4.2 приведен фрагмент карты таких флуктуаций, на рис. 4.3 – полный спектр мощности температурных флуктуаций CMBR.

Рассмотрим, как получается в СКМ нужное значение угла и соответствующее значение ℓ (см. [Bersanelli et al., 2002], [Dunkley et al., 2008], [Santleben et al., 2008], [Spergel et al., 2003], [Wayne Hu and Dodelson, 2002], [Wayne Hu, 2008], [Постнов]). Логика расчета принимается следующей:

- Угловой размер наблюдаемой современным наблюдателем некоторой области небосвода определяется путем вычисления тангенса угла, т.е. отношения размера этой области к пути, пройденному фотонами от нее до наблюдателя. Если это отношение достаточно мало, то оно приблизительно равно самому углу, выраженному в радианах.
- Размер s_r нужной области вычисляется на основе довольно сложной физической модели процессов, происходящих от момента Большого Взрыва $t=0$ вплоть до эпохи последнего рассеяния t_r (т.е. в диапазоне от $z=\infty$ до $z_r=1.1 \cdot 10^3$). Речь идет о *первой* гармонике флуктуаций температуры, поэтому подразумевается, что по порядку величины размер s_r просто равен размеру Вселенной в эпоху последнего рассеяния, т.е. при $t=t_r$.
- Путь $c\Delta t$, пройденный фотонами, пропорционален времени расширения Вселенной от эпохи последнего рассеяния ($t=t_r$, $z=z_r$) до современной эпохи ($t=t_0$, $z=0$). Пренебрегая временем, прошедшим от Большого Взрыва (при $z=\infty$) до эпохи последнего рассеяния (при $z=z_r$), можно считать, что $c\Delta t \approx ct_0$.
- В действительности в данном случае следует использовать не метрическое расстояние $d_M=c\Delta t$, а угловое расстояние $d_A = d_M/(1+z)$, которое учитывает расширение Вселенной за время между испусканием фотонов объектом и регистрацией фотонов наблюдателем. Поэтому рассчитанный угол необходимо умножить еще на множитель $(1+z)$:

$$\begin{aligned}\Theta &= (s_r/\sqrt{3})/d_M = (1+z) ct_r / (\sqrt{3}c\Delta t) \approx \\ &\approx (1.1 \cdot 10^3 \cdot 3.3 \cdot 10^5) / (1.7 \cdot 13.7 \cdot 10^9) = \\ &= (3.6/2.4) \cdot 10^{-2} = 1.5 \cdot 10^{-2} \text{ рад} = 0.9^\circ\end{aligned}$$

(здесь коэффициент $\sqrt{3}$ обусловлен соотношением между амплитудами флуктуации гравитационного потенциала и флуктуации температуры.) Соответствующий мультипольный момент имеет номер $\ell = 180^\circ/0.9^\circ = 200$.

Использование в качестве метрического (координатного) расстояния $c\Delta t$ допустимо лишь в случае плоской¹³ Вселенной. В свою очередь, плоская метрика в СКМ подразумевает, что в уравнениях Эйнштейна – Фридмана для плотности материи ρ следует использовать так называемое критическое значение ρ_0 . И, наконец, как хорошо известно, в СКМ именно от соотношения между ρ и ρ_0 зависит не только тип *пространственной* метрики, но и характер эволюции Вселенной *во времени*.

Выше мы воспроизвели логику рассуждений СКМ, приводящей ее к выводу о плоской геометрии Вселенной и, вследствие этого, к соотношению $\rho=\rho_0$. Однако существует метод вычисления положения максимального пика спектра мощности температурных флуктуаций CMBR, *никак не связанный с гипотезой о характере пространственной метрики* Вселенной. Он весьма прост, его суть состоит в следующем: в эпоху последнего рассеяния звуковой горизонт полностью окружал воображаемого наблюдателя по всему периметру. За время, прошедшее с тех пор, длина волны ($\sim s_r$) основной гармонике колебаний не изменилась, тогда как размер Вселенной возрос в $(z+1)$ раз. Следовательно, во столько же раз увеличилась кратность этой гармонике для современного наблюдателя. Более точно, с учетом сделанного

¹³ В ином случае, как известно, расстояние становится аргументом обычного синуса для замкнутой на себя пространственной геометрии, или гиперболического синуса для открытой пространственной геометрии Вселенной.

выше замечания, коэффициент пересчета равен $(z_r+1)/\sqrt{3}$. Это при $z=1100$ дает угол $\theta \approx 0.6^\circ$, что в точности соответствует данным наблюдений¹⁴.

Выше, на рис. 4.1, был приведен закон изменения масштабного фактора (т.е. относительного размера) Вселенной в функции безразмерного возраста $H_0 t$ (где H_0 – параметр Хаббла в настоящую эпоху) для различных космологических моделей ([Шульман и Рэффел, 2008]). Красная линия соответствует линейному закону эволюции (ТШРВ), при котором масштабный фактор строго растет пропорционально возрасту Вселенной. Синяя же кривая соответствует принятой в СКМ так называемой Λ CDM-модели ($\Omega_M = 0.25$, $\Omega_L = 0.75$, $\Omega_k = 0$). На основе подбора “наилучших” значений параметров Ω_M , Ω_L и Ω_k для такой зависимости СКМ, как мы отметили выше, приходит к заключению, что в настоящую эпоху Вселенная *расширяется с ускорением*. Но с точки зрения ТШРВ дело обстоит по-другому: просто параметры синей кривой подобраны так, что она проходит через ту же самую конечную точку, что и красная линия. Последняя, напротив, предусматривает строго постоянный темп расширения Вселенной.

Из сказанного в настоящем разделе следует, что положение максимального пика спектра СМВР вовсе не является убедительным доказательством плоскостности геометрии Вселенной и выполнения условия $\rho = \rho_0$.

4.4. Начальный пик спектра мощности флуктуаций температуры космического фонового излучения

Найденное нами новое решение позволило предсказать еще один возможный феномен (см. [Шульман и Рэффел, 2008]). Оказывается, самые “старые” реликтовые фотоны за 13,7 млрд. лет расширения Вселенной успевают совершить “кругосветное” путешествие и снова появиться в той части небосвода, в которой мы могли бы их видеть в раннюю эпоху существования Вселенной, если бы мы и Земля тогда существовали. Указанный феномен может объяснить некоторые особенности автокорреляционного спектра мощности флуктуаций температуры реликтового излучения.

В модели ТШРВ физически неподвижным телам соответствует “дрейф” точки 3-мерной поверхности (Вселенной) вдоль 4-мерного радиуса расширяющегося шара. При этом 3-мерные пространственные расстояния между различными “неподвижными” точками возрастают в точности по закону Хаббла, а угол Θ между отвечающими им 4-радиусами остается постоянным.

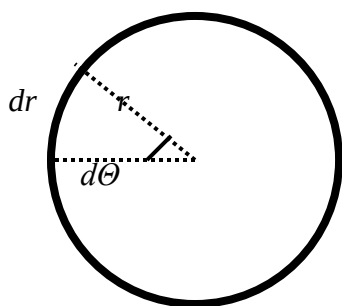


Рисунок 4.4

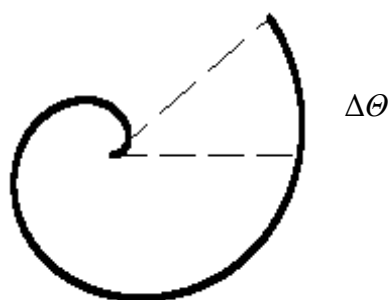


Рисунок 4.5

Когда же речь идет о движущихся телах, то при расширении Вселенной наряду с возрастанием 4-радиуса изменяется и указанный угол Θ . В предельном случае движения со скоростью света изображающая точка – при возрастании радиуса r на величину dr – также возрастает на величину dr и поэтому смещается на угол $d\Theta = dr/r$ (см. рис. 4.4). Интегрируя,

¹⁴ В позднейшем отчете по проекту WMAP [Komatsu et al., 2010] указано значение $\theta = 0.6^\circ$, *совпадающее* с нашим результатом.

находим, что при возрастании радиуса Вселенной от значения r_1 до r_2 фотон, движущийся со скоростью света, перемещается на угол

$$\Theta = \ln(r_2/r_1)$$

Остается выяснить, какова реальная величина Θ , соответствующая текущему возрасту Вселенной 13.7 млрд. лет и моменту, начиная с которого фотоны смогли свободно путешествовать. Учитывая, что “поверхности последнего рассеяния” отвечает красное смещение $z \sim 1100$, найдем, что $\ln(r_2/r_1) = 7.00$, так что “перекрытие” по (возрастающему) периметру Вселенной оказывается равным (см. рис. 4.5):

$$\Delta\Theta = 7.00 - 6.28 = 0.72 \text{ (рад)},$$

или примерно 41° . Иными словами, наиболее “старые” свободно путешествующие по Вселенной фотоны, подобно Магеллану, возвращаются к нам с противоположной стороны небосвода (это эквивалентно дополнительной интенсивности потока фотонов в соответствующих точках небосвода).

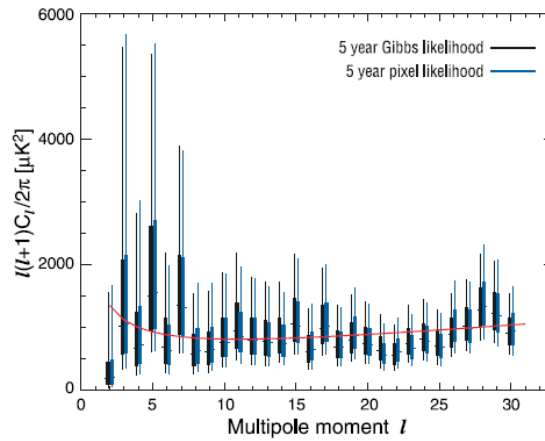


Рисунок 4.6 [Dunkley et al., 2008]

Можно ли проверить существование такого эффекта? Современная астрофизика располагает экспериментально полученным автокорреляционным спектром температуры реликтового излучения (см. данные космического зонда WMAP на рис. 3.11). Он показывает степень корреляции между температурой различных участков небосвода в зависимости от размера этих участков. Точнее, аргументом этой функции является мультипольный момент с номером $\ell = \pi/\theta$, где θ – угловой размер участка. Наибольшему пику зависимости на рис. 4.3 соответствует $\ell \sim 200$, т.е. угловой размер поверхности последнего рассеяния порядка 0.6° , “видимый” в настоящую эпоху.

Как было отмечено, угловое перекрытие для старейших фотонов $\Delta\Theta$ составляет до 0.72 рад (41°). Такому угловому размеру должен соответствовать мультипольный момент $\ell \sim 3.14/0.72 = 4.4$. Теоретическая кривая для $\ell < 25$ отвечает так называемому плато Сакса-Вольфа и представляет собой участок, близкий к плоскому. Однако на рис. 4.6 (начальный участок спектра) отчетливо заметны несколько экспериментальных максимумов в районе $\ell \sim 3 \div 7$ (авторы [Dunkley et al., 2008] представляют несколько вариантов обработки данных).

Интересно сравнить предсказания с ТШРВ с тем, что говорит об этом стандартная Λ CDM-модель. Последняя предсказывает (см. [Палаш, 1999]), что зависимость между достигнутой степенью расширения вселенной $u=a/a_0$ и безразмерным временем $H_0 t$, прошедшим с момента Большого взрыва, дается соотношением

$$H_0 t = \int_0^{y(t)} \frac{dx}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{x} - 1\right)\Omega_m + (x^2 - 1)\Omega_\Lambda}}$$

Здесь $a(t)$ – размер Вселенной в момент времени t , индекс “0” обозначает современные значения размера a и постоянной Хаббла H , так что $y(t_0) = 1$. Параметры Ω_m и Ω_Λ обозначают относительные плотности материи и Λ -компоненты. Результаты численного интегрирования представлены выше на рис. 3.9. Как видим, для Λ CDM-модели при “оптимальных” значениях параметров ($\Omega_\Lambda=0.75$ и $\Omega_m=0.25$) безразмерный возраст Вселенной $H_0 t$ также практически равен единице.

С другой стороны, “полный угол облета Вселенной” для любой модели можно записать в виде

$$\Theta = \int_0^t c d\tau / a_0 y(\tau)$$

При численных расчетах этот интеграл можно заменить суммой

$$\Theta(H_0 t) = (c/a_0)/H_0 \sum_0^t [\Delta(H_0 \tau)/y(H_0 \tau)]$$

где суммирование должно вестись по последовательным (достаточно малым) интервалам времени. Эти интервалы не обязательно должны быть равными между собой, практически удобнее сделать шаги равномерными по $y(H_0 \tau)$.

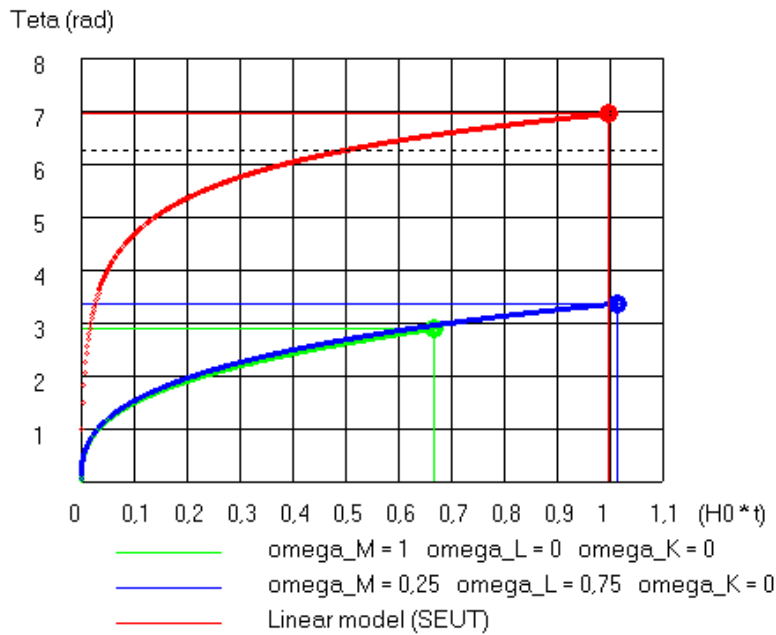


Рисунок 4.7. Зависимость “угла облета” фотонами Вселенной в разных космологических моделях

В безразмерном множителе перед знаком суммы фигурируют современные значения постоянной Хаббла H_0 (которое определяется по данным астрофизических измерений) и абсолютного размера Вселенной a_0 . Поскольку фактическая величина a_0 нам неизвестна, то этот множитель определяется моментом времени, когда отношение (a/a_0) достигает единицы в выбранной космологической модели (см. рис. 4.1 и табл. 4.2).

Таблица 4.2.

Модель	$H_0 t_0$	$(c/a_0)/H_0$	$\Theta(H_0 t_0)$, рад
ТШРВ	1	1	7.00
Λ CDM // $\Omega_\Lambda = 0, \quad \Omega_m = 1$	0.6672	1.4988	2.93
Λ CDM // $\Omega_\Lambda = 0.75, \quad \Omega_m = 0.25$	1.0143	0.9859	3.42

Результаты численных расчетов угла Θ (“углового” горизонта частиц) показаны на рис. 4.7. Как легко видеть, для обеих версий Λ CDM-модели угол Θ нарастает по одной и той же зависимости (хотя участки этой кривой ограничены различным возрастом Вселенной).

Найденные значения углов для Λ CDM-моделей практически исключают возможность проявления в их рамках эффекта старейших фотонов на спектре реликтового излучения. Только в ТШРВ конечный угол пересекает критическое значение 2π (на рис. 4.7 показано пунктирной линией), причем основное различие моделей проявляется в течение начального 10%-этапа времени расширения.

4.5. Проблема пониженной яркости вспышек Сверхновых

В последние годы сложилось мнение, что экспериментальные данные указывают на переход к стадии ускоренного расширения Вселенной. В первую очередь этот вывод основан на измерениях яркости сверхновых звезд: пониженная яркость предсказывается моделью Вселенной с определенным значением вышеуказанной космологической постоянной Λ (которое, собственно, и подбирается из условия наилучшего соответствия эксперименту).

Между тем в рамках предлагаемого подхода несложно получить не менее удовлетворительное количественное объяснение пониженной яркости сверхновых, основываясь на *линейном* во времени расширении Вселенной и не занимаясь какой-либо “подгонкой” модели. Тем самым, вопреки широко распространенному представлению, ставится под большое сомнение якобы экспериментально установленный факт ускоренного расширения Вселенной в современную эпоху.

В стандартной космологии связь между координатным $r(z)$ и фотометрическим $\ell(z)$ расстояниями до источника светового сигнала, испущенного при величине красного смещения z , дается (при $c = 1$) соотношением:

$$\ell(z) = H_0 a_0 r(z) (1 + z)$$

где H_0 и a_0 – соответственно постоянная Хаббла и масштабный фактор Вселенной в настоящее время. Множитель $(1 + z)$ в статической Вселенной отсутствует, а в расширяющейся Вселенной учитывает *изменение* пространственного масштаба за время распространения светового сигнала. С другой стороны, множитель $r(z)$ выражает через z *само безразмерное расстояние*, пройденное световым сигналом от источника до приемника без учета расширения Вселенной как такового (оно, очевидно, равно нулю при $z = 0$).

Произведение $H_0 a_0 r(z)$ в модели Эйнштейн-Фридмана (ЭФ) равно ([Палаш, 1999]):

$$H_0 a_0 r(z) = \frac{1}{\sqrt{|\Omega_k|}} \operatorname{sinn} \left[\sqrt{|\Omega_k|} \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{(1+z')^2(1+\Omega_m z') - z'(2+z')\Omega_\Lambda}} \right],$$

где “sinn” означает гиперболический синус при $\Omega_k > 0$ и обычный синус при $\Omega_k < 0$. Здесь используются безразмерные параметры компонент плотности, обусловленные материей (Ω_m), кривизной (Ω_k) и космологической постоянной (Ω_Λ), причем $\Omega_m + \Omega_k + \Omega_\Lambda = 1$. Если $\Omega_k = 0$, то sinn и Ω_k исчезают из этого выражения, остается лишь сам интеграл.

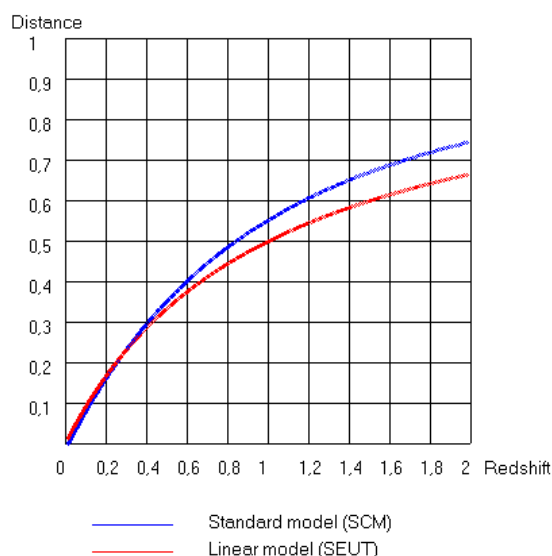


Рисунок 4.8.

Зависимость от красного смещения z величины $H_0 a_0 r(z)$ в СКМ (SCM) и ТШРВ (SEUT)

На рис. 4.8 приведен полученный численным путем график $H_0 a_0 r(z)$ для так называемой стандартной космологической модели (СКМ, SCM) при $\Omega_m = 0,25$, $\Omega_\Lambda = 0,75$, $\Omega_k = 0$ (синяя кривая). На том же рисунке красной линией показана зависимость $H_0 a_0 r(z)$ для упомянутой выше космологической модели ТШРВ (SEUT). В ней расстояние от наблюдателя до объекта с красным смещением z описывается простым соотношением $1 - 1/(1+z) = z/(z+1)$.

На рис. 4.9 показана (см. [Перлмутер, 1999]) разность зависимостей “магнитуда светимости – красное смещение” для космологических моделей Фридмана с различными значениями Ω_m и Ω_Λ (при $\Omega_k = 0$). Разность магнитуды Δm при данном z для различных моделей А и В может быть найдена из простого соотношения

$$\Delta m = 5 \cdot \lg [r_A(z) / r_B(z)]$$

(где 5 – исторически возникший коэффициент, см., например, [Клапдор-Клайнгротхаус, Цюбер, 2000]).

Из рис. 4.9 следует, что кривые для СКМ и ТШРВ отличаются (при $z < 2$) не более, чем на 10%. Соответственно, магнитуды их светимости отличаются не более чем на 0,2 (это практически отвечает погрешности при измерениях), так что обе модели дают совпадающие предсказания. Таким образом, эффект пониженной светимости сверхновых звезд для больших значений красного смещения в общепринятой модели Эйнштейна – Фридмана объясняется как следствие *нелинейной* зависимости размера Вселенной от ее возраста. Одним из традиционных технических способов преодоления этой трудности является введение космологического члена и “подгонка” численного соотношения между безразмерными компонентами плотности ($\Omega_m = 0,25$, $\Omega_\Lambda = 0,75$, $\Omega_k = 0$). В ТШРВ же не требуется ни введения космологического члена, ни численной “подгонки”, а необходимый эффект достигается вследствие базовой гипотезы о *линейном* расширении Вселенной. Тем самым, вопреки широко распространенному представлению, *ставится под большое сомнение якобы экспериментально установленный факт ускоренного расширения Вселенной в современную эпоху.*

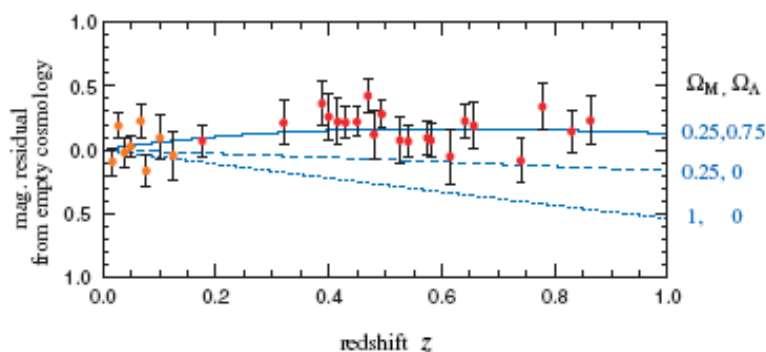


Рисунок 4.9. Разность зависимостей “светимость – красное смещение” для космологических моделей Фридмана с различными значениями Ω_m и Ω_Λ (при $\Omega_k = 0$)

4.6. Зависимость углового размера галактик от красного смещения

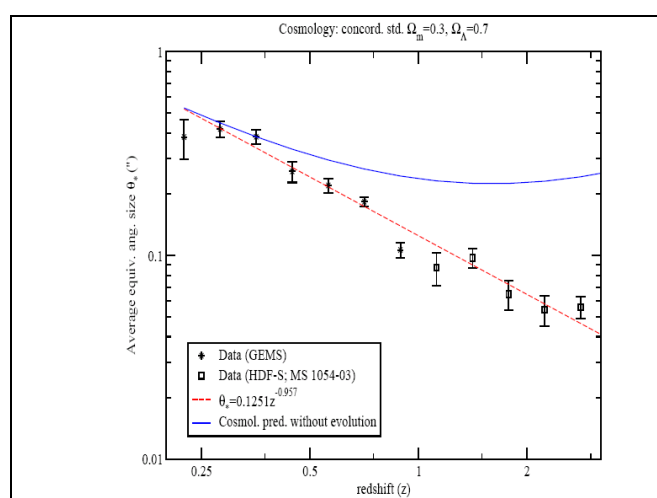


Рисунок 4.10 [Lopez-Corredoira, 2010]

Расчетные и экспериментальная зависимости усредненного углового размера галактик от красного смещения из работы.

Как известно, зависимость углового размера галактик от величины их красного смещения рассматривается как важный тест для космологических теорий. В недавно появившейся публикации [Lopez-Corredoira, 2010] ее автор исследует эту зависимость на большом статистическом материале (при расчетах светимость галактик приводится к унифицированным условиям). Полученные при обработке данные сравниваются с предсказаниями пяти различных космологических моделей. По оценке автора, наблюдаемый в действительности угловой размер галактик примерно *обратно пропорционален* величине красного смещения (рис. 4.10), тогда как стандартная космологическая модель – СКМ (синяя кривая) плохо соответствует полученным результатам.

Ниже предпринимается попытка показать соответствие экспериментальных результатов нашей космологической модели – ТШРВ.

Для расширяющейся со временем Вселенной понятие расстояния можно ввести, как известно, различными способами. Уподобим двумерный аналог Вселенной раздувающейся оболочке воздушного шара, на которую нанесена сеть координат, например – в виде параллелей и меридианов. Расстояния между координатными линиями растут, однако сама сетка отвечает некоторой безразмерной системе координат. Например, если мы нанесли на поверхности нашего шара-глобуса 10 меридианов, то они при любом текущем радиусе шара делят экватор (и любую параллель) на 10 одинаковых отрезков. Длина, измеряемая в этих отрезках, называется *сопутствующим координатным расстоянием* (comoving distance coordinate) L_{comov} . С другой

стороны, физически эта длина, разумеется, изменяется с ростом радиуса шара, и определяет метрическое (физическое) расстояние L_{metr} . Понятно, что переход от одного вида расстояния к другому осуществляется с помощью масштабного фактора $a(t)$ – текущего радиуса шара:

$$L_{\text{metr}} = a(t) L_{\text{comov}}$$

В современную эпоху $a(t_0)=1$, в более ранние моменты эволюции Вселенной $0 < a(t) < 1$.

Измерение угловых размеров объектов во Вселенной требует учета как минимум двух обстоятельств. Во-первых, мы видим удаленные объекты не такими, которыми они являются сейчас, а такими, какими они были в момент испускания регистрируемых нами (сейчас) фотонов. Во-вторых, ход световых лучей зависит от типа пространственной геометрии Вселенной.

Обратимся сначала ко второму обстоятельству. Отличием ТШРВ от СКМ является тот факт, что в ней Вселенной приписывается сферический тип метрики (закрытая модель геометрии). Рассмотрим рис. 4.11. Окружность с радиусом R и центром в точке O воспроизводит упрощенное представление сферической Вселенной. Наблюдатель расположен в точке A , галактика – в точке D , где $BD=r$ – радиус малой окружности. Угол Ω соответствует (поперечному) размеру галактики $d=CE \approx \Omega * BD = \Omega * r$, где отрезок CE перпендикулярен плоскости чертежа и радиальному сопутствующему расстоянию AD .

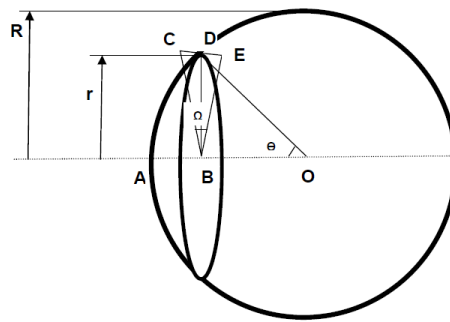


Рисунок 4.11. Связь между углом и расстоянием на сферической поверхности

Итак, для области, обладающей сферической геометрией, соотношение между поперечным размером галактики d и ее угловым размером для наблюдателя в точке A записывается в виде

$$d \approx a R \sin(r/R) \Omega = R \sin(r/R) \Omega / (1+z)$$

На рис. 4.11 радиальному сопутствующему расстоянию от наблюдателя до галактики соответствует угол Θ , для которого $\sin \Theta = r/R$. Важно заметить, что *этот угол также является функцией величины красного смещения z* .

Теперь следует в *полной* мере учесть первое обстоятельство – эволюцию размеров Вселенной от момента излучения галактикой фотонов до момента их регистрации современным наблюдателем на Земле. Фактически мы уже учли эволюцию *радиального* метрического расстояния между галактикой и наблюдателем, введя сомножитель $a(z)$ в *правую* часть вышеприведенного соотношения. Остается учесть зависимость $\Theta(z)$, а также однозначным образом уточнить, что происходит с *поперечным* размером d галактики в левой части. Целесообразно рассмотреть два варианта:

- Поперечный размер галактики остается неизменным, увеличивается только радиальное расстояние между галактиками (т.е. процесс расширения Вселенной проявляется только в крупном масштабе, не затрагивая эволюцию размера галактик).

- Поперечный размер галактики увеличивается так же, как и радиальное расстояние между галактиками (процесс расширения Вселенной проявляется одинаковым образом на любых масштабах).

Прежде всего, укажем, что в ТШРВ имеется простая аналитическая связь между углом Θ , отвечающим радиальному сопутствующему расстоянию от наблюдателя до галактики, и величиной красного смещения z (см. раздел 4.4 и [Шульман и Рэффел, 2008]):

$$\Theta(z) = \ln(1+z)$$

Поэтому для модели с *неизменным* поперечным размером галактики находим:

$$\Omega_{\text{const}}(z) \approx d/[a(z) R \sin \Theta(z)] = (1+z) d / R \sin[\ln(1+z)]$$

При малых z имеем

$$\Omega_{\text{const}}(z) \approx (1+z) \cdot d/[R \sin(z)] \approx (1+z)d/(Rz) = \text{const} * (1+z)/z.$$

С другой стороны, для модели с поперечным размером, *эволюционирующим точно так же*, как и радиальное расстояние, множитель $a = 1/(z+1)$ появляется перед *обеими* этими величинами и поэтому в конечном счете сокращается, так что в этом случае имеем:

$$\Omega_{\text{var}}(z) \approx a(z) d / [a(z) R \sin \Theta(z)] = d / R \sin[\ln(1+z)]$$

При малых z имеем

$$\Omega_{\text{var}}(z) \approx d/[R \sin(z)] \approx d/(Rz) = \text{const} / z.$$

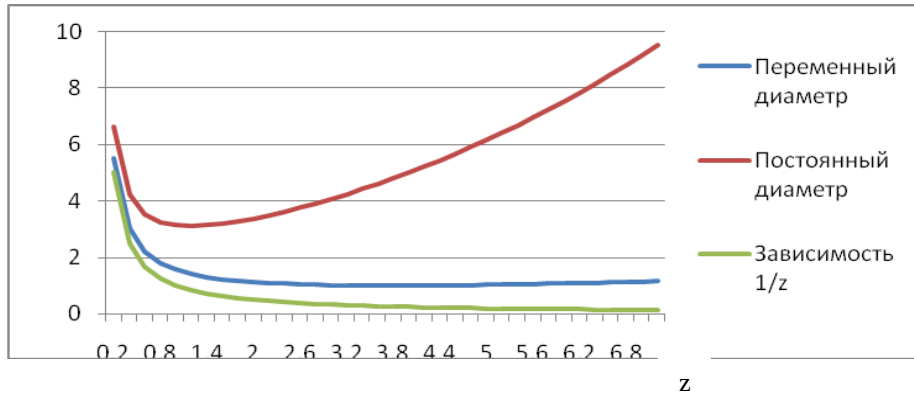


Рисунок 4.12

Расчетные и аппроксимирующая эксперимент (зеленая линия) зависимости углового размера галактик от красного смещения z для моделей ТШРВ с постоянным (красная линия) и эволюционирующим (синяя линия) поперечным размером галактики.

Как легко видеть, во втором случае при малых z мы приходим к качественному совпадению с данными экспериментов, полученными в работе [Lopez-Corredoira, 2010].

На рис. 4.12 приведены данные точных расчетов в сравнении с аппроксимирующей зависимостью $\Omega(z) \sim 1/z$ (зеленая кривая). Красная кривая (для модели с неизменным поперечным метрическим размером галактики) явно расходится с зеленой кривой уже при z , близких к 1. С другой стороны, синяя кривая и качественно, и количественно гораздо ближе к зеленой, и лишь при $z > 4$ начинает очень медленно расти.

Таким образом, ТШРВ позволяет получить достаточно сходное с данными эксперимента описание зависимости углового размера галактик от величины красного смещения. Этот вывод,

однако, жестко связан с предположением, что поперечный размер галактик эволюционирует при расширении Вселенной точно так же, как и радиальное расстояние до них.

В литературе можно встретить различные суждения относительно эволюции поперечных размеров астрофизических объектов (см., например, [Lee, 2009]), иногда даже в пределах одной и той же монографии. Так, автор [Longair, 2008] в параграфе 5.4 пишет (перевод мой - М.Х.Ш.):

Собственные расстояния, перпендикулярные линии взгляда, также должны изменяться в соответствии с масштабным множителем a между моментами времени t и t_0 в силу изотропии и однородности модели мира...

Однако в параграфе 7.4.4 своей книги он уподобляет галактики линейкам с фиксированным размером ("rigid rods") и приводит формулы для определения углового размера, основанные именно на этом предположении.

Авторы научно-популярной статьи [Линевивер и Дэвис, 2005] специально останавливаются на этом вопросе и аргументируют неизменность размера галактик тем, что при изменении расстояний внутри них (и других локальных систем) нарушается баланс сил тяготения, поэтому возникает тенденция к восстановлению первоначальных расстояний. Для СКМ этот довод кажется оправданным: сила тяготения между любыми двумя массами m_1 и m_2 действительно пропорциональна R^{-2} , где R – расстояние между ними. Однако в ТШРВ данное утверждение *неверно*, поскольку в ней одновременно с этим пропорционально R растет также и каждая масса, так что в конечном счете сила притяжения $F = Gm_1m_2/R^2$ остается неизменной, т.е. баланс сил при расширении Вселенной не нарушается.

Необходимо также отметить следующее. В §2 главы 15 известной монографии [Weinberg, 1972] ее автор пишет, что если верить полученным из наблюдений значениям "параметра замедления" и постоянной Хаббла, то с необходимостью получается, что плотность Вселенной около $2\rho_{кр}$. Но в ТШРВ выводится именно такое ($\rho = 2\rho_{кр}$) соотношение между фактической и критической плотностями!

4.7. Зависимость численности галактик от красного смещения

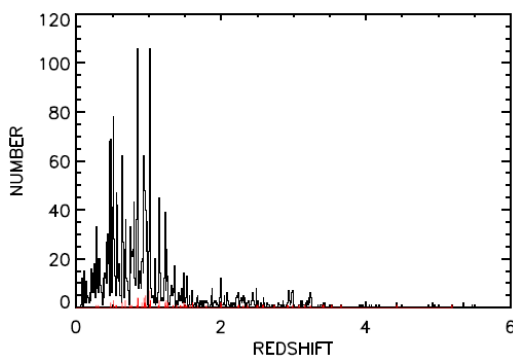


Рисунок 4.13.

Наблюдаемая функция распределения галактик по величине красного смещения ([Barger et al., 2008]).

В работе [Barger et al., 2008] приведена реально наблюдаемая функция распределения для нескольких тысяч галактик по величине красного смещения (рис. 4.13).

Сопоставление эмпирически полученных данных с прогнозами, которые дают различные теоретические модели, представляет интерес с точки зрения выбора в пользу одной из них.

Сразу укажем, что поскольку красное смещение обычно связывают со скоростью расширения Вселенной, то вряд ли имеет смысл рассматривать *статичные* модели¹⁵.

В каждой *расширяющейся* модели данному значению красного смещения z соответствует число галактик $N(z)$, удаленных от наблюдателя на одно и то же расстояние; иначе говоря, все эти галактики локализованы на одной и той же сферической (не обязательно евклидовой) поверхности. Очевидно, что указанное число галактик равно произведению *поверхностной* концентрации $n(z)$ галактик на такой сфере на площадь поверхности сферы:

$$N(z) = n(z) \cdot S(z)$$

Что касается площади S сферической поверхности, то здесь необходимо учитывать два фактора – эффект эволюции масштабного фактора Вселенной со временем и характер пространственной геометрии Вселенной. Удобно использовать безразмерную меру θ удаленности наблюдаемого объекта от современного наблюдателя:

$$\theta(t) = \int_t^{t_0} d(c\tau)/a(\tau)$$

где t_0 – современный возраст Вселенной, t – ее текущий возраст (соответствующий некоторой величине z красного смещения), $a(t)$ – в данной формуле: текущий радиус Вселенной, численно равный ее масштабному фактору (поскольку $a(t_0) = 1$). Нетрудно заметить, что выражение под интегралом в закрытой модели представляет собой тангенс центрального угла расширяющейся сферы, т.е. (в пределе) малое приращение самого этого угла при малом же приращении радиуса. Поэтому интеграл можно считать полной величиной соответствующего угла, выраженного в радианах.

На самом деле нас интересует не параметр $\theta(t)$, а другой параметр – $\theta(z)$. Очевидно, что он *зависит* от того, *как именно* меняется параметр z с течением времени. Зная его, можно выразить площадь интересующей нас поверхности $S(z)$. Это сделано в приведенной ниже таблице 4.3.

Таблица 4.3.

Определение площади ограничивающей поверхности
для различных геометрических моделей Вселенной

Сферическая (замкнутая) модель	Плоская модель	Гиперболическая (открытая) модель
$S \sim [a(z) \cdot \sin \theta(z)]^2$	$S \sim [a(z) \cdot \theta(z)]^2$	$S \sim [a(z) \cdot \text{sh } \theta(z)]^2$

Дальнейшие модельные рассуждения зависят от выбора закона, по которому *поверхностная концентрация галактик на такой поверхности* изменяется по мере эволюции Вселенной. Ниже мы ограничимся двумя простейшими гипотезами.

Первая гипотеза исходит из того, что *полное* число галактик во Вселенной не изменяется в ходе ее эволюции, т.е. не зависит от величины красного смещения. В этом случае при увеличении масштабного фактора $a(z)$ галактики “разбегаются”, объемная плотность галактик обратно пропорциональна кубу масштабного фактора (поверхностная плотность – обратно пропорциональна квадрату этого фактора), а новых галактик практически не возникает, или их появление компенсируется исчезновением прежних. В этом случае поверхностная плотность галактик будет равна

$$n(z) = n_0/[a(z)]^2$$

¹⁵ Иногда формальная связь между расстоянием до наблюдателя и красным смещением электромагнитного сигнала от объекта в статичной Вселенной все же допускается в качестве своего рода эвристического принципа (см. [Lopez-Corredoira, 2010]).

где p_0 – поверхностная плотность галактик в современную эпоху, $a(z)$ – масштабный фактор.

Согласно второй гипотезе, неизменной предполагается плотность галактик¹⁶ в единице объема (и на единице поверхности), т.е. $n(z) = \text{const}$. Это означает, что, наряду с разбеганием уже существующих галактик (о чем говорит закон Хаббла), все время *возникают новые галактики*, которые заполняют свободные области Вселенной.

Скорее всего, оба предположения являются неточными, и окончательный ответ дадут только результаты наблюдений.

Рассмотрим теперь стандартную космологическую модель (СКМ), которая предполагает, что Вселенная пространственно *бесконечна* и обладает *плоской* геометрией (этот вывод делается на основании оптимальной аппроксимации значений предполагаемых космологических параметров по данным наблюдений). Вот типичное описание этой модели, взятое из известной книги [Greene, 2004]:

... если вселенная пространственно бесконечна, уже имеется бесконечная пространственная протяженность в момент Большого взрыва... В такой обстановке Большой взрыв не имел места в одной точке; напротив, Большой взрыв имел место везде на бесконечной протяженности. По сравнению с обычным точечным началом, это похоже на много Больших взрывов в каждой точке бесконечной пространственной протяженности. После Взрыва пространство раздувалось, но его общий размер не возрастал, поскольку нечто, уже бесконечное, не может стать еще больше. Что возрастало, так это расстояния между объектами вроде галактик (как только они сформировались).

Правда, в этой связи хочется задать вопрос, ответ на который вряд ли удастся получить: если в *начальный* момент все расстояния равны *нулю*, то как можно отрицать, что все взрывы все же имели место в одной *единственной* точке, а не во множестве удаленных одна от другой на *ненулевое* расстояние точек?

В такой модели, очевидно, $N(z)$ пропорционально квадрату введенной нами величины θ , характеризующей удаленность наблюдаемого объекта от современного наблюдателя. Эта величина определяется в СКМ с помощью численного интегрирования (см., например, [Палаш, 1999]). Для ее определения через время пролета фотонов могут быть использованы также готовые “космологические калькуляторы” (<http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>).

С другой стороны, $N(z)$ зависит и от выбора между упомянутыми выше гипотезами относительно эволюции или постоянства пространственной плотности галактик. Если принять первую гипотезу (полное число галактик во Вселенной постоянно), то на искомое распределение эволюция масштабного фактора вообще не влияет, т.к. множитель $[a(z)]^2$ входит и в знаменатель $n(z)$, и в числитель $S(z)$, т.е.

$$N_1(z) \sim [\theta(z)]^2$$

Если же мы исходим из второй гипотезы (объемная плотность галактик постоянна), то необходимо учесть также и эволюцию поверхностной плотности галактик (она пропорциональна $[a(z)]^2$, так что распределение имеет вид:

$$N_2(z) \sim [a(z)]^2 [\theta(z)]^2$$

Результаты расчетов представлены на рис. 4.14 (первой гипотезе соответствует *синяя* кривая, второй гипотезе – *красная* кривая (кривые представлены в различном масштабе по оси ординат). Синяя кривая монотонно возрастает совсем не похожа на реально наблюдаемое распределение. Красная же кривая имеет максимум примерно при $z=1.5$ и качественно соответствует наблюдаемой форме распределения.

¹⁶ Отметим, что гипотеза о постоянстве плотности галактик в единице объема используется, например, в книге [Кландор-Клайнгротхаус, Цюбер, 2000].

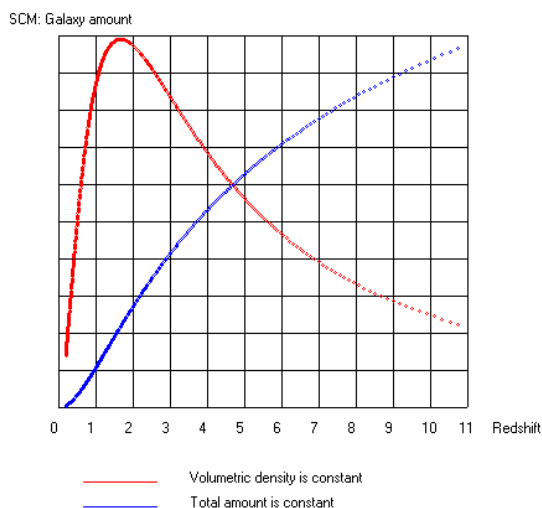


Рисунок 4.14.

Теоретическое распределение числа галактик (Galaxy amount) в зависимости от величины красного смещения (Redshift) в моделях СКМ (SCM):
синяя кривая, если постоянно полное число галактик во Вселенной,
красная кривая, если постоянна плотность галактик в единице объема
 (кривые представлены в различном масштабе по оси ординат)

В ТШРВ эволюция Вселенной описывается 4-мерным конусом с прямолинейной образующей (т.е. с линейной зависимостью радиуса Вселенной от ее возраста). Пространственное сечение этого конуса в каждый момент времени представляет собой 3-мерную неевклидову гиперповерхность 4-мерного шара (рис. 4.15). Замкнутая геометрия пространственного сечения конуса обусловлена тем, что в ТШРВ средняя плотность материи во Вселенной заведомо больше критической.

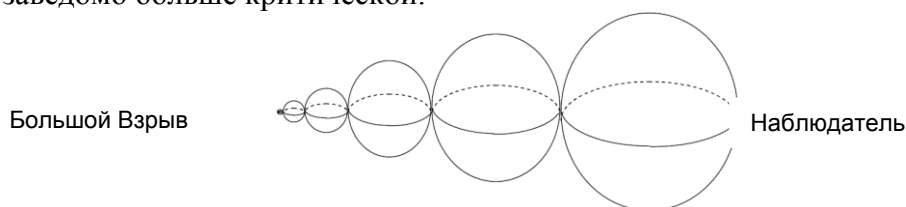


Рисунок 4.15.

Модель расширяющейся замкнутой Вселенной в ТШРВ

В этой модели распределение $N(z)$ заведомо оказывается немонотонным, т.е. обязательно имеет максимум при некотором значении величины красного смещения. Чтобы увидеть это, используем сначала первую из упомянутых выше гипотез, согласно которой полное число галактик остается неизменным, и эволюция размера Вселенной в конечном счете не влияет на распределение $N(z)$. Рассмотрим прежде аналогичную, но значительно более наглядную задачу – закон изменения *длины окружности*, ограничивающей часть неевклидовой поверхности сферы *постоянного* радиуса R (рис. 4.16).

Легко видеть, что при движении (от наблюдателя) слева направо длина $2\pi r$ “малой” окружности сначала возрастает от 0 до максимального значения $2\pi R$, а затем снова убывает до нуля (напомним, что длина окружности на *евклидовой* плоскости возрастает с радиусом *монотонно* и *неограниченно*). Величину радиуса r “малой” окружности можно считать функцией линейного центрального угла θ большого сечения сферы (рис.4), где θ изменяется от 0 до π .

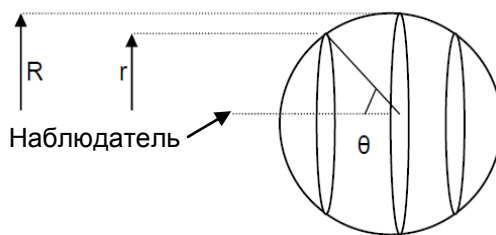


Рисунок 4.16.

Эволюция длины окружности при движении слева направо

В этой 2-мерной аналогии мы мысленно поместили наблюдателя в самой левой точке сферы, а на малой *окружности* радиуса $r = R \sin \theta$ находится наблюдаемый объект, испускающий электромагнитный сигнал. В реальной 3-мерной ситуации, вместо равноудаленных от наблюдателя точек *малой окружности*, мы должны говорить о точках *малой сферы*. Если *длина* малой окружности в 2-мерной аналогии равнялась $[2\pi R \sin \theta]$, то в 3-мерном случае *площадь* такой неевклидовой *малой поверхности* равняется $[4\pi R^2 \sin^2 \theta]$, при $\theta = \pi/2$ эта площадь максимальна и равна площади поверхности обычной 3-мерной сферы радиуса R . Именно величина этой площади и определяет в данном случае число галактик, расположенных от наблюдателя на расстоянии, соответствующем данному z :

$$N_3(z) \sim \sin^2 \theta$$

Как показано выше и в работе [Шульман и Рэффел, 2008], угол θ (в радианах) в ТШРВ равен

$$\theta(z) = \ln [a(0)/a(z)],$$

где $a(z)$ – масштабный фактор¹⁷ Вселенной для текущей величины красного смещения z .

Если же мы будем исходить из второй гипотезы, в которой неизменными полагаются объемная и поверхностная *плотность* галактик, то мы должны учитывать и размер Вселенной для каждого данного значения z . Этот учет осуществляется простым умножением найденного выше значения площади малой поверхности на квадрат текущего значения масштабного фактора Вселенной, т.е.:

$$N_4(z) \sim a^2 \sin^2 \theta$$

Распределения, отвечающие модели ТШРВ и двум упомянутым гипотезам, представлены на рис. 4.17. Как и должно быть, максимум для красной кривой (для которой дополнительно учитывается уменьшение масштабного фактора Вселенной с ростом величины z) расположен левее ($z=1.2$), чем для синей ($z \approx 4$). И в этом случае красная кривая достаточно хорошо аппроксимирует реально наблюдаемую зависимость.

Полученные нами результаты показывают, что решающую роль играет не геометрия модели (СКМ с плоской метрикой или ТШРВ со сферической метрикой), а гипотеза о законе эволюции числа галактик во Вселенной.

Так, гипотеза о *постоянстве полного числа галактик* во Вселенной на протяжении ее эволюции не позволяет получить качественного совпадения с реально наблюдаемым распределением ни в СКМ, ни в ТШРВ, при этом соответствующие предсказания существенно различаются и между собой.

В то же время использование альтернативной гипотезы, согласно которой на протяжении эволюции Вселенной поддерживается *неизменной пространственная плотность галактик*, позволяет получить в рамках обеих моделей практически одинаковое распределение, которое достаточно близко к реально наблюдаемому.

¹⁷ В ТШРВ масштабный фактор $a(z)$ пропорционален текущему возрасту Вселенной.

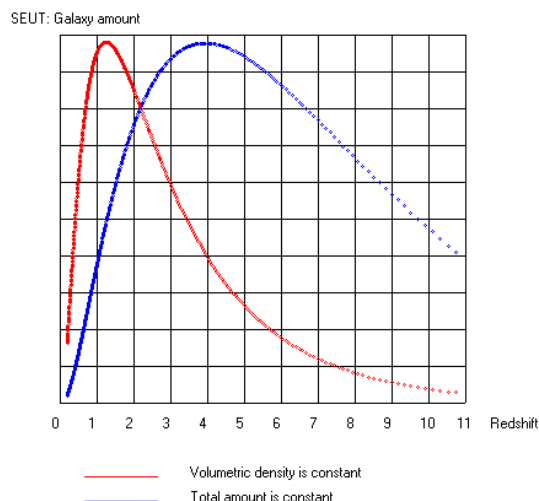


Рисунок 4.17.

Теоретическое распределение числа галактик (Galaxy amount) в зависимости от величины красного смещения (Redshift) в моделях ТШРВ (SEUT): *синяя* кривая, если постоянно полное число галактик во Вселенной *красная* кривая, если постоянна плотность галактик в единице объема (кривые представлены в различном масштабе по оси ординат)

4.8. Абсолютная система отсчета

Развиваемое представление о нашей Вселенной как о черной дыре – сферической 3-мерной оболочке 4-мерного шара – позволяет поставить под сомнение принцип относительности Эйнштейна (точнее, рассматривать его лишь как приближение, справедливое при некоторых условиях). Принцип относительности Эйнштейна декларирует полное равноправие всех *инерциальных* систем. Справедливость этого допущения не вытекает из заведомо убедительных физических соображений и оправдывается лишь апостериори успешными теоретическими предсказаниями теории относительности. Однако, если мы согласимся с моделью расширяющейся сферы, то в такой модели существует заведомо выделенная физическая система отсчета, отвечающая *абсолютному* покою – эта система отсчета связана с любой точкой сферы, которая при ее расширении перемещается в 4-мерном континууме строго вдоль радиуса, т.е. не меняет своего углового положения на сфере, иначе говоря – *не движется относительно самой сферы*. Такое строго радиальное перемещение, собственно говоря, и соответствует течению *абсолютного* времени (разумеется, 4-мерный вектор *времени* в каждой точке сферы перпендикулярен ее поверхности и поэтому не совпадает с 4-направлением времени в других ее точках). Очевидно, при этом проекция вектора абсолютного времени на поверхность сферы вырождается в точку, 4-мерная скорость точки не имеет пространственных (т.е. касательных к поверхности сферы) компонент.

Однако возможно, что рассматриваемая нами частица и связанная с ней система отсчета не находится в состоянии *абсолютного* покоя, а (дополнительно к глобальному процессу расширения 3-сферы) еще и перемещается относительно ее поверхности. В таком случае вектор скорости ее перемещения уже не будет направлен строго по радиусу сферы, но будет обладать еще и пространственными компонентами. Более того, эта точка может обладать не только *линейной*, но и *угловой* скоростью пространственного перемещения. В этом случае можно сделать два следующих предположения:

- Если компоненты линейной и угловой скорости рассматриваемой системы отсчета достаточно малы, то в первом приближении действительно можно ожидать в этой системе выполнения принципа относительности Эйнштейна, т.е. симметрии физических явлений относительно скорости движения.
- С другой стороны, можно рассчитывать, что некоторые экспериментальные измерения все же позволяют выявить эффекты, связанные с отличием от нуля компонент линейной и угловой скорости, присущих выбранной системе отсчета.

Такие экспериментальные измерения физикам удалось сделать во второй половине 20-го века, наблюдая свойства так называемого реликтового (или космического фонового) излучения (считается, что это излучение – остаток древней Вселенной). Предполагалось (и первоначальные измерения это подтверждали), что это излучение изотропно, т.е. его характеристики не зависят от направления. Но позже выяснилось, что имеется малая дипольная анизотропия, которая объяснима, если принять, что мы движемся по направлению к созвездию Льва со скоростью порядка 400 км/с! Запущенный 18 августа 1989 года спутник COBE (Cosmic Background Explorer), разработанный Центром космических полетов Годдарда Национального Аэрокосмического Агенства (NASA), позволил надежно подтвердить этот результат. Спектр космического микроволнового фонового излучения был измерен с точностью 0.005%; было обнаружено, что этот фон (2.728 К) имеет значимую анизотропию на относительном уровне порядка 10^{-5} .

В комментарии к русскому переводу книги [Вайнберг, 2000] ее редактор Я.Б. Зельдович писал:

На этом примере выясняется, что в каждой точке Вселенной существует наблюдатель, относительно которого микроволновое излучение изотропно. Этого наблюдателя и связанную с ним систему координат можно назвать выделенными ... Наличие в каждой точке выделенной системы координат напоминает взгляды физиков до создания теории относительности, когда предполагалось, что свет – это колебания особого вещества – эфира, заполняющего всю Вселенную. Предполагалось далее, что система координат, связанная с эфиром, является преимущественной, выделенной, и ставились опыты по обнаружению движения Земли относительно эфира. Мы знаем, что эти опыты (Майкельсона и других) дали отрицательный результат – светонесущий эфир не существует. Однако эволюция Вселенной приводит к тому, что в наблюдениях космического микроволнового излучения (но только в этих астрономических наблюдениях!) выделенная система появляется, и ее иногда называют "новый эфир" ... в расширяющейся Вселенной новый эфир в одном месте движется относительно старого эфира в другом месте. Именно новый эфир или, другими словами, микроволновое излучение с наибольшей точностью осуществляет движение по закону Хаббла.

Помимо инфракрасной компоненты, было также исследовано космическое фоновое излучение в гораздо более широком спектре. Начиная с 1990 г. с помощью ряда спутников изучается область рентгеновского и гамма-излучения. Наблюдаемая в рентгеновских лучах дипольная анизотропия в пределах погрешностей измерений точно соответствует дипольной анизотропии фонового 3К-излучения, что подтверждает ее интерпретацию как эффекта Доплера. Итак, основываясь на современных данных по анизотропии космического излучения, мы можем заключить, что отношение линейной скорости нашей системы отсчета к скорости света составляет 0.0015 .

Относительно абсолютной угловой скорости ничего определенного пока сказать нельзя. Можно утверждать лишь одно – гипотетическая абсолютная угловая скорость системы отсчета земного наблюдателя если и отлична от нуля, то все же ничтожно мала по отношению к скорости суточного вращения Земли и, соответственно, кажущегося вращения звездного неба. Более того, наша гипотетическая абсолютная угловая скорость, вероятно много меньше и угловой скорости вращения звездного неба с периодом 25 765 лет, обусловленного прецессией земной оси, и даже угловой скорости вращения Солнца вокруг центра Галактики (один оборот за 200 – 250 миллионов лет).

4.9. Логические доказательства основной гипотезы ТШРВ

Напомним, что основная гипотеза ТШРВ состоит в том, что наша Вселенная представляет собой черную дыру во внешней гипервселенной. Выполняя обещание, данное мной во Введении, я приведу два соображения, с моей точки зрения теоретически обосновывающих эту гипотезу.

Прежде всего, рассмотрим бесконечную Вселенную, обладающую *заданной* (средней) плотностью ρ и бесконечной массой. Выделим мысленную сферу достаточно малого радиуса R . Увеличивая радиус нашей виртуальной сферы, мы тем самым будем увеличивать ее массу M (а значит – и гравитационный радиус $R_G \sim M$) пропорционально кубу геометрического радиуса. Иными словами, геометрический радиус R пропорционален кубическому корню из массы M (и R_G). Нелинейность этой зависимости означает, что, начиная с некоторого критического значения (зависящего от плотности ρ), гравитационный радиус *обязательно* превысит геометрический размер сферы (см. рис. 4.18), т.е. она *неизбежно* превратится в черную дыру, для которой *критическая* плотность $\rho_{cr} \sim (R_G)^{-2}$ совпадет с заданной плотностью ρ . Таким образом, вследствие неотвратимости коллапса, Вселенная не может быть бесконечной.

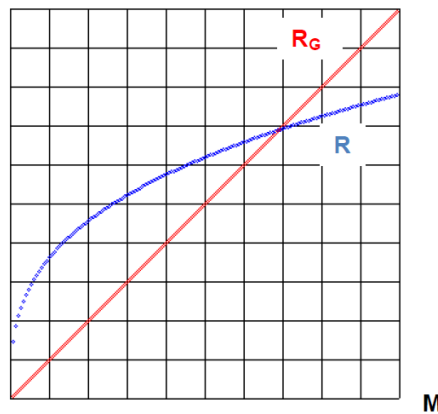


Рисунок 4.18. Изменение гравитационного (R_G) и геометрического (R) радиусов объекта с ростом его массы M при заданной средней плотности $\rho = \text{const}$

Обратимся теперь к нашей Вселенной, средняя плотность которой порядка 10^{-29} г/см^3 . В табл. 4.4 представлены результаты расчета параметра (ρ/ρ_{cr}) близости объекта к состоянию гравитационного коллапса для различных астрофизических объектов. Из таблицы следует, что наша Вселенная действительно должна находиться в состоянии гравитационного коллапса.

Таблица 4.4.

Отношение (ρ/ρ_0) для различных астрофизических объектов

Объект	Масса M (кг)	Радиус R (м)	Гравитационный радиус R_G (м)	$(\rho/\rho_0) = (R_G/R)^3$
Земля	$6 \cdot 10^{24}$	$6 \cdot 10^6$	10^{-2}	$\sim 10^{-26}$
Солнце	$2 \cdot 10^{30}$	$7 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^3$	$\sim 10^{-16}$
Млечный Путь	$3 \cdot 10^{42}$	$\sim 10^{19}$	$\sim 10^{15}$	$\sim 10^{-12}$
Вселенная	$\sim 10^{53}$	$\sim 10^{26}$	$\sim 10^{26}$	~ 1

Этим исчерпываются аргументы первой группы. Вторая группа аргументов, к которой мы переходим, как мне кажется, не менее убедительна и интересна.

Выдающийся английский физик Поль Дирак в своей лекции в Школе физики при университете Нового Южного Уэльса (Австралия), состоявшейся 27.08.1975 г. [Dirac, 1978], обратил внимание слушателей на любопытное совпадение порядка значений некоторых безразмерных комбинаций физических величин. Например, отношение электростатической силы к гравитационной есть

$$\frac{e^2}{Gm_em_{prot}} \approx 2 \cdot 10^{39}$$

где m_e и m_{prot} – массы электрона и протона, e – электрический заряд электрона (или протона), G – гравитационная постоянная, c – скорость света. С другой стороны, примерно то же числовое значение имеет отношение возраста Вселенной τ_U ко времени $\tau_e \approx e^2/m_e c^3$, за которое свет проходит сквозь классический электрон:

$$\frac{\tau_U}{\tau_e} \approx 7 \cdot 10^{39}$$

Он предположил, что между двумя этими величинами должна существовать связь, что обе они должны расти со временем, что со временем может меняться также гравитационная постоянная и масса Вселенной в целом. Эта гипотеза не привела к успешным предсказаниям и была отнесена многими физиками к чему-то вроде нумерологии. Сама проблема продолжала привлекать внимание исследователей, но так и не получила общепризнанного разрешения. Даже неудачи гения не должны оставаться без внимания – не найденное им сокровище может быть спрятано где-то совсем рядом! Сделаем попытку все-таки найти рациональное (и, в общем, близкое по смыслу) объяснение вышеизложенных фактов в рамках предлагаемой космологической модели.

В планковской системе “натуральных единиц измерения” можно определить “планковские” единицы массы, длины и плотности соотношениями

$$m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 2.1 \cdot 10^{-5} \text{ з}, \quad l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.6 \cdot 10^{-33} \text{ см}, \quad \rho_p = \frac{m_p}{l_p^3} \approx 10^{94} \text{ з/см}^3$$

Заметим, что отношение первых двух величин равно

$$\frac{m_p}{l_p} = \sqrt{\frac{(\hbar c / G)}{(\hbar G / c^3)}} = \frac{c^2}{G} \approx 10^{28} \text{ з/см}$$

Можно также ввести планковскую температуру

$$T_p = \frac{m_p c^2}{k_B} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G(k_B)^2}} \approx 10^{32} \text{ К}$$

Теперь попробуем прояснить физический смысл гравитационной постоянной G . С моей точки зрения, для этого целесообразно использовать известное соотношение:

$$R = 2GM / c^2$$

где R – гравитационный радиус тела с массой M , c – скорость света. Из этого соотношения непосредственно следует простая и однозначная линейная связь между расстоянием (в

единицах гравитационного радиуса) и соответствующей массой, так что их можно в некотором смысле полагать одной и той же физической величиной.

Более того, с точки зрения внешнего наблюдателя вышеприведенное соотношение является основным “уравнением состояния черной дыры” – с ростом массы ее размер *увеличивается*, а их отношение, очевидно, должно быть константой. Обозначим современный радиус Вселенной через R_U , а ее современную массу – через M_U . Если считать справедливой гипотезу ТШРВ о том, что наша Вселенная является черной дырой, то отношение между ее массой и радиусом в любую (в том числе – современную) эпоху будет равно постоянной величине

$$\frac{M_U}{R_U} = \frac{c^2}{2G}$$

Как известно, $M_U \approx 10^{56} \text{ г}$, $R_U \approx 10^{28} \text{ см}$, так что их отношение имеет величину порядка 10^{28} г/см .

Таким образом, с точностью до малосущественного множителя 2 (его нетрудно исключить за счет переопределения m_p или l_p) мы получаем

$$\frac{M_U}{R_U} = \frac{m_p}{l_p} = \frac{c^2}{G}$$

В этом соотношении можно увидеть подтверждение исходной гипотезы ТШРВ о неизменности отношения массы Вселенной к ее размеру (т.е. гравитационному радиусу) в любую эпоху.

Далее, из приведенного соотношения легко вывести и проверить (см. Wikipedia.org, статья Plank Units), что

$$\frac{M_U}{m_p} = \frac{R_U}{l_p} \approx 10^{60} \equiv D$$

Введенное здесь число D раз, в которое увеличились масса и размер Вселенной за время ее эволюции, характеризует *безразмерную длительность эволюции Вселенной*. Я предлагаю называть его числом Дирака.

Логично далее сделать следующий шаг и принять, что “планковский” момент времени есть момент Большого Взрыва (т.е. гравитационного коллапса массивного объекта, положившего начала нашей Вселенной). Тогда мы приходим к замечательным выводам: *начальный размер нашей Вселенной был равен $l_p \approx 10^{-33} \text{ см}$, а ее начальная масса¹⁸ была равна $m_p \approx 10^{-5} \text{ г}$.*

Итак, отношение $\frac{M_U}{R_U} = \frac{m_p}{l_p}$ оказывается не зависящим от постоянной Планка $\hbar$. Однако

соотношения между величинами m_p и M_U , а также между l_p и R_U от нее зависят. Видимо, параметр $\hbar$ каким-то образом характеризует текущий момент расширения Вселенной и в иную эпоху может иметь иное значение (ср. с вышеупомянутой гипотезой Дирака!).

Ранее в работе [Шульман, 2004] мною было показано, что главная новация Гейзенберга при создании квантовой механики состояла во введении *комплексных* величин для описания, в частности, пространственных орбит электронов в атоме. Прямым следствием этого явилось возникновение новых *правил коммутации* таких пар физических величин, как координата и

¹⁸ Иногда приходится встречать в литературе произвольное, с моей точки зрения, утверждение, что планковская масса – это “максимально возможная масса элементарной частицы”.

импульс, или время и энергия (в классической физике эти правила сводились к тривиальному случаю коммутации обычных c -чисел). В частности, уже при описании классических *осцилляторов* с помощью *комплексных* величин (вследствие различия между самими величинами и комплексно сопряженными к ним) возникают аналоги квантовомеханических коммутаторов. Разумеется, величина $\hbar$ туда не входит, но появляются выражения¹⁹ типа Ψ , Ψ^* , $|\Psi| = \Psi^* \Psi$ и т.д. Каждый такой осциллятор без потерь (со сдвигом по фазе $\pi/2$ между координатой q и импульсом p) описывается коммутатором вида

$$[q, p] = q^* p - q p^* = i q_{\max} p_{\max} ,$$

где справа стоят *максимальные* (действительные) значения q и p .

Гениальное достижение Дирака, завершившее переход к математическому аппарату квантовой механики, свелось в конечном счете к замене произведения $q_{\max} p_{\max}$, сугубо *индивидуального* для каждого конкретного классического осциллятора, на *универсальную* размерную константу действия²⁰.

Заметим, что говоря об осцилляторах, мы фактически учитываем *волновую* природу материи, о которой впервые заявил де Бройль. При этом следует иметь в виду, что волна, которая соответствует квантовым частицам (“волна-пилот” де Бройля – Бома), является *нелокальной* и *распространяется* (насколько этот термин здесь уместен) в пространстве с бесконечной скоростью. Физическую информацию эти волны переносить не могут, но могут приводить к нелокальным корреляциям между точками, разделенными пространственно-подобным интервалом (как, например, в ЭПР-опытах).

Как известно, параметр $\hbar$ появляется в соотношениях квантовой механики, в которых фигурируют *энергия* и *импульс*. В рамках идеологии геометризации физики хотелось бы уточнить, какой физический смысл имеют эти последние величины. ТШРВ предлагает на этот вопрос простой и ясный ответ, который в действительности полностью отвечает букве и духу квантовой теории. Этот ответ состоит в следующем:

Энергия и импульс представляют собой квантовые числа, выражающие отношение возраста (радиуса) Вселенной к периоду (длине волны) де Бройля данной конкретной квантовой частицы.

Таким образом, волновая природа каждой квантовой частицы превращает ее в своеобразные “часы” и “линейку”, измеряющие эволюцию Вселенной (напомним, что в отличие от Стандартной модели, период и длина волны де Бройля в ТШРВ принимаются неизменными в ходе расширения Вселенной).

Как известно, исторически уравнение Шрёдингера было выведено его автором путем обобщения выражения для волны де Бройля свободной частицы. Небесполезно проделать обратный путь – от потенциальной ямы для связанной частицы вернуться к свободной частице, считая (в соответствии с результатами, полученными в ТШРВ) *размер Вселенной конечным*.

Начнем мысленно увеличивать ширину потенциальной ямы, в которой находится некоторая квантовая частица, до тех пор, пока один ее край не совместится (в конечной и замкнутой Вселенной) с другим краем. Бесконечно высокие энергетические стенки ямы как физические ограничители местоположения частицы нам больше не требуются, поскольку математическое условие квантования останется тем же – число полуволин должно быть целым. Вместе с тем длина волны теперь выражается не через более или менее произвольный размер ямы, а через периметр Вселенной.

¹⁹ Простейшим хорошо известным примером использования такой техники является вычисление мощности в цепях переменного тока.

²⁰ Сам Дирак руководствовался идеологией скобок Пуассона, которая на самом деле очень близка к описанной нами идеологии комплексных коммутаторов для классических осцилляторов.

Поскольку мы ничего не меняли в формальной постановке задаче, по-прежнему произведение длины волны на импульс (теперь уже свободной) частицы должно быть равно постоянной Планка. Что очень важно и нетривиально, хотя и предсказуемо, так это возникающая для *конечной* Вселенной *дискретность* значений спектра импульсов и соответствующих длин волн. И мы опять-таки можем объяснить ее выполнением простого аналога правила Бора. При этом фундаментальная связь между импульсом и длиной волны оказывается одинаковой для фотона (частицы с массой покоя, равной нулю) и для квантовой частицы с ненулевой массой покоя:

$$p = 2\pi\hbar/\lambda, \quad E = 2\pi\hbar/T$$

Здесь p – импульс частицы, E – энергия частицы, λ и T – дебройлевские длина волны и ее период для частицы. Согласно ТШРВ (и вопреки Стандартной космологической модели), λ и T остаются неизменными, а импульс p и энергия E возрастают со временем линейно. Ответственность за этот линейный рост должна нести величина $\hbar$, которая теперь должна быть прямо пропорциональной размеру (возрасту) Вселенной и уже не должна именоваться “постоянной Планка”:

$$\hbar(t) = \Pi \cdot R$$

(Чтобы “загладить вину” перед Планком, мы в его честь будем обозначать новую константу большой греческой буквой Π). Таким образом, новая константа может быть найдена из соотношения

$$\Pi = \frac{\hbar_U}{R_U} \approx \frac{10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}}{10^{28} \text{ см}} = 10^{-55} \text{ э/с}$$

Все квантовые процессы в рамках представлений ТШРВ должны рассматриваться как *нелокальные* колебания в масштабе Вселенной в целом (что-то типа оболочечных колебаний гиперсферы).

Когда размер Вселенной, к примеру, удвоится, новое значение параметра Планка также окажется вдвое большим по величине. С другой стороны, когда размер Вселенной был равен планковской величине $l_p \approx 1.6 \cdot 10^{-33} \text{ см}$, параметр Планка составлял $\hbar_p = \Pi \cdot l_p = 10^{-55} \cdot 1.6 \cdot 10^{-33} \approx 10^{-88} \text{ э/с}$ и, таким образом, $\hbar_U / \hbar_p \approx 10^{60} = D$.

В заключение отметим, что предложенная концепция позволяет оценить минимальное значение массы массивной частицы в настоящую эпоху. Очевидно, по правилу де Бройля она должна отвечать максимальному размеру, т.е. размеру Вселенной R_U :

$$m_{\min} c \approx \frac{2\pi\hbar}{R_U}$$

Найденное значение минимальной массы очень мало ($\sim 10^{-66} \text{ э}$, при том, что масса электрона составляет около 10^{-27} э).

Кстати, любопытно сравнить выражения для планковской массы и планковского заряда:

$$m_p = \sqrt{\hbar c \cdot \frac{1}{G}} \quad \text{и} \quad q_p = \sqrt{\hbar c \cdot 2\varepsilon_0}.$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума. Сопоставление приводит к выводу, что отношение $q_p/m_p = \sqrt{2\varepsilon_0 G}$ не зависит от времени. Возможно поэтому, что не только массы, но и электрические заряды (в частности, заряд электрона) увеличиваются в нашей Вселенной пропорционально ее возрасту. Если это так, то и постоянная тонкой структуры $\alpha = (e/q_p)^2$ должна зависеть от времени.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Анатомия одного заблуждения, или “извилистый и неровный путь” современной космологии

Amicus Plato, sed magis arnica veritas²¹
(Платон мне друг, но истина дороже)

В литературе по космологии существует противоречивое представление о так называемой космологической константе Λ . Ее связывают с силами *отталкивания*, хотя сам Эйнштейн ясно говорил о том, что эта константа должна отвечать за *притяжение*, которое, с его точки зрения, могло бы уравновешивать силы отталкивания между двумя одноименными зарядами. Указанное представление широко распространено в научной и популярной литературе, и кочует (часто в виде буквальных заимствований) из одной работы в другую. Ниже я предлагаю альтернативную точку зрения, проясняющую физический смысл отрицательного давления материи.

Модель стационарной Вселенной Эйнштейна

Во втором десятилетии 20-го века Альберт Эйнштейн предложил для Вселенной космологическую модель в виде замкнутой на себя 3-мерной гипертетраэдрической оболочки. Первоначальная модель Эйнштейна была *стационарной*, т.е. радиус оболочки R предполагался постоянным, не зависящим от времени. Из космологических уравнений Эйнштейна следует уравнение

$$d^2R/dt^2 = - (4\pi G R/3)(\rho + 3P/c^2) \quad (1)$$

где ρ – средняя плотность материи, P – давление материи, G – гравитационная постоянная Ньютона, c – скорость света. Если радиус оболочки не меняется во времени²², то левая часть равна нулю, значит, и правая часть должна обращаться в нуль. При положительной плотности материи ρ это означает, что давление P должно быть отрицательным.

Такое решение Эйнштейн (а вслед за ним – все научное сообщество) счел неуместным. В главе IV своей книги [Эйнштейн, 1953] он писал:

“Возражением против такого решения является то, что приходится вводить отрицательное давление, для чего нет никаких физических оснований”.

Вместо этого он ввел (формально допустимое) *дополнительное слагаемое*, так что уравнение приобрело вид

$$d^2R/dt^2 = - (4\pi G R/3)(\rho + 3P/c^2) + \Lambda c^2 R/3 \quad (2)$$

где Λ – так называемая космологическая постоянная. Одновременно Эйнштейн предложил пренебречь давлением материи P , т.е. считать его нулевым.

Очевидно, что введенная таким образом величина Λ фактически все равно должна быть связана с каким-то физическим фактором, создающим отрицательное давление. Эйнштейн вполне осознавал, что это загадочное давление, будучи отрицательным, создает эффект *притяжения*. Он писал в **Приложении 1 “Вопросы космологии”** к вышеупомянутой книге:

²¹ Формулировка принадлежит Сервантесу, хотя исходная максима высказана самим Платоном и в сочинении “Федон” приписывается им Сократу.

²² Или меняется по линейному закону.

“Вещество состоит из электрически заряженных частиц. В рамках теории Максвелла они не могут быть поняты как свободные от особенностей электромагнитные поля. Чтобы не противоречить фактам, в выражение для энергии необходимо ввести дополнительные члены, не содержащиеся в теории Максвелла, которые обеспечили бы устойчивость электрически заряженных частиц, несмотря на взаимное отталкивание составляющих их одноименно заряженных частей. Именно в связи с этим Пуанкаре предположил, что внутри этих частиц имеется давление, которое и компенсирует электростатическое отталкивание. Нельзя, однако, определенно утверждать, что это давление исчезает вне частиц. Мы придем к согласию с этими представлениями, если в нашем феноменологическом рассмотрении добавим член, описывающий давление. Это давление, однако, не следует смешивать с гидродинамическим давлением, поскольку оно служит лишь энергетическим выражением динамических связей внутри вещества.”

Итак, Эйнштейн здесь совершенно *ясно* говорит о том, что “эффективное” давление, связанное с постоянной Λ , должно быть *отрицательным* и *компенсировать* “взаимное отталкивание частей”, то есть способствовать их взаимному *притяжению*.

Что утверждает современная космология

Практически все известные космологи приписывают Эйнштейну прямо *противоположное* утверждение о том, что якобы параметр Λ связан с силами *отталкивания*, которые он ввел в свою теорию в 1917 году для уравнивания сил тяготения. В частности, один из авторов пишет: поскольку “действие этих сил столь же универсально, как и сил всемирного тяготения, то логично назвать это действие гравитацией вакуума, хотя обычно под гравитацией понимают притяжение, а здесь мы имеем отталкивание”.

Другой автор, говоря о том же, даже упоминает слова Эйнштейна о “неровном и извилистом пути”, которые привели последнего к этой идее. Однако стоит заглянуть в первоисточник [Эйнштейн, 1917], чтобы узнать (см. §2), что эти слова относятся к совсем другой (действительно гениальной) идее – переходе от плоского мира с неясными и даже противоречивыми граничными условиями к замкнутому на себя миру, где вопрос о граничных условиях “вообще отпадает”. Что же касается космологической постоянной, то Эйнштейн заводит речь о ней только в §4, где, как и в заключительном §5 этой статьи, *нет ни одного слова* по поводу сил отталкивания. Свои (прямо противоположные) взгляды по этому вопросу Эйнштейн изложил позже (см. вышеприведенные его цитаты).

Третий автор, пытаясь разъяснить ситуацию читателям популярного журнала, пишет, что “темная энергия (синоним вакуума) – это среда, давление которой равно плотности энергии по величине, но противоположно по знаку... такая среда гравитационно отталкивается от самой себя и, как следствие, ускоренно расширяется... Дело в том, что согласно общей теории относительности гравитация зависит не только от массы (точнее плотности энергии), но также и от давления. Чем больше давление, тем сильнее гравитация... отрицательное давление темной энергии, наоборот, столь велико, что пересиливает притяжение и ее собственной массы, и массы всего остального вещества. Получается, что массивная субстанция с очень сильным отрицательным давлением парадоксальным образом не сжимается, а наоборот, распухает под действием собственной гравитации.”

Предлагаемое решение парадокса

Итак, мы имеем ясно выявившееся *противоречие*. С одной стороны, у Эйнштейна в уравнении (1) фигурирует *отрицательное* давление, которое означает отрицательную объемную плотность энергии и которое он сам ассоциировал со *сжатием*. С другой стороны, если уравнение (2) рассматривать как уравнение движения, то слагаемое с Λ (как и

отрицательное давление P) действительно должно приводить именно к эффекту *отталкивания*. Это кажется парадоксальным, хотя, вообще говоря, отрицательная объемная плотность энергии тела *не всегда* приводит к эффекту сжатия (только если объемная плотность окружающей среды *больше*, хотя, возможно, тоже отрицательна).

Но можно ли считать (1) уравнением движения? С моей точки зрения, причина парадокса связана как раз с неверной интерпретацией этого уравнения. Она трактует космологическую эволюцию как процесс достижения баланса между энергией сжатия и отталкивания. При этом за сжатие отвечает плотность материи ρ , а за отталкивание – давление P или космологическая постоянная Λ . Иными словами, в нестационарной модели кинетическая энергия Большого Взрыва и противостоящая ей потенциальная энергия тяготения будто бы динамически конкурируют, а в исходной стационарной модели Эйнштейна между ними должно иметь место равновесие²³. Заметим, что в нерелятивистской версии уравнения (1), предложенной Э. Милном, вместо скобки $(\rho + 3P/c^2)$ стоит одна лишь плотность материи ρ . Это дает повод большому числу авторов высказать реплику типа “давление весит в ОТО!”, означающую, что, по мнению автора реплики, переход от физики Ньютона к физике Эйнштейна должен в ряде случаев предусматривать замену отдельно взятой плотности материи на сумму, в которую входит и утроенное давление²⁴.

Я полагаю, что дело обстоит совершенно иным образом – вовсе *не внутренние* факторы определяют собой эволюцию или статическое состояние Вселенной. Действительно, гипотеза Э. Милна о том, что ньютонова Вселенная может рассматриваться как *евклидова* и *бесконечная*, внутренне *противоречива*: при заданной средней плотности вещества ρ радиус R мысленной сферы с массой M увеличивается пропорционально корню кубическому из M , а гравитационный радиус R_G – пропорционально M ; поэтому рано или поздно гравитационный радиус R_G станет больше геометрического радиуса R , и вся эта масса сколлапсирует. Таким образом, наша Вселенная *не может не быть черной дырой* в некотором внешнем мире, также заполненном материей (см. более подробную аргументацию в [Шульман, 2011б]).

Но черная дыра, как известно, необратимо растет, поглощая материю и энергию извне. Именно данный *внешний* фактор определяет эволюцию нашей Вселенной. Следовательно, эта эволюция никак не зависит от ее внутреннего состояния. Напротив, именно текущие значения массы и радиуса черной дыры однозначно определяют такие параметры, как средняя плотность ρ и давление материи P в ней²⁵. При этом оказывается, что давление действительно имеет *отрицательный* знак и отвечает отрицательной плотности объемной энергии (см., например, [Шульман, 2011а]). И это полностью соответствует тому, что мы наблюдаем в действительности – феномену взаимного *притяжения* материи, как и должно быть.

Отсутствие парадокса в такой модели связано с тем, что уравнение (1) *не является* уравнением движения, т.к. движение (и тяготение материи) определено *внутри* гиперсферической оболочки, а расширение Вселенной (эволюция ее радиуса кривизны) происходит по нормали к оболочке, т.е. вне ее трехмерного пространства. “Центр” трехмерной оболочки не может являться источником гравитации по отношению к материальным телам, принадлежащим самой оболочке, поэтому аналогия Милна между разлетом облака частиц и расширением Вселенной я считаю физически бессодержательной.

Таким образом, закон тяготения, который Ньютон ввел в классическую физику “руками”, возникает как *естественное* следствие принятой нами гипотезы. И что самое важное, отпадает

²³ Этот подход фактически сформулировал Милн в статье [Милн, 1934], непосредственно за которой появилось ее продолжение – совместная статья [МакКри и Милн, 1934].

²⁴ Такого рода реплика, как правило, сопровождается ссылкой на монографию Толмена, причем подробности не приводятся. Должен сказать, что я внимательнейшим образом несколько раз просмотрел монографию [Толмен, 1934]. Я нашел там упоминания *доказательства* подобного факта в §65, где речь идет *исключительно о давлении электромагнитного излучения* (плотность энергии излучения равна aT^4 , тогда как давление равно $aT^4/3$, где a – константа).

²⁵ Т.е. фиксированный баланс между “кинетической” и “потенциальной” (гравитационной) энергией любой частицы в системе отсчета произвольного наблюдателя. Заметим, что чем больше радиус Вселенной, тем меньше абсолютные величины средней плотности и давления материи.

всякая необходимость использования космологической константы. Заметим, что Ньютон ввел закон тяготения *в дополнение* к своему же второму закону (связывающему инертную массу и ускорение). Применительно к “обычным” телам “давление тяготения” P_g обычно игнорируется, будучи чрезвычайно малым, хотя теоретически оно *стремится сжать даже самую малую капельку материи*. Однако для больших астрофизических объектов им пренебрегать уже нельзя, недаром физики используют для этого феномена специальный термин “гравитационное самодействие (self-gravitation)”. В уравнении (1) под величиной P следует понимать сумму P_g и всех остальных видов давления (например, динамического давления движущихся частиц), и в космологических задачах обычно доминирует именно P_g .

Само собой разумеется, что отказ от представлений сложившейся стандартной космологической модели неизбежно влечет за собой необходимость показать, что возможна новая космологическая модель, которая не хуже старой объясняет всю массу известных космологических наблюдений. Результаты моих исследований, выполненных с 1993 года, твердо убеждают меня в том, что эта задача в них эффективно решается (см. мои публикации на сайте www.timeorigin21.narod.ru, раздел “Время и Космология”).

Напоследок позволю себе сделать пессимистическое замечание. Многие годы я пытаюсь привлечь к излагаемой проблеме внимание профессиональных космологов. В данной публикации я постарался сделать это с максимальной полнотой и ясностью. Однако меня не оставляет предчувствие, что и эта попытка завершится так, как описано в песне Андрея Макаревича:

И каждый пошел своею дорогой,
А поезд пошел своей...

См. ссылки в общей Библиографии к книге “Альтернативная космология”.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Энтропия источника гравитации

В начале 1970-х годов группа космологов-релятивистов осуществила революционный прорыв в понимании термодинамики черных дыр (ЧД). Бекенштейн на основании результата Хокинга о неубывании абсолютного горизонта событий отождествил энтропию ЧД с площадью поверхности этого горизонта, а чуть позже сам Хокинг показал, что ЧД должна излучать как абсолютно черное тело, обладая соответствующей температурой. До сих пор термодинамика ЧД (включая колоссальную величину присущую им энтропии) воспринимается физиками как некоторая экзотика, не имеющая аналогии с термодинамикой обычных объектов. В данной работе мы показываем, что это не совсем так, что возможен “плавный” переход от обусловленной гравитацией термодинамики “обычных объектов” к ЧД, и что, в частности, знаменитый “предел Бекенштейна” действительно дает верхнюю границу для энтропии гравитирующего объекта.

1. Введение

В начале 1970-х годов группа космологов-релятивистов осуществила революционный прорыв в понимании термодинамики ЧД [1]. Бекенштейн [2] на основании результата Хокинга о неубывании абсолютного горизонта событий отождествил энтропию ЧД с площадью поверхности этого горизонта, а чуть позже сам Хокинг [3,4], вопреки своим первоначальным представлениям, показал, что ЧД должна излучать как абсолютно черное тело, обладая соответствующей температурой. Эти идеи с большим недоверием и лишь постепенно воспринимались остальным сообществом космологов.

Огромная энтропия ЧД, по мнению Бекенштейна [6,7], имеет место потому, что состояние ЧД не может сообщить нам точно, благодаря росту какой именно системы она образовалась. Энтропия ЧД рассматривается как максимально возможная величина энтропии для объектов данной массы (предел Бекенштейна), хотя абсолютно строгого доказательства этого утверждения так и не появилось.

До сих пор термодинамика ЧД (включая колоссальную величину присущую им энтропии) воспринимается физиками как некоторая экзотика, не имеющая аналогии с термодинамикой обычных объектов. В данной работе мы показываем, что это не совсем так, что возможен “плавный” переход от обусловленной гравитацией термодинамики “обычных объектов” к ЧД, и что, в частности, знаменитый “предел Бекенштейна” действительно дает верхнюю границу для энтропии гравитирующего объекта.

Энтропия обычного макроскопического тела [8-11] во многих случаях может быть найдена, исходя из его *термодинамического* описания, когда используются макроскопические (а не микроскопические) параметры состояния. Именно вследствие этого и возникает известная *неопределенность* состояния, т.е. его вероятностный характер (конкретное микросостояние неизвестно, да и, возможно, не существует в течение сколько-нибудь длительного периода времени).

Часто взаимодействием между взаимно удаленными частями макроскопической системы (например, молекулами в капле воды или в сосуде с газом) можно пренебречь, потому что межмолекулярные силы по природе своей *короткодействующие*; энтропия таких систем складывается из энтропии всех ее подсистем, иначе говоря, она аддитивна по объему, т.е. является экстенсивной величиной. В частности, разобьем находящееся в равновесии тело на макроскопические (отсюда *неопределенность* описания) подсистемы, для которых равновесная температура имеет одно и то же значение T . Для такой системы тепловая энергия $E_{\text{макр}}$ равна

$$E_{\text{макр}} = T \cdot \sum_V \Delta S_i = T \cdot S_{\text{макр}}, \quad (1)$$

где ΔS_i – энтропия объема i -ой подсистемы, $S_{\text{макр}}$ – энтропия макроскопического тела (аддитивная по объему).

Однако не все системы могут быть описаны обычной (больцмановской) термодинамикой. В качестве примера можно назвать облако межзвездной пыли достаточно больших размеров или аналогичный крупный космологический объект. И теперь, если мы мысленно разобьем облако на части, то эти части будут взаимодействовать не по границам соприкосновения, а полностью всеми объемами, т.е. каждая часть будет “чувствовать” *всю систему целиком, все другие части*. По этой причине, например, в гравитирующих системах очень сильно нарушается термодинамическая аддитивность: такую систему нельзя разбить на приблизительно независимые подсистемы. Энтропия в таких системах не будет обладать свойством аддитивности *по объему*.

Тем не менее, оказывается, что источники гравитационного поля обладают сходными свойствами с вышеописанными “макроскопическими” системами. В частности, для их описания можно подобрать макроскопические параметры, аналогичные понятиям температуры и энтропии. Более того, эти новые термодинамические параметры эффективно переходят в параметры, используемые в предельном случае таких гравитационных объектов, как ЧД.

Каковы же природа и свойства энтропии гравитирующих объектов? Автор статьи [12] предположил, что связь между тяготением и энтропией может существовать для “обычных” массивных тел, далеких от гравитационного коллапса (а не только для ЧД). Он ввел для каждого такого тела представление о гипотетическом сферическом экране, окружающем это тело и несущем информацию о нем, и предположил, что силы гравитации имеют не фундаментальный, а *вторичный* характер, будучи в точности обусловленными по величине возникающим градиентом энтропии при изменении радиуса гипотетического экрана. В результате Верлинде также пришел к прямой пропорциональности между энтропией S и площадью A сферы, ограничивающей тело.

Однако допущение о присутствии подобного “голографического” экрана, несущего информацию, не кажется достаточно обоснованным²⁶. С другой стороны, наличие несомненной связи между гравитацией и энтропией вовсе не обязательно должно приводить к идее о первичности именно энтропии. Например, авторы работы [14] показывают, что правомерна и другая точка зрения: термодинамическое уравнение состояния может быть выведено на основании уравнений теории тяготения.

2. Энтропия объекта с гравитационным взаимодействием между частями

В настоящей работе мы противопоставляем гипотезе Верлинде противоположное утверждение. Первичны не энтропийные силы, а гравитационные, и гравитационное поле *должно* создавать условия для возникновения градиентов энтропии не только в случае ЧД, но и в случае “обычных” массивных тел.

Исаак Ньютон в 1687 опубликовал широко используемую “теорему об оболочке – shell theorem” [15], согласно которой “сферически симметричное тело влияет на внешние объекты гравитационно так, как если бы вся его масса была сконцентрирована в центральной точке данного тела”. Благодаря этому и возникает *макроскопическая неопределенность*: сила тяготения, действующая на пробное тело на расстоянии r от центра масс однородного и симметричного²⁷ источника тяготения, *не зависит от того, как именно распределена масса M источника внутри мысленной сферы радиуса r* . Но подобная неопределенность связана с

²⁶ См., в частности, интересную статью [13].

²⁷ Понятно, что достаточно редко “обычные” тела обладают идеальной симметрией и однородностью. Отклонение от однородности и симметрии могут привести к смещению положения центра масс и “деформации” замкнутых эквипотенциальных поверхностей поля тяготения по сравнению со сферическими, однако этими эффектами, как правило, можно пренебречь на расстояниях от центра, превышающих несколько диметров тела.

возникновением энтропии, когда разные конфигурации подсистем соответствуют одному и тому же (для внешнего наблюдателя) “макроскопическому” описанию системы.

Приведем основные характеристики объекта – источника гравитации с массой M и радиусом r описанной вокруг объекта мысленной сферической оболочки.

1. Средняя плотность ρ материи в объекте

$$\rho = \frac{3M}{4\pi r^3}. \quad (2)$$

2. Поверхностный гравитационный заряд (surface gravity) κ , т.е. величина гравитационного ускорения, испытываемого малой пробной частицей на внешней сферической (условной) охватывающей оболочке:

$$\kappa = \frac{GM}{r^2} = \frac{4\pi G \rho r^3}{3r^2} = \frac{4\pi G \rho r}{3}, \quad (3)$$

где G – гравитационная постоянная²⁸.

3. Поверхностная температура (в эргах) $\Theta = k_B \cdot T$ на внешней сферической (условной) охватывающей оболочке, или полная энергия тела, отнесенная к площади A поверхности оболочки:

$$\Theta = k_B \cdot T = \frac{Mc^2}{A} = \frac{Mc^2}{4\pi r^2} = \frac{GM}{r^2} \cdot \frac{c^2}{4\pi G} = \kappa \cdot \frac{c^2}{4\pi G}. \quad (4)$$

Здесь ($k_B = 1.38 \cdot 10^{-16}$ эрг/град – постоянная Больцмана, T – температура в Кельвинах).

Как можно видеть из (3) и (4), гравитационный заряд и поверхностная температура пропорциональны друг другу. Если учесть, что планковскую длину $l_p = 1.6 \cdot 10^{-33}$ см можно представить в виде:

$$l_p = \sqrt{\hbar G / c^3}, \quad (5)$$

где $\hbar$ – редуцированная постоянная Планка, то соотношение (4) можно привести к виду, который будет использован в дальнейшем:

$$T = \kappa \cdot \frac{c^2}{4\pi G k_B} = \kappa \cdot \frac{\hbar c^2 / c^3}{4\pi (\hbar G / c^3) k_B} = \frac{\hbar \kappa}{\pi k_B} \cdot \frac{1}{4l_p^2}. \quad (6)$$

4. Энтропия и тепловое излучение источника гравитации

При анализе важно иметь в виду следующее обстоятельство. Подобно тому, как для “макроскопической” системы в состоянии *равновесия* мы принимали *объемную* температуру T одинаковой для всех ее подсистем, мы в данном случае (исходя из теоремы об оболочке) приняли ее *поверхностный* аналог T одинаковым для каждого участка поверхности A одной и той же сферы. На первый взгляд данный тезис кажется тривиальным. Однако в этой связи уместно вспомнить “гипотезу об обруче” [1] – определенную альтернативу теореме об оболочке Ньютона: схлопывающийся объект образует ЧД *тогда и только тогда*, когда этот объект

²⁸ Соотношение (3) определяет не что иное, как, например, ускорение частицы в поле тяготения планеты.

можно полностью поместить в критическую сферу (“обернуть обруч”) вокруг объекта. Это показывает, что в случае недостаточно компактного и симметричного объекта может не существовать состояния с одной и той же поверхностной температурой. Но если возможно окружить объект сферой, то согласно (4) и (упрощенному) выражению

$$dE = \frac{E}{A} dA = T dA \quad (7)$$

площадь сферы (с точностью до коэффициента) играет роль энтропии, и полная энтропия, отвечающая такой сфере, является *аддитивной относительно поверхности сферы*, т.е. складывается из величин энтропии, отвечающих частичным площадкам на поверхности сферы.

Следуя примеру Бекенштейна, рассмотрим падение пробной частицы на источник поля тяготения. Пусть пробная частица пересекает мысленную сферу определенного радиуса r , окружающую источник (в данном случае – не ЧД). Для другой пробной частицы вне этой сферы дело выглядит так, что масса источника увеличилась за счет первой пробной массы и, соответственно, увеличилось число возможных конфигураций распределения массы внутри указанной сферы. То есть первая пробная масса приносит в сферу связанную с ней энтропию, что в точности напоминает ситуацию с ЧД.

Отметим, что говоря о (поверхностной) температуре объекта, мы автоматически подразумеваем существование обусловленного ею соответствующего (равновесного) теплового излучения объекта. Имеется в виду естественное равновесное электромагнитное излучение – фотоны, которыми объект хаотически обменивается с окружающей средой. Такое излучение представляет собой статистическую смесь фоковских состояний с различными числами фотонов. Тепловое состояние излучения является стационарным и обладает максимальной неупорядоченностью, т.е. наибольшей энтропией при данной энергии. При контакте с веществом, составляющим объект, излучение приходит в состояние теплового равновесия с ним за счет обмена фотонами, интенсивность поглощения фотонов данной частоты равна интенсивности их излучения, а максимальная частота излучения отвечает температуре (средней энергии) поверхности объекта. При этом энергия и число фотонов непрерывно флуктуируют [16]. Равновесное излучение однородно, изотропно и неполяризовано.

Заметим, что уже из формулы (3) вытекает существование ускорения κ для пробной частицы в поле тяготения *произвольного* объекта. Нам кажется очевидным, что ускоренные заряды, имеющиеся в окружающем источник гравитации пространстве, могут излучать, черпая энергию из гравитационного поля.

С другой стороны, в соответствии с принципом эквивалентности Эйнштейна, произвольное равноускоренное движение можно *локально* описать с помощью некоторого однородного гравитационного поля в инерциальной системе отсчета. Это означает, что должен иметь место эффект Унру [17], т.е. тепловое излучение с соответствующей температурой²⁹ T в равномерно ускоренной системе отсчета, а само это ускорение κ может быть отождествлено с ускорением Унру.

3. ЧД и предел Бекенштейна

Итак, как было отмечено в разделе 1, в первой половине 70-х годов произошла цепочка событий, приведших к пониманию термодинамики ЧД, в частности, к идее Хокинга об излучении ЧД, как если бы ее горизонт событий имел конечную температуру, пропорциональную поверхностной гравитации ЧД. А Я. Бекенштейн установил, что ЧД должны обладать огромной энтропией S_0 , пропорциональной *площади* A_0 ограничивающей их сферы – горизонта событий [2]:

²⁹ См. выражение (6).

$$S_0 = \frac{A_0}{4l_p^2} \quad (8)$$

Мы теперь приведем соотношения [18] для ρ_0, κ_0 и $\Theta_0 = k_B \cdot T_0$, записанные непосредственно для ЧД массы M , *гравитационный (шварцшильдовский) радиус* которой, как известно, равен

$$R_0 = \frac{2MG}{c^2}. \quad (9)$$

- *Критическая плотность ρ_0 материи в сколлапсировавшем объекте*

$$\rho_0 = \frac{3M}{4\pi R_0^3}. \quad (10)$$

- *Поверхностный гравитационный заряд (surface gravity) κ_0 , т.е. величина гравитационного ускорения на горизонте событий ЧД*

$$\kappa_0 = \frac{GM}{R_0^2} = \frac{4\pi G \rho_0 R_0}{3}. \quad (11)$$

- *Поверхностная температура $\Theta_0 = k_B \cdot T_0$ на горизонте событий ЧД:*

$$\Theta_0 = k_B \cdot T_0 = \kappa_0 \cdot \frac{c^2}{4\pi G}. \quad (12)$$

Сравнивая формулы (2–4) и (10–12), видим, что

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{R_0^3}{r^3}, \quad (13)$$

$$\frac{\kappa}{\kappa_0} = \frac{T}{T_0} = \frac{R_0^2}{r^2}. \quad (14)$$

Ускорение κ и температура T Унру плавно переходят в ускорение κ_0 и температуру T_0 Хокинга на горизонте событий ЧД.

4. Унификация описания “обычного” тела и ЧД

Таким образом, мы получили для энтропии произвольного источника тяготения такую же пропорциональность площади его поверхности (а не объему), как и для ЧД. Как было отмечено, сходный результат получил и Верлинде для энтропии голографического горизонта, однако это приводит к фундаментальному парадоксу, который заметил и сам Верлинде: если коэффициент пропорциональности для “обычного тела” взять одним и тем же, то энтропия ЧД оказывается намного *меньше* энтропии обычного тела, поскольку гравитационный радиус этого тела (при заданной массе M) до достижения коллапса много меньше фактического!

В чем же причина этого парадокса? Дело в том, что при вычислении температуры источника тяготения мы фактически пользовались соотношением вида

$$\frac{1}{\Theta} = \left(\frac{\partial S}{\partial E} \right)_V, \quad (15)$$

где производная энтропии S по энергии E вычисляется при *постоянном* объеме V [19]. Но мы рассматриваем процесс приближения к коллапсу тела заданной массы M , характеризуемый изменяющейся плотностью $\rho = M/V$, причем это изменение никак нельзя считать малым. В таком случае мы должны каким-то образом учесть изменение объема в выражении для температуры Θ . Правдоподобным (хотя и не бесспорным) способом такого учета представляется умножение энтропии на отношение ρ/ρ_0 , которое для ЧД ничего не меняет, а для “обычного” тела (например, астрофизического объекта) уменьшает эту энтропию на много порядков (см. табл. 1).

Таблица 1

Отношение ρ/ρ_0 для различных астрофизических объектов

Объект	Масса M (кг)	Радиус r (м)	Гравитационный радиус r_0 (м)	$(\rho/\rho_0) = (R_0/r)^3$	$(\kappa/\kappa_0) = (\Theta/\Theta_0) =$ $(R_0/r)^2$
Земля	$6 \cdot 10^{24}$	$6 \cdot 10^6$	10^{-2}	$\sim 10^{-26}$	$\sim 10^{-18}$
Солнце	$2 \cdot 10^{30}$	$7 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^3$	$\sim 10^{-16}$	$\sim 10^{-10}$
Млечный Путь	$3 \cdot 10^{42}$	$\sim 10^{19}$	$\sim 10^{15}$	$\sim 10^{-12}$	$\sim 10^{-8}$
Вселенная	$\sim 10^{53}$	$\sim 10^{26}$	$\sim 10^{26}$	~ 1	~ 1

Отметим также, что обычно и множитель $1/4l_p^2$ “переносят” из выражения для температуры в выражение для площади A поверхности ограничивающей сферы, придавая, таким образом, энтропии безразмерную форму. Поэтому окончательную формулу для энтропии (гравитационного происхождения) мы предлагаем писать в виде

$$S = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{A}{4l_p^2}. \quad (16)$$

5. Заключение

Мы приходим к следующим важным выводам.

- Для любой массивной частицы естественным образом возникает градиент энтропии, направленный вдоль радиуса ее поля тяготения. В этом смысле связь между “фундаментальной” силой и энтропией вовсе не является привилегией гравитационного взаимодействия, поэтому концепция Верлинде не кажется состоятельной.
- Предложенное в настоящей статье обобщение зависимости для вычисления температуры поверхности позволяет описывать с ее помощью как “обычные состояния” массивных тел с относительно небольшой энтропией мысленного горизонта охватывающей поверхности, так и состояние ЧД с огромной энтропией на горизонте событий. При этом естественным образом объясняется природа знаменитого “предела Бекенштейна” (универсального предела для энтропии) и определяются поправки к значениям “гравитационной” температуры поверхности для всего спектра астрофизических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kip S. Thorn. *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. – New York City: W.W. Norton Publishers. 1994. Pp. 619. Рус. перевод: Кип С. Торн. Черные дыры и складки времени: Дерзкое наследие Эйнштейна. М.: Издательство физико-математической литературы, 2007. С. 616.
2. J. D. Bekenstein. Phys. Rev. D, Vol 7, № 8 (1973), 2333 – 2346.
3. J. M. Bardeen, B. Carter and S. W. Hawking. Commun. math. Phys. **31**, 161-170 (1973)

4. S.W. Hawking. Nature **248** March 1 (1974), 30 – 31.
5. S.W. Hawking. Commun. math. Phys. **43**, 199—220 (1975)
6. J. D. Bekenstein. Contemp. Phys. **45**, 31-43 (2003)
7. J. D. Bekenstein. Black Holes and the Second Law. Lett. Nuovo Cimento, 4 (1972), p.p. 737-740.
8. Дж. В. Гиббс. Основные принципы статистической механики. ОГИЗ -Государственное издательство технико-теоретической литературы. Москва, Ленинград, 1946. С. 204
9. Я.М. Гельфер. История и методология термодинамики и статистической физики, 2-е издание. М.: Высш. Школа, 1981. 536 с.
10. Я.М. Гельфер, В.Л. Любошиц, М.И. Подгорецкий. Парадокс Гиббса и тождественность частиц в квантовой механике. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва “Наука”, 1975. С. 272
11. Д.В. Сивухин. Общий курс физики, том II. М.: Наука, 1990, с. 591
12. E. J. Verlinde. On the Origin of Gravity and the Laws of Newton. High Energ. Phys. (2011) [https://doi.org/10.1007/JHEP04\(2011\)029](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2011)029)
13. Yun Soo Myung, Hyung Won Lee, and Yong-Wan Kim. Entropic force versus temperature force. arXiv:1006.1922v1 [hep-th] 9 Jun 2010.
14. Fernando Porcelli and Giancarlo Scibona. On the Black Hole’s Thermodynamics and the Entropic Origin of Gravity. Arxiv: 1011.0895.
15. Isaac Newton. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. London. (1687). pp. Theorem XXXI.
16. Ulf Leonhardt. Essential quantum optics. From quantum measurements to black holes. Cambridge, 2010, p.p. 301.
17. W.G. Unruh. Notes on black-hole evaporation. Phys. Rew. D, Vol. 14, № 4, 1976, 870-892.
18. И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Физика черных дыр. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986, с. 328
19. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. *Теоретическая физика, том V. Статистическая физика, ч. I.* Главная редакция физико-математической литературы издательства “Наука”, М., 1976. С. 584.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Энтропия и эволюция

Здесь представлен материал двух моих выступлений (в МФТИ и на конференции в БГТУ), имевших место в 2014 году.

Основные тезисы выступления:

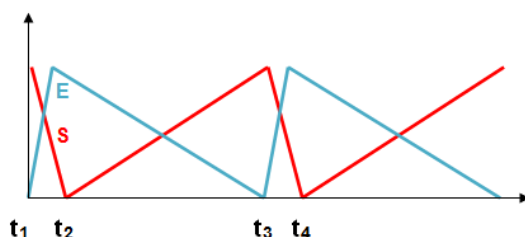
- На всех уровнях в нашей Вселенной мы наблюдаем процессы, далекие от приближения к тепловому равновесию. Логично предположить, что энтропия Вселенной НЕ НАРАСТАЕТ, а убывает.
- Убывание энтропии во Вселенной возможно только в том случае, если она является термодинамически ОТКРЫТОЙ системой, и при этом отток энтропии больше, чем приток.
- В такой системе прогрессивная эволюция (регулярное удаление от состояния равновесия) не только возможна, но и НЕОБХОДИМА.

В ходе выступления я затрагиваю следующие вопросы

- Жизнь с точки зрения Шрёдингера
- Потоки энергии и энтропии в системе звезда-планета-космос.
- “Накачка” негэнтропией как основа эволюции планет
- Конфликт реальности с “теорией тепловой смерти” Вселенной
- Альтернативная космологическая модель. Источник и стоки для энергии во Вселенной
- Оценка баланса энтропии

Жизнь с точки зрения физика Шрёдингера

Э. Шрёдингер, рассматривая функционирование живого организма, указывает, что живой организм непрерывно увеличивает свою энтропию и, таким образом, регулярно приближается к опасному состоянию максимальной энтропии, представляющему собой смерть. Он может избежать этого состояния, то есть оставаться живым, только постоянно извлекая из окружающей его среды энергию и отрицательную энтропию (продукты питания, кислород), выполняя работу и рассеивая тепло (а также углекислый газ и другие отходы жизнедеятельности) в окружающую среду. Когда речь идет, например, о человеке, то потребляемая им энергия идет не только на поддержание текущей жизнедеятельности, но и на создание “прибавочного” продукта, т.е. на общие нужды сообщества (эволюция социума).

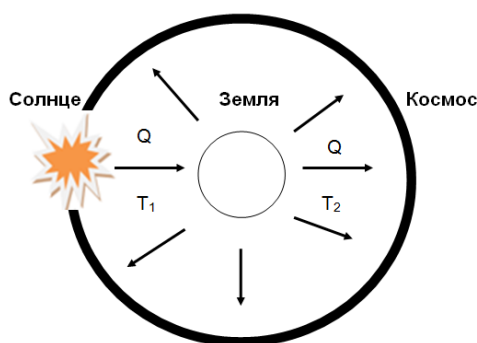


Циклы жизнедеятельности организма

Этапы $t_1 - t_2$, $t_3 - t_4, \dots$ – периоды извлечения энергии **E** извне, падения энтропии **S** внутри организма. Этапы $t_2 - t_3, \dots$ – периоды расходования энергии **E** на производство работы/конденсацию потенциальной энергии с последующим выделением тепла и ростом энтропии **S** внутри организма.

Потоки энергии и энтропии в системе “звезда-планета-космос”

Что происходит в системе “Звезда (Солнце) — планета (Земля) — Космос”? Солнце — это горячее пятно на небе! Небо находится в термодинамически неравновесном состоянии: небольшой участок — тот, который занимает Солнце, — имеет температуру, намного превышающую температуру оставшейся его части. Благодаря этому мы и оказываемся обеспечены мощным источником низкой энтропии. Земля получает энергию от этого горячего пятна в низкоэнтропийной форме (сравнительно немного фотонов видимого света) и переизлучает ее в холодные области неба в высокоэнтропийной форме (много инфракрасных фотонов). Входящая и уходящая тепловая энергия Q примерно одинакова, но температура T_1 “нагревателя” близка к 6000К, тогда как температура T_2 “охладителя” составляет около 3К, поэтому поток поступающей на Землю энтропии меньше, чем поток покидающей ее энтропии.



T_1 - температура “нагревателя”, T_2 - температура “охладителя”

$$dS = \frac{dQ}{T_1} - \frac{dQ}{T_2}. \quad \text{Поскольку } T_1 > T_2, \text{ то } dS < 0.$$

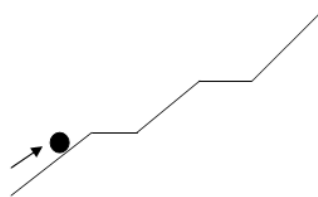
Здесь процессы потребления и отдачи энергии разделены не во времени, а в пространстве.

Часть получаемой энергии идет на создание запасов “свободной” энергии, которая может быть преобразована в полезную работу.

Зеленые растения, потребляя энергию в низкоэнтропийной форме, одновременно обеспечивают себя необходимой низкой энтропией, а нас — жизненно необходимым разделением углерода и кислорода. *Благодаря поглощению фотонов электроны достигают наивысшего биопотенциала в фотосистемах растений.* С этого высокого энергетического уровня они дискретно (по ступенькам) спускаются на самый низкий в биосфере энергетический уровень — уровень воды. Энергия, отдаваемая электронами на каждой ступеньке этой лестницы, превращается в энергию химических связей и, таким образом, движет жизнью животных и растений.

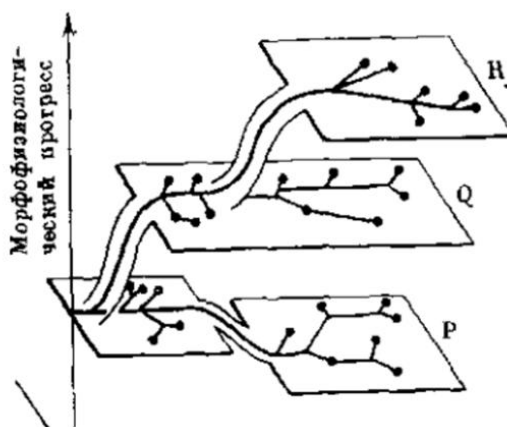
Электроны воды связываются растениями, а клеточное дыхание вновь порождает воду. Этот процесс образует электронный кругооборот в биосфере, источником которого служит солнце. [Коротков К. Г., Виллиамс Б., Виснески Л.А. “Энтропия и энергия в биологических системах...” <http://www.madra.dp.ua/archives/kirlian/korotkov1/index.html>]

В действительности некоторая (сравнительно небольшая) доля поступающей от Солнца энергии не переизлучается в космос, а в виде т.н. “свободной” (упорядоченной) энергии накапливается на Земле и может быть преобразована в полезную работу. Благодаря этой энергии различные химические, биологические и социальные системы на Земле получают возможность *удаляться от состояния равновесия*, заполняя все новые неравновесные ниши. В частности, накапливаемые запасы различных видов энергии позволяют человечеству создавать сооружения, средства транспорта, преобразовывать природную среду, накапливать информационные ресурсы.



Поступление энергии извне поднимает системы на потенциальную “горку”, удаляя их от равновесного “наинизшего” энергетического состояния. Например, недавний эксперимент – мощный луч лазера, имитирующий удар метеорита в смесь формамида с глиной (химическая среда древней Земли) – запустил множество химических реакций, в результате которых, в том числе, появились все четыре нуклеотидных основания РНК (аденин, цитозин, гуанин, урацил). [<http://lenta.ru/news/2014/12/09/praguelaser/>]

При этом законами природы предусмотрены метастабильные ниши (горизонтальные участки) – правила отбора, подобные таблице Менделеева, локально препятствующие возвращению системы в исходное состояние и, тем самым, нарушающие обратимость малого перемещения вдоль “горки”. Это хорошо изученная ситуация в теории диссипативных процессов.

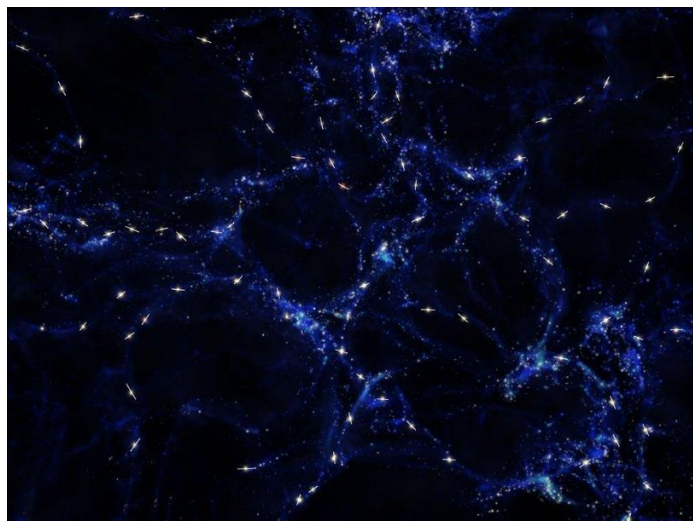


Эволюция морфобиологии (по А.Н. Северцеву)

Биологическая аналогия: когда на одном уровне конкурентные направления эволюции исчерпаны, происходит переход на следующий уровень.

Конфликт реальности с “теорией тепловой смерти” Вселенной

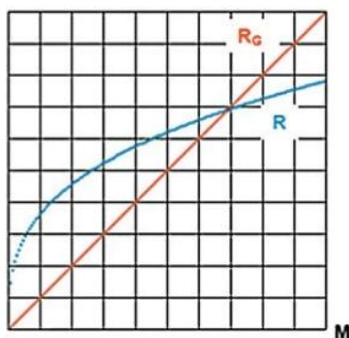
Применение второго начала термодинамики к миру в целом как к *замкнутой* системе приводит к разительному противоречию между теорией и опытом. Вселенная должна была бы быть близкой к состоянию полного физического равновесия, однако реально наблюдаемые свойства природы убеждают нас в том, что свойства природы (всей наблюдаемой части Вселенной) не имеют ничего общего со свойствами равновесной системы. Более того, сегодняшнее состояние Вселенной должно было возникнуть из состояния с более низкой энтропией, и т.д. Следовательно, исходное ее состояние должно было иметь крайне низкую энтропию, т.е. иметь крайне малую вероятность реализации, что пока не имеет никакого объяснения. Современная физика предлагает в качестве “соломинки” ОТО – общее космологическое расширение Вселенной означает зависимость ее метрики от времени, так что “внешние” условия для нее не являются стационарными, мир как целое должен рассматриваться как система в переменном гравитационном поле, для которой второе начало термодинамики может и не выполняться [Ландау и Лифшиц, Теория поля].



Крупномасштабная структура Вселенной.

Оси вращения квазаров коррелированы на огромных расстояниях более 650 Мпк (http://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2014/12/aa24631-14/aa24631-14.html)

Несколько лет назад мною была выдвинута альтернативная стандартной космологической модели нашей Вселенной (см. www.timeorigin21.narod.ru), в которой она является черной дырой (ЧД) во внешней гипер-вселенной и представляет собой однородную 3-мерную гиперсферическую поверхность 4-мерного шара. Будучи ЧД, она поглощает энергию/материю из внешней гипер-вселенной и вследствие этого непрерывно растет – такой процесс можно отождествить с хорошо известным фактом расширения нашей Вселенной и объяснить им само **течение** времени. С другой стороны, для нашей Вселенной не только имеется вышеописанный источник энергии, но существуют также стоки для энергии. В этом качестве выступают “обычные” ЧД, т.е. внутренние по отношению к нашей Вселенной.



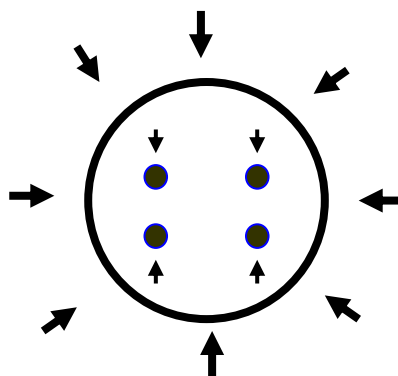
Изменение гравитационного (R_g) и геометрического (R) радиусов объекта с ростом его массы M при заданной плотности $\rho = \text{const}$.

Одним из аргументов является то соображение, что при заданной плотности *гравитационный* радиус некоторого объема материи растет пропорционально его массе, а *геометрический* радиус растет пропорционально кубическому корню из массы. Поэтому всегда должен существовать некоторый предел, при котором эти радиусы совпадут, т.е. данная масса сколлапсирует в черную дыру [“Наука и жизнь”, № 7, 2011, стр. 77-80]. Этот аргумент дополняется красноречивыми оценками отношения фактической плотности астрофизического объекта к его расчетной критической в случае, если бы он при той же массе был черной дырой.

Отношение (ρ/ρ_{cr}) для различных астрофизических объектов

Объект	Масса M (кг)	Радиус R (м)	Гравитационный радиус R_g (М)	$(\rho/\rho_{cr}) = (R_g/R)^3$
ЗЕМЛЯ	$6 \cdot 10^{24}$	$6 \cdot 10^6$	10^{-2}	$\sim 10^{-26}$
СОЛНЦЕ	$2 \cdot 10^{30}$	$7 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^3$	$\sim 10^{-16}$
МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ	$3 \cdot 10^{42}$	$\sim 10^{19}$	$\sim 10^{15}$	$\sim 10^{-12}$
ВСЕЛЕННАЯ	$\sim 10^{85}$	$\sim 10^{26}$	$\sim 10^{26}$	~ 1

Но наша Вселенная является черной дырой и растет, то ее энтропия, казалось бы, должна увеличиваться. Как же это согласовать с утверждением, что энтропия Вселенной должна убывать? Дело в том, что из общей энтропии необходимо вычитать энтропию внутренних черных дыр, которая, согласно недавним оценкам [Egan and Lineweaver, arXiv:0909.3983v1], сейчас на 5 порядков превышает энтропию всей остальной материи в наблюдаемой части Вселенной. Если число и размер внутренних ЧД достаточно велики, то их суммарная энтропия растет быстрее, чем внешняя энтропия Вселенной. Например, полагая, что число внутренних ЧД $N \sim R^3$, а поверхность каждой дыры растет не медленнее, чем $\sim R^2$, получим оценку для суммарной энтропии внутренних ЧД $S_{int} \sim R^5$. В то же время сама Вселенная должна иметь энтропию $S_{ext} \sim R^2$ (или, по некоторым соображениям, $\sim R^3$). Здесь R – радиус Вселенной.



Наша Вселенная как рабочее тело тепловой машины: потоки энергии извне и во внутренние ЧД

В работе [Egan and Lineweaver, arXiv:0909.3983v1] приведена оценка баланса энтропии во Вселенной:

Компонент	Энтропия S [k]
Космический горизонт событий	2.6×10^{122}
Сверхмассивные черные дыры	1.2×10^{103}
ЧД с массой 42 – 140 $M_{солн}$	1.2×10^{98}
ЧД с массой 2.5 – 15 $M_{солн}$	1.2×10^{96}
Фотоны	2×10^{88}
Реликтовые нейтрино	1.9×10^{88}
Темная материя	6×10^{86}
Реликтовые гравитоны	2.3×10^{86}
Материя межзвездной среды	2.7×10^{80}
Звезды	3.5×10^{78}
ИТОГО	2.6×10^{122}

Чтобы процессы самоорганизации и упорядочения возникали в сложной системе, она должна быть *открытой*, т.к. *закрытая* система в соответствии с законами термодинамики должна в конечном итоге прийти к состоянию с максимальной энтропией и прекратить любые эволюции. В *неравновесных* условиях относительная независимость элементов системы уступает место корпоративному поведению элементов.

В состояниях, далёких от равновесия, появляются точки бифуркации и аттракторы. Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение нового порядка и усложнение систем через *флуктуации*: в сложных открытых системах, благодаря *притоку энергии* извне и усилению неравновесности, отклонения со временем возрастают, накапливаются, вызывают эффект коллективного поведения элементов и подсистем. Этап самоорганизации наступает только в случае преобладания положительных обратных связей, действующих в открытой системе, над отрицательными обратными связями. Таковы, к примеру, механизмы фазовых переходов вещества или образования новых социальных формаций.

Самоорганизация в сложных открытых системах приводит к появлению «*стрелы времени*» в Природе, противоположной направлению «*стрелы времени*» в замкнутой системе, ведущей к «тепловой смерти».

Заключение

Итак, в предложенной модели энтропия Вселенной уменьшается, а не возрастает. Космологическая стрела времени в нашей Вселенной имеет термодинамическое происхождение и первична по отношению к другим стрелам времени – биологической (направление эволюции) и психологической.

Заметим, что сильно гравитирующие физические системы обладают отрицательной теплоемкостью. Иными словами, звезды излучают свою энергию и нагреваются, а ЧД поглощают эту энергию и охлаждаются. Из этого также следует, что различие температур и удаленность от равновесного состояния в галактиках в течение миллиардов лет должны не уменьшаться, а нарастать.

Наконец, 3-мерная гиперсферическая поверхность, представляющая собой нашу Вселенную, в каждой своей точке контактирует с внешней гипер-вселенной, т.е. материя, энергия и информация «рождается» (поступает извне) в каждой точке нашей Вселенной. Поэтому, в отличие от ЧД, такая «белая дыра» по отношению к ней должна мыслиться как абсолютно глобальный и вечный объект.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

Эволюция черных дыр

Рост черных дыр в нашей Вселенной

Черные дыры (ЧД) *необратимо* эволюционируют в рамках своего рода метаболического процесса – они поглощают энергию и материю из внешнего мира. Возникает вопрос – как соотносится темп роста *внутренних* черных дыр с темпом расширения *материнской* (нашей) Вселенной? Может ли в конце концов внутренняя ЧД стать соизмеримой с материнской или даже поглотить ее?

Если бы окружающая ЧД среда всегда имела заданную (постоянную) плотность материи ρ , а удельный темп поглощения внешней материи на единицу этой площади оставался постоянным, то скорость роста массы M черной дыры росла бы с нарастающим темпом:

$$dM = Spvdt = kM^2\rho vdt$$

Здесь dM – прирост массы ЧД, $S=kM^2$ – площадь поверхности ЧД, пропорциональная квадрату ее массы M ($k=16\pi G^2/c^4$; поскольку $G=7\cdot 10^{-11} \text{ м}^3\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}$ и $c=3\cdot 10^8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, то $k=3\cdot 10^{-53} \text{ м}^2\cdot\text{кг}^{-2}$), v – средняя скорость падения материи в ЧД, dt – дифференциал времени. Тогда³⁰

$$(dM/dt) = k\rho vM^2$$

Это – простейший случай хорошо известного уравнения Рикатти, его решение может быть представлено в виде:

$$M(t) = \frac{1}{(M_0)^{-1} - k\rho vt}$$

где M_0 – масса при $t=0$. Очевидно, величина $M(t)$ неограниченно возрастает при значении $t_\infty=(k\rho vM_0)^{-1}$, как показано на рис. 1.

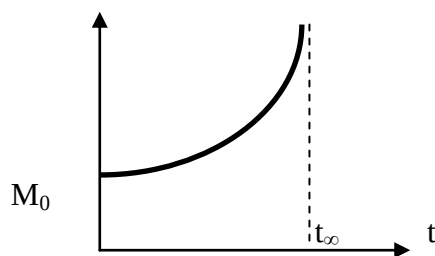


Рисунок 1. Изменение темпа роста массы ЧД

Сделаем оценочный расчет, приняв³¹ $\rho=10^{-21} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, $v = 3\cdot 10^5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (0.1% от скорости света), $M_0 = 10^{40} \text{ кг}$ (наибольшая оценка для массы сверхмассивной черной дыры). Тогда найдем, что

$$k\rho vM_0 = (3\cdot 10^{-53}) \cdot (10^{-21}) \cdot (3\cdot 10^5) \cdot (10^{40}) \approx 10\cdot 10^{-74+45} = 10^{-28} \text{ с}^{-1}$$

³⁰ В работе [Hobbs et al., 2012] рекомендуется усовершенствованная формула Бонди-Хойла, качественно близкая к предложенной в настоящей работе.

³¹ Значение средней плотности газа вокруг сверхмассивных ЧД взято из работы [DeGraf et al, 2012]), это на 6 порядков выше, чем средняя плотность материи в нашей Вселенной.

и

$$t_{\infty} = (1/k\rho\nu M_0) = 10^{28} \text{ с} \approx 10^{21} \text{ лет}$$

Эта величина неизмеримо больше, чем текущий возраст Вселенной (10^{10} лет). Очевидно, что ошибка в исходных данных на несколько порядков качественно не изменит полученного результата, так что с этой стороны угрозы для человечества в обозримом времени не усматривается.

Малость отношения (t/t_{∞}) дает возможность записать приближенное соотношение в виде:

$$M(t) \approx M_0 \cdot (1 + t/t_{\infty})$$

Таким образом, прирост массы черных дыр на данном этапе эволюции нашей Вселенной происходит с течением времени t по закону

$$\Delta M(t) \approx M_0 \cdot t \cdot (k\rho\nu)$$

Как легко видеть, в первом приближении темп роста ЧД пропорционален плотности ρ окружающей их среды. Именно этим естественно объяснить тот факт, что сверхмассивные ЧД астрофизики повсеместно обнаруживают не где-нибудь, а именно в *центрах галактик*, поскольку там значение ρ в течение длительного времени должно быть на несколько порядков выше, чем в иных областях Вселенной.

Важно также обратить внимание на следующее обстоятельство. Необратимый рост ЧД происходит только до тех пор, пока он сопровождается ростом ее энтропии, пропорциональной площади ее поверхности S . В плоском евклидовом пространстве величина S может неограниченно увеличиваться. Однако если наше 3-мерное пространство имеет закрытый тип метрики (т.е. является сферической гиперповерхностью конечного радиуса), то рост площади ЧД с увеличением ее массы происходит только до тех пор, пока не будет достигнут размер “экваториальной” площади Вселенной. После этого возникнет новая ситуация – рост массы ЧД должен приводить не к увеличению, а к уменьшению площади ее поверхности и энтропии! Но это противоречит второму началу термодинамики, поэтому рост ЧД должен прекратиться. *В конечном счете Вселенная, вероятно, будет состоять из двух огромных ЧД, которые, однако, не смогут слиться в единое целое.*

Черные дыры во вселенных иных размерностей

В ранее опубликованных моих работах было развито представление о нашей Вселенной как о черной дыре в 4-мерной гипервселенной, *линейно* расширяющейся в собственном времени, так что ее возраст строго пропорционален ее текущим размеру и массе. Сама Вселенная имеет размерность, на единицу меньшую, чем эта гипервселенная, т.е. является 3-мерной. В свою очередь, согласно этой концепции, черные дыры внутри нашей Вселенной имеют размерность еще меньшую, они представляют собой 2-мерные сферические поверхности (что соответствует общепринятому “мембранному” подходу для внешнего наблюдателя). Таким образом, возникает иерархия черных дыр, отношения между которыми представляет определенный интерес.

Рассмотрим, как изменяются с ростом массы M черной дыры ее геометрический R и гравитационный R_G радиусы в n -мерном пространстве (заметим, что для одномерного случая такой подход принципиально неприменим).

Очевидно, *геометрический* радиус R черной дыры в пространстве n измерений связан (при заданной плотности) с ее массой M соотношением

$$R \sim (M)^{1/n}$$

(например, в нашем 3-мерном пространстве $R \sim (M)^{1/3}$).

Далее, будем исходить из гипотезы, согласно которой в n -мерном пространстве силы гравитационного взаимодействия (в соответствии с теоремой Гаусса) убывают по закону R^{1-n} (в частности, R^{-2} в нашей 3-мерной Вселенной). Для 2-мерной поверхности эта гипотеза оправдывается аналогией с законами изменения электростатических сил для цилиндрической (не сферической) конфигурации: в этом случае напряженность поля убывает по закону R^{-1} , а электростатический потенциал ϕ – по закону $\ln(R_{\max}/R)$, где $R_{\max}$ – радиус внешней обкладки цилиндрического конденсатора. Закон $\phi \sim M \ln(R_{\max}/R)$ по аналогии описывает статическое гравитационное поле на 2-мерной поверхности, если положить величину $R_{\max}$ достаточно большой.

Для n -мерного случая (при $n > 2$) потенциал будет изменяться, соответственно, по закону R^{2-n} (в нашей Вселенной, т.е. при $n=3$ – по закону $\phi \sim M/R$).

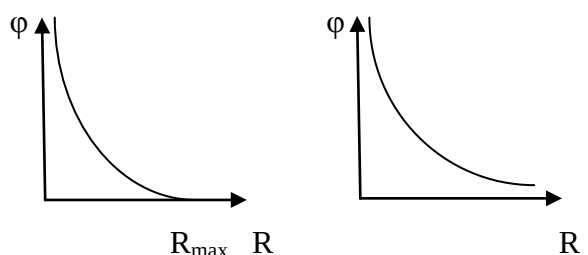


График потенциала в 2-мерном случае График потенциала при $n > 2$

Рисунок 2. Изменение потенциала в зависимости от расстояния

Гравитационный радиус черной дыры в классической физике 3-мерного пространства находится из условия равенства удельной (на единицу пробной массы) кинетической энергии и гравитационного потенциала источника с массой M : $c^2/2 = \phi(R_G)$. Используя такой же подход и для 2-мерной конфигурации, получим

$$c^2/2 \sim G_2 M \cdot \ln(R_{\max}/R_G)$$

откуда

$$R_G \sim R_{\max} \exp(-c^2/2G_2 M)$$

где G_2 – гравитационная постоянная для 2-мерного пространства. В общем случае мы получаем следующую таблицу, в которой гравитационные постоянные G_2 , G_3 , G_n различаются по крайней мере размерностью.

Таблица 1

Соотношения для потенциала и гравитационного радиуса

	$n=2$	$n=3$	$n>3$
Исходное соотношение для потенциала	$c^2/2 = G_2 M \ln(R_{\max}/R_G)$	$c^2/2 = G_3 M/R_G$	$c^2/2 = G_n M/(R_G)^{n-2}$
Выражение для R_G	$R_G = R_{\max} \exp(-c^2/2G_2 M)$	$R_G = 2G_3 M/c^2$	$R_G = [2G_n M/c^2]^{1/(n-2)}$

На рис. 3 показано сравнительное изменение геометрического и гравитационного радиуса ЧД в зависимости от ее массы при заданной плотности.

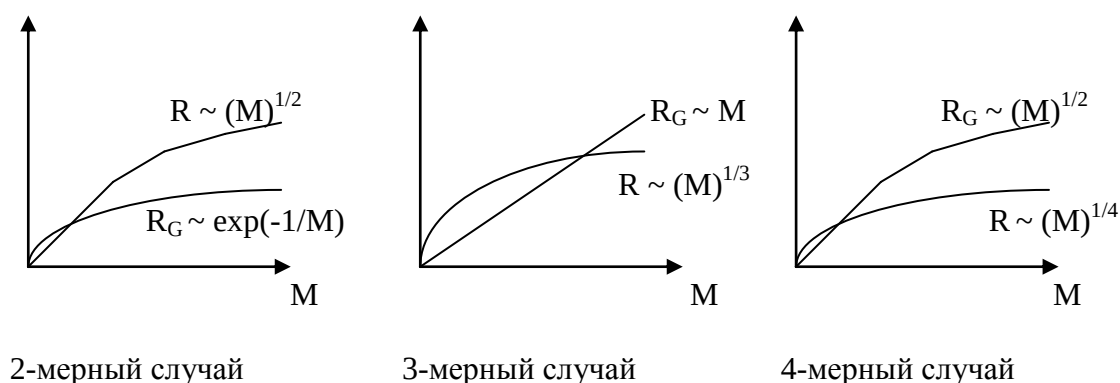


Рисунок 3. Изменение геометрического и гравитационного радиуса ЧД в зависимости от ее массы

Из анализа рисунка следует, что при некотором значении массы ЧД (при заданной плотности) численное соотношение между R и R_G изменяется на противоположное.

Так, при $n > 2$ слева от точки пересечения кривых $R > R_G$, тогда как справа от точки пересечения $R < R_G$. Это означает, что для нашей Вселенной (и для вселенных более высоких размерностей) материальные тела (с заданной плотностью) небольших размеров находятся в обычном состоянии, но когда их масса и размер при (сохранении той же плотности) достигают критической величины, то они коллапсируют, превращаясь в ЧД. Следовательно, их размер должен быть конечным.

Напротив, при $n = 2$ материальные объекты должны эволюционировать противоположным образом. Возможно, из этого следует, что такая эволюция вообще неосуществима.

Заключение

Таким образом, мы приходим к следующим выводам:

- Наша Вселенная не может быть бесконечной и представляет собой черную дыру во внешней 4-мерной гипервселенной. Аналогичным образом, должна существовать иерархия конечных по размерам ЧД еще более высоких размерностей.
- Поскольку черные дыры существуют внутри “материнской” ЧД, т.е. внутри пространства с замкнутой (сферической) геометрией, они могут расти только до “экватора” этой материнской ЧД и, следовательно, никогда не поглотят ее. Что бы ни происходило внутри дочерней дыры, информация о ее структуре принципиально никогда не будет доступна для наблюдения извне.
- Глобальная эволюция черных дыр в нашей Вселенной на заключительном этапе приведет, скорее всего, к образованию двух невообразимо огромных дочерних черных дыр, занимающих практически весь объем Вселенной.
- Возникновение структурированных дочерних черных дыр в 2-мерных черных дырах (которые, в свою очередь, являются дочерними ЧД по отношению к нашей 3-мерной Вселенной) представляется, скорее всего, невозможным или, по меньшей мере, проблематичным.

См. ссылки в общей Библиографии к книге “Альтернативная космология”.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.

Можно ли путешествовать во времени?

Введение

Как сообщает Википедия (см. там статью “Машина времени”), идея путешествия во времени *вопреки его естественному ходу* зарождается в фантастической литературе 19-го века. С тех пор фантасты, философы и ученые обсуждали эту идею несчетное число раз. В частности, до сих пор дебатруется вопрос – не нарушается ли при путешествии во времени какой-либо фундаментальный закон Природы?

Можно привести два возражения против возможности такого путешествия, основанные на общепринятых современных физических представлениях. Первое из них я бы назвал “аргументом Уилера-Фейнмана”. Второе (“геометрический аргумент”) основано на космологических соображениях. Кроме того, мы рассмотрим возможность путешествия во времени с помощью “кротовых нор”, или “червоточин” (wormholes).

Аргумент Уилера-Фейнмана

Выдающийся американский физик Ричард Фейнман уделил много внимания проблеме времени в теории излучения. Он и его научный руководитель – патриарх американской физики Джон Арчибальд Уилер – в 1945 году выдвинули идею использования *опережающих* (т.е. распространяющихся *назад во времени*) потенциалов для описания дальнего действия и объяснения силы радиационного трения. Затем, через 4 года, они (возможно, впервые) исследовали “парадокс опережающего действия”, который гипотетически может нарушать принцип причинности (когда, например, внук, попав в прошлое, убивает своего деда и этим исключает возможность собственного рождения). Решая парадокс, они предложили наложить физический запрет на существование в пространстве-времени *замкнутых (петлеобразных)* мировых линий частиц.

Позже, в 1964 году в своей Нобелевской лекции Фейнман рассказал, как Уилер позвонил ему по телефону и изложил концепцию, согласно которой столкновение электрона с позитроном можно трактовать как поворот мировой линии электрона назад в прошлое: изменение знака собственного времени эквивалентно изменению знака заряда (это известно как теорема о СРТ-симметрии). И Фейнман, как он пишет, ухватился за эту мысль: позитроны можно представлять себе просто как электроны, идущие из будущего в прошлое.

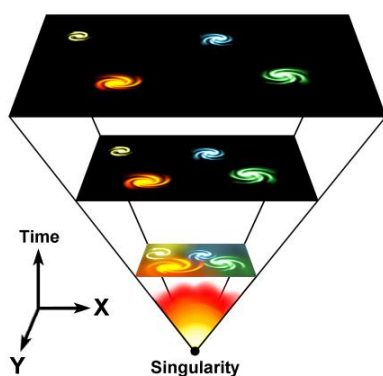
Но это означает, что любая двинувшаяся *назад во времени* машина времени, состоящая вместе со всем своим содержимым, в частности, из электронов и протонов, немедленно превратится в объект, состоящий из *позитронов и антипротонов*. В результате такой объект мгновенно аннигилирует с окружающей средой. Эта аннигиляция, кстати, решает неоднократно обсуждавшуюся проблему сохранения энергии/материи при перемещении машины времени: нетривиальное перемещение назад во времени с необходимостью влечет мощнейшее выделение энергии, сопровождаемое физическим уничтожением машины. Что же касается гипотетического перемещения *вперед во времени*, то оно по аналогичным причинам потребовало бы *затраты* энергии.

Таким образом, выведенный вначале из соображений причинности запрет на существование *замкнутых в пространстве-времени* мировых линий получает осмысленное “энергетическое” обоснование: точки поворота во времени оказываются особыми – в них, в отличие от других точек мировой линии, происходит нетривиальное выделение или поглощение энергии и разрушение материальных объектов. И если бы даже путешествие во времени вперед оказалось возможным, то вернуться назад в свое время у путешественника шансов нет.

Геометрический аргумент

Полезно заметить, что на самом деле любое путешествие (и даже состояние покоя) оказывается путешествием *во времени* – время течет для всех объектов во Вселенной. Поэтому необходимо уточнить, какие именно путешествия представляются нам парадоксальными, нарушающими *естественный ход* времени.

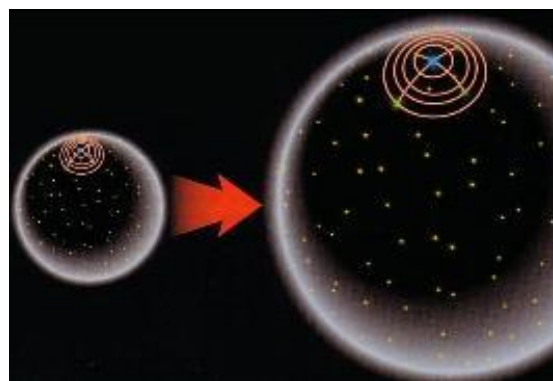
Существуют различные геометрические модели Вселенной. Большинство космологов в настоящее время считает, что геометрия модели близка к “плоской” (левый рисунок), и ее расширение характеризуется мерой всеобщего увеличения расстояний – “масштабным фактором”. Не исключено, впрочем, что Вселенная обладает замкнутой геометрией, т.е. геометрией поверхности 4-мерной сферы (правый рисунок), в этом случае масштабный фактор отождествляется с радиусом такой сферы.



Открытая модель Вселенной

Иллюстрация с сайта

http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Universe_expansion.png



Замкнутая модель Вселенной

Иллюстрация с сайта

<http://galspace.spb.ru/index60.file/ras.jpg>

В любом случае каждому моменту эволюции Вселенной можно сопоставить соответствующее значение масштабного фактора, подобно тому, как каждому году эволюции обычного земного дерева можно сопоставить соответствующее годовое кольцо. Такая параметризация позволяет говорить о своего рода “слоях” времени. Этот слой является общим космологическим временем для всей Вселенной и не связан с тем локальным определением интервалов времени, которое развито в теории относительности.

Как хорошо известно, теория относительности предлагает такую схему “путешествия в будущее”: путешественник улетает от Земли на сверхбыстрой ракете, затем возвращается и узнает, что на Земле прошло, скажем, 100 лет, хотя сам он за время полета постарел лишь на год. В этом случае речь идет о различном темпе течения *локального* времени на Земле и в ракете. Однако и Земля, и ракета все время принадлежат к одному и тому же слою (с растущим масштабным фактором) глобального космологического времени, никогда не покидая этот слой. “Перескочить” в прошлое или будущее – из слоя в слой (если даже допустить существование множества слоев) – невозможно, мировая линия любого тела может принадлежать лишь единственной реализации Вселенной.

“Заграница” нам поможет?

Во второй половине прошлого века астрофизики стали теоретически изучать весьма экзотические объекты. Им стало мало черных дыр, которые сейчас обладают статусом

практически надежно обнаруженных объектов. Теоретики стали исследовать что-то вроде гипотетических “половинок черных дыр” – “червоточины”, или “кротовые норы” (так иногда называют гипотетические пространственно-временные туннели).

Одна такая половинка, по их мнению, выводит материю из нашей Вселенной. Предполагается, что существует другая половинка, которая может исторгнуть материальный объект в иную Вселенную или в нашу же Вселенную, но в далеком (*бесконечно* далеком!) будущем или прошлом. Заметим, что эта вторая половинка должна быть по свойствам сходна не с “черной”, а с “белой” дырой, но существование реальных белых дыр более чем проблематично.

Исследований на эту тему существует множество, тема настолько же интересная, насколько и модная. Многие результаты, полученные в этой области, вполне заслуживают серьезного отношения, когда речь идет о возможных физических свойствах этих объектов. Однако возможность перемещения между слоями времени требует, прежде всего, построения модели той среды (вне нашей Вселенной), в которой могло бы происходить такое перемещение. Никаких подобных моделей в настоящее время в науке не существует.

Тем более не может идти речи о какой-либо навигации при таких перемещениях. Более того, бесконечно далекое прошлое или будущее, куда якобы можно было бы “перепрыгнуть” – это не строгое (или хотя бы как-то аргументированное) научное утверждение, а тот самый ковер, под который физики иногда любят заматывать мусор, как говаривал Фейнман. Иными словами, автор склонен считать, что все это – лишь красивые мечты, под которыми нет никакого основания.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6.

О парадоксе старения фотонов

1 Стандартная космологическая модель и наблюдение фотонов

В начале 20-го века астрономы приступили к исследованию радиальных скоростей удаленных галактик с помощью измерения их спектров и достаточно скоро обнаружили, что подавляющее большинство галактик удаляется от нас, т.е. что их спектры характеризуются так называемым “красным смещением”. При этом считалось очевидным, что *смещение спектра вызвано кинематическим фактором, т.е. скоростью относительно наблюдателя*.

В 1927 году Ж. Лемэтр предпринял попытку объяснить этот эффект на основе общей теории относительности (ОТО) применительно к расширяющейся Вселенной. Хотя он также использовал термин “эффект Доплера”, фактически его модель явления опиралась не на величину *относительной скорости*, а на величину *расстояния* до галактики в момент излучения ею фотона. Эта модель основана на фундаментальном утверждении ОТО, согласно которому свет распространяется по *геодезическим* мировым линиям, для которых 4-интервал $ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) dr^2$ обращается в ноль. Отсюда следует, что по абсолютной величине интервал времени $|dt| \sim a(t) dr$, иными словами, что в процессе *пространственного* расширения Вселенной пропорционально “растягивается” и *время*. Далее Лемэтр рассмотрел моменты излучения и наблюдения переднего и заднего гребней волнового пакета: поскольку на *этапе наблюдения* интервалы времени *растянуты* относительно *этапа излучения*, им был сделан вывод о “красном смещении” светового кванта.

Наблюдения подтверждают вывод о растяжении времени (см., например, [Longair, 2008], раздел 5.5.1): так, теоретически стандартный период времени между основными фазами кривой яркости сверхновой при наблюдениях действительно оказывается пропорциональным удаленности сверхновой от земного наблюдателя. Поэтому объяснение красного смещения, предложенное Лемэтром, является общепринятым.

2 Противоречия и сомнения

Однако такое объяснение входит в фундаментальное противоречие с законом сохранения энергии во Вселенной: если энергия световых квантов в процессе расширения Вселенной уменьшается (поскольку увеличивается длина и период их волны), то куда исчезает этот избыток энергии? Если энергия кванта в процессе движения не передается ничему, то ее уменьшение может иметь место лишь при нарушении закона сохранения энергии; если же квант теряет часть своей энергии (“стареет”), передавая ее другим фотонам или частицам среды, то при этом направление его движения изменялось бы, изображения далеких галактик были бы расплывчатыми, нечеткими и, тем более, размытыми тем сильнее, чем дальше эта галактика находится. На самом же деле изображения как близких, так и далеких галактик достаточно четкие и не зависят от их удаленности от наблюдателя.

Мне кажется резонным и другой вопрос: как бы там ни было, при расширении Вселенной источник и приемник света взаимно удаляются. Фотону ведь все равно, почему в момент излучения он удалялся от места, где находится теперь Земля – связано ли это с расширением Вселенной, или это просто пекулярная скорость галактики, или сочетание того и другого. Так как быть с “истинным” эффектом Доплера, связанным со взаимной скоростью удаления? Если мы не должны его учитывать, то почему, а если должны, то как соотнести между собой эффекты, обусловленные скоростью и масштабным фактором?

Любопытно отметить также, что в недавней работе [Melia, 2012] обращается внимание на следующее весьма интересное обстоятельство: точно такое же выражение для параметра красного смещения получается в *статической* метрике (точнее, в *шести* различных моделях

статической метрики), где расширение Вселенной вообще не имеет места, так что закономерно возникает вопрос о *реальной* связи между красным смещением и динамикой пространства-времени.

Далее, в работе [Chodorowski, 2011] приведена ссылка на работу [Bunn and Hogg, 2009], авторы которой применили параллельный перенос 4-вектора скорости вдоль нулевой геодезической линии для фотонов, прилетающих из удаленной галактики в местоположение наблюдателя, и обнаружили, что космологическое красное смещение имеет *чисто кинематическую природу*. Сам Chodorowski в своей публикации показывает, что в действительности следует осуществить перенос 4-вектора скорости вдоль геодезической, соединяющей точки пересечения мировых линий этой галактики и наблюдателя с гиперповерхностью постоянного *космологического времени*. При этом он устанавливает, что скорости так называемого *собственного* разбегания галактик, обычно используемые в космологии, на самом деле представляют собой радиальные компоненты 4-скоростей галактик.

3 Критический анализ модели Лемэтра

Эффект, предсказанный Лемэтром, неявно связан с одним существенным *допущением*: предполагается, что световые колебания имеют существенно классическую (неквантовую) природу и, тем самым, наблюдатель гипотетически может получить “мгновенные” сигналы, соответствующие (*независимым* один от другого) *гребням* волны, а затем определить интервал времени между ними. Однако имеются основания усомниться в справедливости такой модели – свет переносится фотонами, дискретная природа которых была открыта еще в начале 20-го века, поэтому можно допустить, что физически местоположения максимума и минимума (или двух соседних гребней) одного периода колебаний *зависимы* во времени между собой и связаны в единое целое.

Если так, то единичный фотон мог бы рассматриваться в виде своего рода *пульсирующего* объекта (с постоянными или эволюционирующими длиной волны и периодом), движущегося от источника к наблюдателю. При этом должна быть уточнена модель эволюции такого объекта, т.е. динамика изменения фазовых соотношений его пульсаций в процессе движения. Рассмотрим простые варианты:

- (а) длина волны и период колебаний фотона “растягиваются” в процессе движения;
- (б) длина волны и период колебаний фотона не меняются в процессе движения.

Случай (а) как раз соответствует модели Лемэтра и подходу, принятому в стандартной космологической модели, но при этом сохраняются и неразрешимые проблемы уменьшения энергии фотонов и учета чисто кинематического эффекта Доплера. В случае (б) обе проблемы снимаются: энергия фотонов (и полная энергия Вселенной) сохраняется, а красное смещение, обусловленное взаимным удалением галактик, объясняется чисто кинематическим эффектом Доплера как следствие изотропного расширения Вселенной.

Если космологическое красное смещение действительно сводится к чисто кинематическому эффекту – *относительной* скорости “разбегающихся” галактик, то можно легко ответить и на другую группу “Часто Задаваемых Вопросов (Frequently Asked Questions)”.

Может ли скорость удаления даже самых массивных объектов оказаться субсветовой, очень близкой к скорости света (этот вопрос в литературе приписывают еще Хабблу)? Конечно, может, в такой скорости нет ничего физически экстраординарного – ведь для других наблюдателей физическая скорость этого же объекта может быть сколь угодно малой, это чисто относительный эффект.

А что будет для столь удаленных галактик, скорость удаления которых по закону Хаббла при расширении Вселенной должна превышать скорость света? Ответ: ничего, потому что после достижения такой скорости взаимного удаления фотоны от этого объекта вообще

перестанут достигать земного наблюдателя, т.е. объект наблюдения выйдет за наш горизонт событий.

Встречается и такое утверждение (см., например, [Фролов, 2010]): *в последние годы в поле зрения астрономов оказались очень удаленные объекты (с красным смещением 10 и более), излучение от которых должно было возникнуть вскоре после Большого взрыва. Но эти объекты не могли находиться слишком далеко один от другого из-за малого размера тогдашней Вселенной, значит, излучение так долго идти между ними не должно.* Однако это неверно: световой конус и, соответственно, горизонт событий существует во Вселенной на любых этапах ее эволюции, т.е. всегда есть гипотетические объекты, свет от которых достичь нас не сможет, и есть объекты, свет от которых все же придет к нам через заданное, хотя бы и сколь угодно большое, время.

4 Фотоны и альтернативная космология

Выше было отмечено, что предложенная Лемэтром модель растяжения световой волны в процессе распространения света в расширяющейся Вселенной вступает в фундаментальное противоречие с законом сохранения энергии. В предшествующих разделах это противоречие было предложено устранить, изменив модель Лемэтра и приняв модель неизменного во времени (несмотря на расширение Вселенной) фотона.

Между тем автор настоящей публикации с 1993 года развивает альтернативную космологическую модель, в которой закон сохранения энергии Вселенной со временем в общем случае неверен. Наша Вселенная полагается черной дырой во внешней гипер-вселенной, из которой и получает энергию и материю (именно вследствие этого наша Вселенная и расширяется). В этой космологической модели масса и энергия всех частиц, в том числе и фотонов, растет пропорционально возрасту Вселенной (См. [Шульман 2004, 2006, 2011]).

Оказывается, что и в рамках этой космологической модели необходимо считать неизменными длину волны и период колебаний световых квантов в течение всего их путешествия от источника излучения до земного наблюдателя. В то же время в процессе расширения Вселенной энергия световых квантов, как отмечалось, растет по линейному закону, и происходит это не вследствие изменения пространственно-временных параметров квантов, а благодаря соответствующему изменению параметра Планка h , который по этой причине уже не может называться “постоянной Планка”.

Благодарность

Автор выражает искреннюю благодарность Ю.А. Лебедеву за жесткую и конструктивную критику, приведшую если не ко взаимному согласию, то, по крайней мере, к принципиальной переработке авторской интерпретации проблемы.

См. ссылки в общей Библиографии к книге “Альтернативная космология”.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7.

Неоконченная сюита для Вселенной К истории одного направления космологической мысли

1 Введение

В 1993 г. я с жадностью прочел только что вышедший сборник трудов замечательного российского астрофизика Николая Александровича Козырева, упоминания об идеях которого я ранее часто встречал в средствах массовой информации. Откровенно говоря, его “причинная механика” не нашла отклика в моей душе, но две важнейшие мысли, что называется, “зацепили”.

Первая мысль состояла в предсказании, что “время превращается в энергию” (точный смысл этого утверждения я, как мне кажется, осознал позже, и еще вернусь к этой теме). Разумеется, с точки зрения стандартных физических представлений это утверждение выглядит ересью. Но, как известно, она может оказаться достаточно безумной, чтобы превратиться в истину.

Вторая мысль состояла во введении в научный оборот понятия “ход” времени. До чтения козыревского сборника лично я вовсе не задумывался о природе времени и, тем более, о его ходе. Понятие времени, как мне казалось, целиком выносилось за скобки физической науки. Но, прочитав его работы, я вдруг понял, что вполне возможно и даже необходимо эти понятия в физику включить и положить в основу космологической модели. Мне пришло в голову связать время и его ход с универсальным для всей Вселенной процессом ее расширения, считая все прочие физические процессы вторичными и привязанными к размеру Вселенной. Иными словами, время оказалось чем-то похожим на годовые кольца дерева, которые появляются в процессе его развития.

Постулировав априорную пропорциональность возраста Вселенной ее размеру, я столкнулся, по меньшей мере, с двумя принципиальными противоречиями между “своей” и стандартной космологическими моделями. Прежде всего, пропорциональность возраста размеру (непустой) Вселенной не соответствовала стандартному условию сохранения энергии. Более того, во вновь построенной модели Вселенной ее масса не только не оставалась постоянной (как это принято полагать в стандартной модели), но росла линейно вместе с возрастом. Оба противоречия устранялись общей концепцией, которая пришла мне в голову – допущением, что наша Вселенная является “черной дырой”, поглощающей энергию и/или материю из внешнего по отношению к ней гиперпространства.

Первоначально мне было даже страшно высказывать эту идею вслух. Постепенно, как это часто бывает, выяснилось, что идея носилась в воздухе, по крайней мере, с 1972 года.

2 Кто сказал “мяу”...

Именно летом 1972 года практически одновременно (но независимо одна от другой) вышли в свет две совершенно разные по характеру статьи, объединенные общим пророчеством. Индийский физик-теоретик Р.К. Патриа написал статью [1] “Вселенная как черная дыра”, а британский математик Ирвин Гуд свою статью [2] озаглавил так: “Китайские матрешки вселенных”.

Статья Патриа написана в строго научном стиле; многие его утверждения вызывают у меня чувство полной солидарности. В начале своей статьи он пишет:

“Вселенная не только может быть замкнутой структурой ..., но и может быть черной дырой, занимающей локализованную область пространства, которая не может распространяться неограниченно. ... Для Вселенной в целом радиус Шварцшильда

должен составлять порядка 10^{28} см. Поскольку линейный размер Вселенной также оценивается величиной порядка 10^{28} см, возникает вопрос: является ли она черной дырой? Чтобы изучить этот вопрос, недостаточно анализа “изнутри” – автор исходит из того, что за пределами нашей Вселенной существует внешний мир, из которого возможен непредвзятый взгляд на нашу Вселенную.”

Взгляд “изнутри” Патриа формирует, записав уравнения Эйнштейна для Вселенной и выведя из них характерные неравенства для ее радиуса. Затем он весьма элегантно описывает нашу Вселенную “извне”, предположив, что она является черной дырой в некотором материнском мире и удовлетворяет метрике Шварцшильда. Ему удается получить аналогичные неравенства и в этом случае, и в результате, положив для постоянной Хаббла H значение (75 км/с)/МПК, а для входящего в уравнения параметра замедления q – значение единица, оценить радиус нашей Вселенной величиной 1.1×10^{28} см. Патриа пишет в заключение:

“... мы сталкиваемся с некоторыми вопросами: каким образом Вселенная стала черной дырой – вследствие гравитационного коллапса и последующего расширения? В космосе, обладающем как внутренней, так и внешней частью, может ли такая Вселенная быть уникальной? Если нет, то каков ее статус относительно других таких структур в этом космосе? Исследование этого и других связанных с ним вопросов, включая возможность существования иерархии черных дыр, очевидно, имеет большое значение.”

Статья Гуда написана в совершенно ином стиле – я бы сказал, далеко от строгой науки, она не содержит ни единой формулы. Гуд начинает со ссылки на древнего грека, с которым, кажется, вполне согласен:

“Исходя из иррационального предположения о том, что перемены невозможны, Парменид около 500 г. до н.э. утверждал, что вселенная не имела начала, во что сам искренне верил. В действительности представление о том, что вселенная возникла в результате Большого Взрыва или Хруста, может однажды показаться столь же абсурдным, как и представление о том, что Земля опирается на слона, а тот – на черепаху. Любое свидетельство того, что вселенная имела начало, может быть лучше интерпретировано с помощью утверждения о некотором катаклизме, имевшем место, возможно, несколько десятков миллиардов лет тому назад и полностью изменившим наблюдаемую вселенную. ... В данной работе я утверждаю, что вся наша наблюдаемая вселенная является, вероятно, черной дырой.”

Далее Гуд развивает серию не очень-то обоснованных предположений, из которых, в конечном счете, выводит мысль, что

“... мы принадлежим бесконечной последовательности [черных и белых] дыр, вложенных одна в другую, подобно резным китайским сферам-матрешкам, поочередно изготовленным из слоновой кости и эбенового (черного) дерева ... предлагаемая теория интерпретирует сколлапсировавшие галактики ... в качестве субвселенных в целях разрешения конфликта между Большим Взрывом и стационарными теориями вселенной. Хотя эта теория может показаться слишком грандиозной, ... только она является интерпретацией, совместимой со стационарностью”.

Более позднее упоминание о вселенных как о черных дырах я нашел в статье [3] американского физика-теоретика Ли Смолина. Со ссылкой на знаменитого американского физика Дж. А. Уилера он пишет (к сожалению, без датировки):

“Можно предположить, что каждая черная дыра в нашей Вселенной приводит к созданию новой вселенной и, соответственно, Большой Взрыв в нашем прошлом есть результат формирования черной дыры в иной вселенной.”

В 21-м веке эта грандиозная идея несколько раз привлекала к себе внимание физиков. Например, ряд статей [4] опубликовал американский физик Н. Поплавски. Появились даже публикации о существовании стабильных орбит внутри черных дыр [5]. Однако, с моей точки зрения, развиваемые в этих работах представления лежат в стороне от главного направления, которому посвящена данная публикация.

Главный вопрос для меня состоит в том, *может ли наша Вселенная не быть черной дырой?* И ответ на этот вопрос мне кажется очевидным [6]. Действительно, нам известна средняя плотность Вселенной ($\sim 10^{-29}$ г/см³). Но Вселенная с конечной средней плотностью не может иметь бесконечного размера – геометрический радиус Вселенной пропорционален кубическому корню из массы, тогда как гравитационный ее радиус пропорционален самой массе, эти две зависимости обязательно пересекаются при определенном критическом значении радиуса (он как раз и составляет $\sim 10^{28}$ см), ограничивающем величину Вселенной. Более того, если мы оценим соотношение между реальной и критической (с точки зрения коллапса) массами для таких объектов, как Земля, Солнце, Млечный Путь и Вселенная в целом, то ясно увидим, что это соотношение закономерно изменяется от 10^{-26} до ~ 1 .

3 Есть ли что-либо “внутри” черной дыры?

Общепринятая (в течение века) парадигма черной дыры предусматривает две составляющие – внешнюю и внутреннюю.

Для внешнего наблюдателя в нашем 3-мерном пространстве черная дыра вполне строго описывается предложенным в 70-х годах прошлого века “мембранным” подходом. В соответствии с ним горизонт событий (граничная поверхность) ЧД выглядит для такого внешнего наблюдателя как *2-мерная физическая мембрана из вязкой жидкости* с определенными механическими, электрическими и термодинамическими свойствами [7].

Что же касается описания того, что происходит *внутри* черной дыры, то вплоть до настоящего времени господствует убеждение и выстроена строгая и красивая *математическая* теория (в общем случае – теория Ньюмэна-Керра), согласно которой продолжение решения в эту внутреннюю область не только имеет физический смысл, но и альтернативы такому подходу нет. Когда я попытался сообщить известному российскому космологу А.Д. Чернину о предлагаемой мной модели Вселенной в виде черной дыры, он написал мне в ответ: *“Ваша идея насчет привлечения решения Шварцшильда к космологии вряд ли поможет в решении проблем, о которых Вы пишете: это решение не согласуется с фактом изотропии сопутствующего пространства”* (частная переписка, 14.06.2008).

Разумеется, если исходить из существования *физического* решения внутри ЧД, то мой оппонент, безусловно, прав: такое решение должно, как минимум, зависеть от расстояния до центра ЧД. А наша Вселенная, как известно, в больших масштабах однородна и изотропна! Так может быть, как предложил сантехник из известного анекдота, надо “менять всю систему” представлений? Тем более, что эта существующая система связана с фундаментальной проблемой сингулярностей...

Здесь я бы хотел обратить внимание читателя на замечательную статью [8], где выдвинута интересная идея “гравастара” – черной дыры, вся материя которой сконцентрирована в тончайшей поверхностной оболочке с толщиной в несколько планковских длин (квантовом конденсате), так что вся сердцевина дыры вовсе не содержит материи! Замечательно, что похожую модель предложил недавно и один из ведущих специалистов по теории черных дыр В.П. Фролов, который в публикации [9] также описал несингулярную модель черной дыры с тонкой массивной оболочкой и замкнутым горизонтом.

Во многих статьях и книгах космологи предлагают читателю один и тот же популярный образ Вселенной в виде надувного шара, где именно замкнутая на себя и не имеющая (в 2-мерном пространстве) границ *поверхность* шара соответствует месту нашего пребывания. Поэтому совершенно естественно, что, независимо от упомянутых работ, я пришел к выводу именно о такой (изотропной и однородной) геометрии Вселенной, что и пытался донести до А.Д. Чернина и других научных рецензентов. К сожалению, все это до сих пор остается гласом вопиющего в отечественной официальной научной пустыне, когда отказ в публикации в ведущем физическом журнале (не УФН) мотивируют, например, тем, что работа “имеет методический характер”. А вот в Канаде группа проф. Н. Афшорди [10] развивает и публикует модели, согласно которым наша Вселенная является трёхмерной браной, получившейся в результате коллапса четырёхмерной звезды в чёрную дыру.

Но, может быть, модель Вселенной как (3-мерной) поверхностной оболочки (4-мерного) шара из некоторого внешнего мира (см. цитировавшиеся идеи Патриа и Гуда) невозможно *физически* согласовать с оболочечной моделью? Оказывается, дело обстоит ровно наоборот: мое собственное исследование [11], основанное на известных результатах общей теории относительности (ОТО), выявило интригующую картину того, что происходит при образовании черной дыры с объектом конечных размеров (т.е. не точечным). Вдали от режима коллапса давление внутри материального шара строго положительно и плавно спадает от центра к периферии шара. Однако при сжатии такого объекта перед самым коллапсом (но еще до его наступления) возникает принципиально новая ситуация: распределение давления внутри объекта полностью изменяется. В центре шара возникает бесконечный по абсолютной величине биполярный разрыв давления, который по мере дальнейшего приближения к состоянию коллапса вытесняется из центра объекта к его границе и, соответственно, вытесняет из внутренней области в оболочку всю материю. Таким образом, возникает неизбежный вывод: то, что обычно называют горизонтом ЧД, *действительно* представляет собой 2-мерную мембрану, даже если “смотреть” на нее изнутри!

4 Подводя итоги

В этом месте я прерываю свое *историческое* повествование: суть всего остального изложена в настоящей книге. Кроме этого, существует моя итоговая статья [12] на английском языке, подготовленная по рекомендации добрейшего А.П. Левича и при самом благожелательном участии ее рецензента А.Е. Чубыкало.

Литература

- [1] R.K. Pathria. *The Universe as a Black Hole (Вселенная как черная дыра)* ([Nature](#) **240** (5379): 298–299). DOI:10.1038/240298a0.
- [2] I.J. Good. *Chinese universes*. [Physics Today](#) **25** (7). DOI:10.1063/1.3070923.
- [3] Lee Smolin. The fate of black hole singularities and the parameters of the standard models of particle physics and cosmology. ArXiv:gr-qc/9404011v1 7 Apr 1994.
- [4] Popławski, N. J. (2010). *Radial motion into an Einstein-Rosen bridge*. [Physics Letters B](#) **687** (2–3): 110–113. DOI:10.1016/j.physletb.2010.03.029.
- Popławski, N. J. (2010). *Cosmology with torsion: An alternative to cosmic inflation*. [Physics Letters B](#) **694** (3): 181–185. DOI:10.1016/j.physletb.2010.09.056.
- Popławski, N. (2012). *Nonsingular, big-bounce cosmology from spinor-torsion coupling*. [Physical Review D](#) **85** (10): 107502. DOI:10.1103/PhysRevD.85.107502.
- [5] V. I. Dokuchaev. Life inside black holes. Grav. Cosmol., vol. 18, pp. 65–69, 2012, <http://arxiv.org/pdf/1203.0878.pdf>.
- [6] Ю.А. Лебедев, М.Х. Шульман. Многомирие как осознанный выбор мироздания. “Наука и жизнь”, №7, 2011, М. http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Lebedev_Shulman.pdf

-
- [7] Новиков И.Д., Фролов В.П. Черные дыры во Вселенной. УФН, том 171, № 3. Март 2001 г. С. 307-324
- [8] Pawel O. Mazur and Emil Mottola. Gravitational Condensate Stars: An Alternative to Black Holes. ArXiv:gr-qc/0109035v5 27 Feb 2002.
- [9] Valeri P. Frolov. "Do Black Holes Exist?" ArXiv:1411.6981v1 [hep-th] 25 Nov 2014
- [10] Razieh Pourhasan, Niayesh Afshordi, and Robert B. Mann. "Out of the White Hole: A Holographic Origin for the Big Bang." ArXiv:1309.1487v2 [hep-th] 22 Sep 2013
- [11] М.Х. Шульман. Коллапс обычный и необычный.
http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Collapse.pdf
- [12] Michael H. Shulman. Time origin and universe uniform expanding. American Journal of Modern Physics 2015; 4(2-1): 9-14 Published online January 28, 2015
(<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajmp>).
http://www.timeorigin21.narod.ru/eng_time/Universe_expansion_eng.pdf

ПРИЛОЖЕНИЕ 8.

Испарение гравитирующих тел

В статье анализируется осуществимость процесса испарения черной дыры с учетом внешнего фактора – микроволнового фонового космического излучения (так называемого “реликтового” излучения). Кроме того, обсуждается возможность испарения любого (не обязательно черной дыры) источника гравитации. Далее отмечено, что эффекты Унру и Хокинга фактически предсказаны классической (неквантовой) общей теорией относительности еще в 30-х годах 20-го века и справедливы не только для черных дыр, но и для любых источников тяготения, которые, таким образом, также могут постепенно испаряться со временем.

1 Некоторые проблемы с испарением черных дыр

В 1975 году С. Хокинг опубликовал знаменитую работу [1], в которой показал, что квантовомеханический анализ предсказывает существование *собственного излучения* черной дыры (ЧД). Последнее характеризуется спектром абсолютно черного тела (рис. 1) и эффективной температурой $T_H \sim 1/m$, где m – масса ЧД.

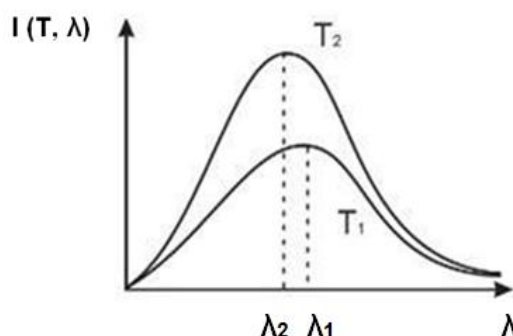


Рисунок 1. Зависимость мощности излучения $I(T, \lambda)$ от температуры T и длины волны λ . При увеличении температуры ($T_2 > T_1$) длина волны, при которой достигается спектральный максимум излучения, уменьшается обратно пропорционально ($\lambda_2 < \lambda_1$).

Поскольку гравитационный радиус r (невращающейся электрически нейтральной) ЧД прямо пропорционален ее массе, то с тем же основанием мы можем записать $T_H \sim 1/r$. Из этого обычно делают вывод, что “предоставленная самой себе” ЧД будет испаряться, при этом ее масса и радиус будут уменьшаться, а температура будет расти с ускорением, так что все это закончится взрывом, уничтожающим ЧД³².

Между тем вряд ли всегда допустимо рассматривать ЧД, полагая ее “предоставленной самой себе” независимо от реальных условий. В частности, должно учитываться своего рода “противодействие” испарению ЧД за счет поглощения ею энергии внешнего излучения и вещества. Вообще говоря, энергия вещества в ряде случаев может играть доминирующую роль, но здесь мы ограничимся учетом роли так называемого реликтового (микроволнового фонового космического) излучения.

Как мы знаем, Вселенная заполнена реликтовым излучением (РИ), спектр которого также является тепловым (см. рис. 1) и соответствует температуре $T_C \sim 3$ К (точнее: 2.725 К, спектральный максимум имеет место при длине излучения $\lambda = 1.9$ мм, частота 160.4 ГГц). Это с

³² Вместе с тем, в 2014 г. в работе [2] были представлены результаты расчетов, говорящие о том, что при возникновении ЧД вследствие коллапса звезды возникающее излучение Хокинга стремительно прерывает ее дальнейшее образование.

большой точностью подтвердили измерения с помощью спектрофотометра дальнего инфракрасного излучения FIRAS, установленного на спутнике COBE (NASA).

РИ необратимым образом поглощается ЧД и очевидным образом противодействует ее хокинговскому излучению. Поглощение РИ, очевидно, будет доминировать в случае черной дыры с температурой горизонта $T_H < T_C$. Поскольку для ЧД с массой, равной массе Земли (6×10^{24} кг), температура Хокинга равна³³ $T_H \approx 0.02$ К и $r \approx 10$ мм, то нетрудно рассчитать, что для ЧД с температурой Хокинга 3 К шварцшильдовский радиус испаряющейся ЧД должен быть меньше $1.5 \text{ м} \approx 0.01 \text{ м} \times (3/0.02)$.

Таким образом, в настоящую космологическую эпоху *испаряться могут только ЧД с радиусом менее 1.5 м и массой менее 150 масс Земли*. При этом важно отметить, что температуре 3 К соответствует максимум длины волны теплового излучения, равный $\lambda_{3\text{К}} \approx 2$ мм, что намного меньше 1500 мм, т.е. подобные волны вполне могут излучаться телом с размерами такой ЧД³⁴. Это же соотношение (1: 750) между ними справедливо для любого момента истории Вселенной (рис. 2), начиная от эпохи последнего рассеяния ($z \approx 1000$), поскольку и максимально допустимый гравитационный радиус³⁵ испаряющейся ЧД r , и длина волны спектрального максимума λ теплового излучения³⁶ обратно пропорциональны температуре T_H . Такая же ситуация должна сохраняться и в будущем, когда температура реликтового излучения будет еще более понижаться.

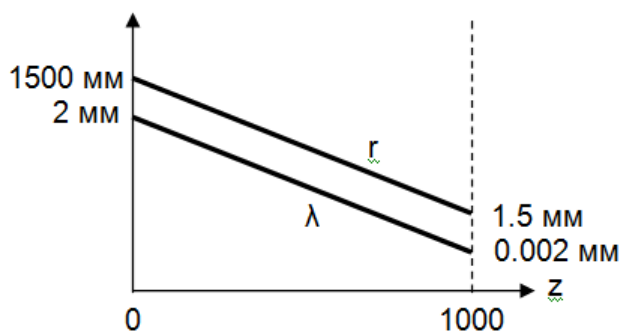


Рисунок 2. Зависимость максимально возможного радиуса испаряющейся ЧД r и длины волны соответствующего спектрального максимума λ от величины красного смещения (для вертикальной оси использован логарифмический масштаб). Смещение $z=0$ соответствует текущему значению температуры реликтового излучения (~ 3 К), смещение $z \approx 1000$ соответствует эпохе последнего рассеяния (~ 3000 К), когда размер Вселенной был в 1000 раз меньше.

2 Квантовые эффекты Хокинга и Унру

В середине 1970-х были опубликованы работы [1, 4], в которых предсказаны два близких по физическому смыслу эффекта: испарение черных дыр (эффект Хокинга) и излучение, регистрируемое ускоренно движущимся относительно вакуума наблюдателем (эффект Унру).

Переходя к собственному времени равномерно ускоренного наблюдателя (т.е. от инерциальной к ускоренной системе координат) и используя преобразования Боголюбова для операторов уничтожения и рождения частиц [5], можно получить температуру, которую регистрирует ускоренный наблюдатель (точнее, его локальный термометр):

³³ Автор благодарит Ю.А. Лебедева за сообщение о досадной арифметической ошибке, допущенной в первоначальной версии текста этой работы.

³⁴ Исходя из аналогичных соображений, Дж. Бекенштейн в работе [3] писал: "... «масса черной дыры не может быть меньше массы Планка (2×10^{-5} г), т.к. в противном случае дыра оказалась бы меньше собственной комптоновской длины волны» (перевод мой – МХШ).

³⁵ Согласно современным представлениям, температура реликтового излучения убывает обратно пропорционально размеру Вселенной.

³⁶ В соответствии с законом смещения Вина.

$$k_B T = \frac{\hbar a}{2\pi c}$$

“Замечательно, что эта температура является одной и той же для всего электромагнитного спектра... Она зависит только от ускорения и выбора естественных единиц... Со всех точек зрения квантовый вакуум пустого пространства проявляется для отдельного ускоренного наблюдателя как температура теплового излучения, ... это называется эффектом Унру.”³⁷ [5]

Интересно, что эту формулу можно “угадать” (с точностью до постоянного числового коэффициента). Действительно, согласно закону смещения Вина имеем:

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{\gamma k_B T}$$

где $\gamma = 0.00289776829$, температура T дана в кельвинах, а $\lambda_{\max}$ (длина электромагнитной волны с максимальной интенсивностью при данной температуре T) — в метрах. Отсюда, используя формулу Унру, получаем:

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{\gamma k_B T} = \frac{2\pi\hbar c}{\gamma} \cdot \frac{2\pi c}{\hbar a} = \frac{4\pi^2}{\gamma} \cdot \frac{c^2}{a}$$

где величину c^2/a можно вывести из одних только соображений размерности. Постоянная Планка, как видно, в этой последней формуле вообще не фигурирует.

Эффект Хокинга может рассматриваться как эффект Унру (в полном соответствии с общей теорией относительности), если вышеуказанное ускорение наблюдателя обусловлено его движением в гравитационном поле черной дыры. В этом случае, записав ускорение a в поле тяготения массы M в виде $a = GM/r^2$ и выразив радиус Шварцшильда черной дыры как $r = 2GM/c^2$, из формулы Унру можно легко найти для температуры хокинговского излучения вблизи горизонта событий черной дыры:

$$k_B T = \frac{\hbar c^3}{8\pi GM}$$

Таким образом, ускоренный (в том числе – в гравитационном поле черной дыры) наблюдатель оказывается, по моему мнению, в так называемом “тепловом” состоянии света, в котором, как и в вакууме, среднее значение напряженности электромагнитного поля равно нулю, но среднее число фотонов $\bar{n} = 1/(e^{\hbar\omega/kT} - 1)$ больше нуля, а среднеквадратическое значение энергии превосходит специфическое для вакуума значение $\hbar\omega/2$.

3 Неквантовый подход к объяснению теплового излучения

Хокинг писал в аннотации к своей упомянутой выше работе 1974 года (перевод мой – МХШ):

“В классической теории черные дыры могут только поглощать частицы, но не излучать их. Однако [в данной статье] показывается, что квантовомеханические эффекты вынуждают черные дыры рождать и испускать частицы, как если бы они [дыры] были обычными нагретыми телами с температурой $(\hbar\kappa/2\pi k) \approx 10^{-6} (M_\odot/M)$ °К, где κ – поверхностная

³⁷ Перевод мой – МХШ.

плотность гравитационного заряда черной дыры. Тепловое излучение приводит к медленному уменьшению массы черной дыры и ее финальному исчезновению... ” [1].

Между тем, на наличие температуры и существование теплового излучения, исходящего от гравитирующих объектов (не обязательно черных дыр!) *безотносительно к квантовым явлениям* указывал еще Р. Толмен в своей классической монографии (см. в ней параграф о релятивистском тепловом равновесии сферы):

“... собственная температура среды, измеряемая локальным наблюдателем, использующим обычные методы тепловых измерений, не может быть постоянной повсюду в сфере, которая находится в состоянии теплового равновесия; напротив, собственная температура зависит от значения гравитационного потенциала в данной точке, увеличиваясь по мере приближения к центру сферы. Этот вывод, конечно, очень отличается от классического, ... согласно которому однородная температура есть необходимое условие теплового равновесия. Напомним, однако, что с точки зрения теории относительности все формы энергии обладают весом, так же как и массой. Тогда заключение о том, что необходим температурный градиент для того, чтобы отсутствовал тепловой поток из областей с более высоким гравитационным потенциалом в области с более низкими его значениями, кажется вполне естественным.” [6]

Таким образом, нет необходимости связывать тепловое излучение черной дыры с квантовыми эффектами именно вблизи горизонта событий – теоретически тепловые фотоны могут рождаться *на любом расстоянии от источника*, при этом формально не требуется рассматривать процессы рождения и уничтожения частиц вблизи горизонта. Более того, поскольку *“с точки зрения теории относительности все формы энергии обладают весом, так же как и массой”*, то неоднородное распределение температуры³⁸, обеспечивающее равновесное состояние, должно быть характерно для источника центрального поля *любой природы*, например – от источника гравитации произвольного тела (не черной дыры!), источника электромагнитного поля и пр.

Насколько я могу судить, при этом не играет никакой роли эффект туннелирования одной из пары рождающихся частиц сквозь горизонт. Факт испарения источника поля более не требуется приписывать исключительно черным дырам, он, видимо, имеет универсальный характер: обусловленное энергией источника поля тепловое излучение непрерывно уносится в окружающее пространство, что и приводит к постепенному “испарению” этого источника (разумеется, эффект оказывается практически ненаблюдаемым вследствие ничтожных значений температур). Впрочем, еще сам Хокинг в [1] заметил, что испарению в большинстве случаев будет препятствовать, например, реликтовое излучение с температурой около 3 К.

3 Выводы

1. Излучение Хокинга, которое может привести к испарению черной дыры, не требует специального квантовомеханического обоснования, этот эффект (как и эффект Унру) вытекает из положения общей теории относительности, согласно которому в состоянии равновесия температура вокруг гравитирующего объекта не является однородной. Эта температура порождает поле излучения, забирающее часть энергии покоя объекта.
2. В общем случае такими же свойствами должно обладать центральное поле источника *любой природы* (не только гравитационного). При определенных условиях такие источники поля также могут “испаряться” со временем.

³⁸ Впрочем, явное выражение для температуры, найденное Толменом, насколько можно судить, не вполне совпадает с формулой Унру. Кроме того, в недавно вышедшей работе [7] ее авторы утверждают, что (микроскопическая) температура Унру принципиально не совпадает с (макроскопической) температурой Толмена и обусловлена чисто квантовой связью термометра с рождающимися частицами. При этом, по утверждению авторов, температура вакуума для наблюдателя в любой системе отсчета остается равной нулю.

Ссылки

- [1] S. W. Hawking. “Particle Creation by Black Holes”. Commun. math. Phys. 43, 199—220 (1975)
- [2] Laura Mersini-Houghton and Harald P. Pfeiffer. Back-reaction of the Hawking radiation ux on a gravitationally collapsing star II: Fireworks instead of _rewalls. ArXiv:1409.1837v1 [hep-th] 5 Sep 2014
- [3] Jacob D. Bekenstein. “Black holes and information theory”. ArXiv:quant-ph/0311049v1 9 Nov 2003
- [4] W.G. Unruh. Notes on black-hole evaporation. Phys. Rev. D, 870 – 892 (1976). Press, 1969.
- [5] Ulf Leonhardt. Essential quantum optics: From quantum measurments to black holes. Cambridge, 2010.
- [6] R. Tolman. Relativity, thermodynamics and cosmology. Oxford, at the Clarendon Press. First Edition: 1934.
- [7] Detlev Buchholz and Rainer Verch. Unruh versus Tolman: On the heat of acceleration, arXiv:1505.01686v1 [gr-qc] 7 May 2015

ПРИЛОЖЕНИЕ 9.

О черной дыре и информационном парадоксе

Свойства черных дыр и их горизонта событий до сих пор активно обсуждается научным сообществом. Новый импульс, в частности, недавно получила проблема так называемого “информационного парадокса”, казалось бы исчерпанная еще несколько лет назад. Согласно появившимся сообщениям [Камнев, 2013], в ЦЕРНе недавно была даже созвана конференция, специально посвященная этому вопросу. С указанным парадоксом тесно связаны гипотезы о структуре горизонта черной дыры и дуализм описания падающего в ЧД тела в двух различных системах отсчета – удаленной и жестко связанной с падающим телом.

В данной публикации излагаются аргументы, согласно которым ни вышеупомянутого дуализма, ни информационного парадокса в действительности не существует.

1. Дуализм описания падения массивной частицы в ЧД

Как известно, в системе отсчета удаленного от ЧД наблюдателя падающая на ЧД частица “замедляет” свое падение и в конечном счете как бы “застывает” на горизонте событий, никогда не пересекая его. В то же время, при переходе в систему координат Крускала, охватывающую все пространство-время (а не только область вне ЧД) падающая частица беспрепятственно продолжает свое движение внутрь ЧД и, в конечном счете, достигает центральной сингулярности. Возникает “наивный” вопрос: как совместить оба описания?

Для разрешения этой ситуации Сасскинд [Susskind, 2008] выдвинул концепцию “комплементарности” ЧД, подобную общему принципу дополнительности Бора. В данном случае речь идет о том, что верны (имеют место) *сразу обе* картины (ср. рис. 1а и 1б). Дело в том, что различие между ними физически не могло бы быть установлено никаким общим “супернаблюдателем” *из-за наличия горизонта*.

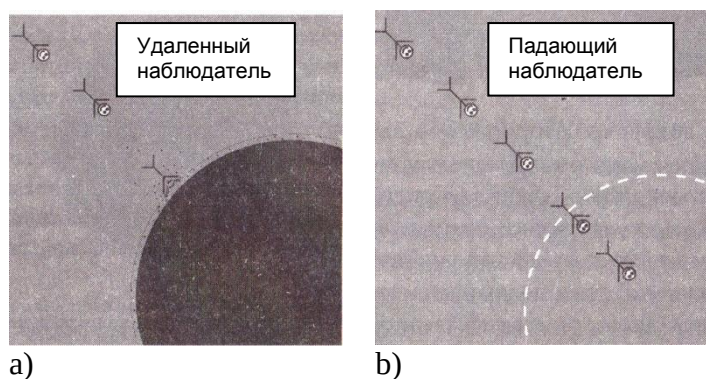


Рисунок 1 [Susskind, 2008].

Однако при всей элегантности такого решения я полагаю, что оно просто излишне. Оказывается, на самом деле падение частицы под горизонт физически невозможно!

Мое собственное исследование [Шульман, 2009], основанное на известных результатах ОТО, выявило интригующую картину того, что происходит при образовании черной дыры при сжатии материального шара конечных размеров (т.е. не точечным). В качестве критерия близости к состоянию коллапса было принято отношение ρ/ρ_0 , где ρ – фактическая плотность шара, ρ_0 – критическая плотность, при которой наступает гравитационный коллапс.

Вдали от режима коллапса давление внутри материального шара *строго положительно* и плавно спадает от центра к периферии шара. Однако при дальнейшем сжатии такого объекта, перед самым коллапсом (но еще до его наступления, при $\rho/\rho_0 \sim 0.7025$) возникает принципиально новая ситуация: распределение давления внутри объекта полностью изменяется. В самом центре шара давление изменяет знак и становится *отрицательным*, а затем скачкообразно меняет знак на положительный, причем разрыв давления при таком скачке оказывается бесконечным с обеих сторон). По мере дальнейшего приближения к состоянию коллапса (приближения ρ/ρ_0 к 1) этот биполярный разрыв *вытесняется* от центра ЧД к ее периферии; в пределе (при наступившем коллапсе) этот разрыв давления оказывается как раз на горизонте ЧД и должен стать *непреодолимым барьером* для любого тела, обладающего конечной кинетической энергией и пытающейся попасть внутрь 3-мерной сферы (*под поверхность*).

2. Редукция размерности

Этот факт побудил меня предложить радикальную концепцию для описания ЧД в нашей Вселенной. Она предполагает, что в результате гравитационного коллапса на границе ЧД происходит *изменение топологии* пространства – само физическое пространство исчезает, как таковое, внутри ЧД, и черная дыра сводится к *граница между внешней и внутренней областями, т.е. приобретает размерность 2 вместо 3* (т.е. происходит редукция размерности³⁹).

Такой вывод в действительности оказывается далеко не столь неожиданным, как можно было бы думать. С 70-х годов прошлого века в теории ЧД принята так называемая “мембранная парадигма”. В соответствии с ней для *внешнего* наблюдателя горизонт событий ЧД выглядит как *двумерная физическая мембрана из вязкой жидкости* с определенными механическими, электрическими и термодинамическими свойствами (см., например, [Новиков и Фролов, 1986]). При этом основные свойства мембраны определяются ее поверхностным гравитационным и электрическим зарядами. Действительно, *механическая* форма мембраны (горизонта событий ЧД) достигает динамического равновесия в результате взаимодействия между поверхностным давлением, гравитацией и центробежными силами. *Электродинамические* свойства ЧД проявляются в полном сходстве между мембраной и электропроводящей сферой, а форма силовых линий электрического поля, создаваемого заряженной частицей вблизи горизонта невращающейся черной дыры совпадает с формой силовых линий этой проводящей поверхности. С *термодинамической* точки зрения площадь мембраны ведет себя подобно энтропии обычного тела, т.е. не уменьшается или растет, но не убывает (теорема Хокинга). Сама мембрана может также быть охарактеризована эффективной температурой, которая пропорциональна поверхностному гравитационному заряду. Наконец, был сформулирован знаменитый *голографический принцип*, согласно которому, как это не звучало парадоксально, вся информация о 3-мерной черной дыре как бы “записана” на ее 2-мерном горизонте событий – как выразился ‘т Хоофт, происходит “редукция размерности”. В 1977 году Малдасена установил изоморфизм этих двух математических миров [Maldacena, 1998].

Заметим, что ранее уже предлагались сходные модели ЧД, не содержащие “внутренней” области и сингулярности в ней [Mazur and Mottola, 2002], [Mathur, 2013]. Граница между внешней Вселенной и ЧД там полагается достаточно тонкой (порядка планковской длины), но конечной.

Я думаю, что представление о двумерности граничной мембраны является не приближенным, а *абсолютно точным*. Вся масса черной дыры оказывается сосредоточенной в этой двумерной области вполне однородным образом, поскольку различий, зависящих от удаленности относительно центра, не будет. Если редукция размерности действительно имеет

³⁹ В близком понимании этот термин первым использовал ‘т Хоофт [Hooft, 1993].

место, то всякая необходимость в гипотезе комплементарности отпадает, а голографический принцип для ЧД вырождается в тривиальное утверждение.

3. Описание “информационного парадокса”

Как известно, в 1975 году С.Хокинг теоретически открыл [Hawking, 1975] существование излучения ЧД с характеристической температурой и *тепловым* спектром. В основе механизма, предложенного Хокингом, лежит утверждение о генерации вблизи горизонта ЧД виртуальных пар частица-античастица, одна из которых может туннелировать под горизонт, тогда как другая становится реальной и излучается во внешнее пространство. Считается, что это излучение приводит к парадоксальной ситуации; так, автор публикации [Anderson, 1996] пишет (перевод мой – МХШ):

Возьмем квантовую систему в чистом состоянии и бросим ее в черную дыру. Подождем некоторое время, пока дыра не испарится и восстановит свою прежнюю массу. Мы начали с чистого состояния поглощаемой системы и исходной массы M черной дыры, а закончили тепловым состоянием излучения Хокинга и черной дырой с той же массой M . Таким образом, мы пришли к процессу, который, по всей видимости, преобразует чистое состояние в *тепловое*. Но весь фокус в том, что тепловое состояние является СМЕШАННЫМ (и описывается в квантовой механике уже матрицей плотности, а не волновой функцией). При преобразовании чистого состояния в смешанное должна теряться информация. Так, в нашем примере мы имеем исходное состояние, которое задается набором собственных значений и коэффициентов, т.е. рядом чисел. Однако оно затем преобразуется в выходное состояние, которое характеризуется лишь одним числом – температурой, т.е. объем выходной информации будет меньше входного. Вся остальная информация окажется потерянной...

На техническом жаргоне черная дыра осуществляет неунитарное преобразование состояния системы. Можно напомнить, что неунитарная эволюция запрещена в квантовой теории, поскольку она нарушает сохранение вероятности; то есть, после неунитарной эволюции сумма вероятностей всех возможных результатов эксперимента может оказаться больше или меньше 1.

Между тем, далее я привожу некоторые аргументы, которые, с моей точки зрения, опровергают существование информационного парадокса.

4. Возражение против механизма излучения Хокинга

Механизм излучения Хокинга предполагает туннелирование одной из пары виртуальных частиц под горизонт событий. Однако, как было отмечено в разделе 1, на “входе” ЧД существует барьер давления (т.е. потенциальный барьер) *бесконечной* высоты, сквозь который никакая частица туннелировать не может. У меня нет оснований сомневаться в существовании теплового излучения ЧД с температурой Хокинга, однако можно предположить совсем другой механизм его возникновения: в гравитационном поле ЧД ее эффективная температура излучения (связанная с напряженностью поля) определяется поверхностным гравитационным зарядом и совпадает с температурой Унру для *произвольного* источника тяготения, а на горизонте непрерывно переходит в температуру Хокинга (см. [Шульман, 2010]). Энтропия ЧД, излучение и температура Хокинга не зависят от возможности проникновения частиц во внутреннюю область ЧД.

5. Когда у ЧД “появляются волосы”

Если даже допустить, что частица или тело может попасть во внутреннюю область ЧД, то и это не приводит к информационному парадоксу. Действительно, очень часто ссылка на теорему “об отсутствии волос” у черной дыры делается без учета обстоятельств, при которых эта теорема выведена. Вот что говорится в книге [Новиков и Фролов, 1986]:

Подытожив результаты многочисленных работ, посвященных возможным конечным состояниям черных дыр, Уилер сформулировал утверждение, состоящее в том, что уединенная черная дыра при переходе в стационарное состояние избавляется в процессе излучения от всех тех характеристик, от которых можно избавиться путем излучения. ...

Уединенная стационарная черная дыра не может быть источником какого-либо *массивного* поля, поскольку для таких полей возможны все моды излучения ... и, согласно гипотезе Уилера, все они должны излучаться при переходе черной дыры в стационарное состояние...

Если в свете указанной цитаты рассмотреть процесс бросания квантовой системы в уединенную ЧД, то становится ясно, что при этом *возмущается стационарность* последней, и она ответит “переходным” излучением, восстанавливая свою стационарность. Ясно также, что это переходное излучение вовсе не обязано иметь отношение к стационарному тепловому излучению Хокинга.

6. Падающая квантовая система *измеряется* внешним полем ЧД

Я убежден, что неунитарная эволюция вовсе не противоречит квантовой механике. Фактически речь идет о том, дает ли квантовая теория только обратимое описание реальности, или это не так.

Начнем с классической механики. Очень часто приходится встречать противопоставление необратимости статистической механики якобы обратимым законам Ньютона, т.е. утверждение о наличии противоречия. Однако, как я думаю, законы Ньютона *не являются необратимыми*. Дело в том, что второй закон обычно приводят в виде

$$F = m\ddot{q}$$

где F - внешняя сила, m - масса, $\ddot{q}$ - ускорение. В таком представлении разумеется, не учитываются никакие силы сопротивления и, соответственно, необратимые потери энергии при движении. Однако, в более общем случае, в данное уравнение следует включать, например, силы трения, тогда получим соотношение вида

$$F = m\ddot{q} + D\dot{q} + \dots$$

которое заведомо уже не будет обратимым. Сила трения – это *реакция* других частей Вселенной на движение рассматриваемой частицы, и при этом происходит именно необратимое *перераспределение* энергии, так что в гамильтониане частицы обязательно появляется член, описывающий необратимые потери.

Более того, квантовые системы в общем случае могут характеризоваться наличием когерентности, а ее утрата – процессом *декогеренции*. Декогеренция происходит, в частности, при взаимодействии частицы с полем, которое “измеряет” состояние частицы [Zurek, 2002]:

Присутствие частицы приводит к возбуждению поля и ее рассеянию. Результирующая “рябь” создает своего рода “запись” ее положения, формы, ориентации и

т.п., и, что наиболее важно, приводит к ее мгновенной локализации... [Уравнение эволюции для матрицы плотности частицы естественным образом] разделяется на три слагаемых, каждое из которых отвечает за различный аспект эффективного поведения в классическом случае. Первое слагаемое – уравнение фон Неймана (которое может быть выведено из уравнения Шрёдингера) – порождает классическую *обратимую* эволюцию ожидаемого значения наблюдаемой. Второе слагаемое приводит к диссипации..., вызванной взаимодействием со скалярным полем; это взаимодействие уменьшает средний импульс и ведет к потере энергии. Последнее слагаемое также имеет классический аналог: оно ответственно за флуктуации, или случайные "толчки", приводящие к броуновскому движению.

Именно влияние *последнего* слагаемого со временем разрушает квантовую когерентность, удаляя *недиагональные члены* матрицы плотности. Таким образом, неправильно думать о системе в *чистом* состоянии, попадающей в *уединенную* ЧД. На самом деле происходит *измерение* падающей системы *полем* ЧД и переход этой системы в *смешанное* (декогерированное) состояние заведомо до попадания в ЧД, при этом не требуется никаких гипотез о структуре горизонта событий ЧД, как это делается, например в [Almheiri et al., 2013], где предполагается, что падающий наблюдатель "сгорает" на горизонте.

7. Может ли удаленный наблюдатель видеть рост ЧД

Я не встречал в литературе обсуждения еще одного сопутствующего вопроса. Учитывая замедление до *бесконечности* распространения информации от горизонта черной дыры до удаленного наблюдателя, последний, казалось бы, в состоянии видеть ЧД *только в первое мгновение* после ее рождения. Это означало бы, что мы *вечно* обречены наблюдать только новорожденные ЧД.

Однако растущие ЧД поглощают большие массы материи, которые, с точки зрения удаленного наблюдателя, стекаются к горизонту событий. С течением времени масса накопившейся там материи становится такой, что и в ближайшей окрестности ЧД плотность материи достигает критической величины, и эта ближайшая окрестность также коллапсирует, т.е. видимый радиус ЧД для удаленного наблюдателя все-таки возрастает.

Благодарность: Я благодарю Ю.А. Лебедева за полезные рекомендации.

Ссылки:

- [Almheiri et al., 2013] Ahmed Almheiri, Donald Marolf, Joseph Polchinski, and James Sully. Black Holes: Complementarity or Firewalls? arXiv:1207.3123v4 [hep-th] 13 Apr 2013
- [Anderson, 1996] Warren G. Anderson. The Black Hole Information Loss Problem. http://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/BlackHoles/info_loss.html
- [Hawking, 1975] S.W. Hawking. Particle creation by black holes. Comm. Math. Phys. 43 (1975) 199.
- [Hooft, 1993] G. 't Hooft. Dimensional reduction in quantum gravity. arXiv:gr-qc/9310026v2 20 Mar 2009
- [Maldacena, 1998] Juan Maldacena. The Large N Limit of Superconformal field theories and supergravity, arXiv:hep-th/9711200v3 22 Jan 1998.
- [Mathur, 2013] Samir D. Mathur. What happens at the horizon? arXiv:1308.2785v1 [hep-th] 13 Aug 2013
- [Mazur and Mottola, 2002] Pawel O. Mazur and Emil Mottola. Gravitational Condensate Stars: An Alternative to Black Holes. ArXiv:gr-qc/0109035v5 27 Feb 2002
- [Susskind, 2008] Leonard Susskind. The black hole war. My battle with Stephen Hawking to make the world safe for quantum mechanics. Back bay books, Little, Brown and Company, 2008. Русский перевод: Леонард Сасскинд. Битва при черной дыре. Мое сражение со Стивеном Хокингом за мир, безопасный для квантовой механики. Изд-во "Питер", 2013.

[Zurek, 2002] Zurek H. Woitech. Decoherence and the Transition from Quantum to Classical. Los Alamos Science, Number 27, 2002. Русский перевод:

В. Зурек. Декогеренция и переход от квантового мира к классическому

http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Zurek.pdf

[Камнев, 2013] Валерий Камнев. По дороге в черную дыру.

http://polit.ru/article/2013/05/18/ps_black-holes/

[Новиков и Фролов, 1986] И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Физика черных дыр. М., Наука, 1986.

[Шульман, 2009] М.Х. Шульман. Коллапс обычный и необычный.

http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Collapse.pdf

[Шульман, 2010] М.Х. Шульман. Энтропия источника поля тяготения.

http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Force_and_entropy_rus.pdf

ПРИЛОЖЕНИЕ 10.

О дискретном изменении времени

Об исследовании А.Н. Морозова

В апреле 2016 года на заседании семинара по проблемам времени в МГУ я услышал интересный и глубокий, с моей точки зрения, доклад зав. кафедрой физики МГТУ А.Н. Морозова [1, 2]. В нем была описана “модель флуктуирующего физического времени”, основанная на предположении, что “время представляет собой пуассоновский случайный процесс с интенсивностью, зависящей от происходящих в природе необратимых процессов”. Этот результат докладчик получил в серии экспериментов с электролитическими ячейками и дал ему теоретическое обоснование, основываясь на зависимости этой интенсивности от производства энтропии в необратимых процессах на Солнце и процессом преобразования солнечного излучения в тепловое излучение Земли.

В модели предполагается, что наблюдаемое физическое время представляет собой пуассоновский случайный процесс $\tau(t)$ со скачками, равными $\tau_0 = 1/\nu_\tau$, где ν_τ – интенсивность пуассоновского процесса (рис. 1).

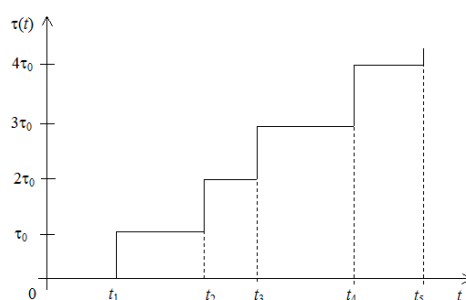


Рисунок 1. Модель дискретного течения времени. График взят из [1, 2]

Подстановка параметров излучения Солнца и его размеров в теоретическом описании приводит А.Н. Морозова к оценке начальной интенсивности флуктуаций физического времени внутри Солнца $\nu_{\tau\odot} \sim 4 \cdot 10^{22} \text{ с}^{-1}$, а при подстановке в последнюю формулу расстояния от Солнца до Земли – к оценке интенсивности флуктуаций физического времени на орбите Земли вокруг Солнца $\nu_{\tau\oplus} \sim 7 \cdot 10^{19} \text{ с}^{-1}$. Эти данные соответствуют экспериментально полученным результатам.

Время дискретно?

Эксперименты А.Н. Морозова, выполненные весьма тщательно и в течение ряда лет, приводят к естественному заключению о возможности *дискретного течения времени*. Эта идея сама по себе не нова и описана в многочисленной литературе, см., например, [3]. Она обратила на себя мое внимание по следующей причине. С 1993 г. мной разрабатывается нестандартная космологическая модель (теория шаровой расширяющейся Вселенной – ТШРВ), основная идея которой сводится к тому, что наша Вселенная является черной дырой в некотором внешнем (объемлющем) 4-мерном мире. Описание и аргументация в пользу этой модели приведены, например, в [4, 5]. В частности, универсальный процесс расширения Вселенной объясняется в этой модели поглощением вещества и энергии из указанного внешнего мира, что приводит к росту массы и строго пропорционального ей радиуса Вселенной ($R=2GM/c^2$), так что радиус Вселенной оказывается референтом ее возраста, подобно годовым кольцам дерева, однозначно определяющим его возраст. В силу эквивалентности массы и энергии в этой модели (довольно

неожиданно) оказывается справедливым и предвидение Н.А. Козырева о том, что “время превращается в энергию” [6].

Не следует думать, что данная модель является только качественной и умозрительной. Она обоснована целым рядом сравнений наблюдательных астрофизических данных с теоретическими расчетами и аргументами как самого автора, так и других исследователей, в подавляющем большинстве случаев лучше соответствуя реальным данным, чем Стандартная Космологическая Модель. Большой вклад в обоснование строгой пропорциональности между радиусом и возрастом Вселенной внес известный космолог профессор Аризонского университета Ф. Мелиа; недавно в [7] он привел прямые результаты измерений динамики красного смещения 30 квазаров за 5 лет, из которых следует, что производная по времени от величины их красного смещения равна нулю (это значит, в частности, что ускоренное расширение Вселенной является мифом).

Итак, в ТШРВ течение времени в нашей Вселенной, связывается с поглощением энергии и материи извне. Такой процесс, с моей точки зрения, подразумевает, что время в нашей Вселенной течет тогда и постольку, когда и поскольку растет ее радиус вследствие поглощения “внешнего материала”, а в паузах течение времени как бы “замораживается”.

Однако доклад А.Н. Морозова натолкнул меня на элементарную мысль, что поглощаемые “порции” этого материала не обязательно следует рассматривать как бесконечно малые и равные между собой. Напротив, естественно предположить, что они являются *конечными* и *разными* по размеру и/или объему энергии и, скорее всего, формируют именно пуассоновский поток.

При этом, вместе с течением времени, согласно ТШРВ растет масса не только Вселенной в целом, но и (пропорционально) каждого ее объекта в отдельности. Это означает, что возникают различные по величине “скачки” массы – значительные у галактик и звезд, меньшие у планет, малосущественные у объектов гораздо меньших размеров⁴⁰. За счет этого могут возникать несколько разномасштабных физических факторов, что может усложнить характер временных флуктуаций в различных областях пространства.

К сожалению, пока не представляется возможным как-то теоретически оценить в рамках ТШРВ интенсивность потока флуктуаций времени, найденное А.Н. Морозовым – для этого необходимо было бы знать плотность материи, окружающей извне нашу Вселенную. С другой стороны, очевидно, что эта плотность должна быть достаточно велика, и оценка $\sim 10^{20} \text{ с}^{-1}$ кажется вполне приемлемой. Если другие эксперименты подтвердят эту оценку, то можно поставить обратную задачу и попытаться определить плотность нашего окружения. Любопытно, впрочем, отметить, что умножив предполагаемую интенсивность флуктуаций физического времени $\sim 10^{20} \text{ с}^{-1}$ на возраст Вселенной $\sim 10^{17} \text{ с}$, можно получить безразмерную величину, достаточно близкую к так называемому “очень большому числу” Дирака 10^{40} .

Ссылки

- [1] Морозов А. Н. Модель флуктуирующего физического времени: теория и эксперимент. доклад на семинаре по проблемам исследования времени 19.04.2016. <http://www.chronos.msu.ru/ru/rretrospective/item/rspring16>
- [2] Морозов А. Н. Теоретические и экспериментальные исследования флуктуаций физического времени. // Радиооптика. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 01. С. 35–61. DOI: 10.7463/rdopt.0116.0832516 <http://radiooptics.ru/doc/832516.html>
- [3] Вьяльцев А.Н. Дискретное пространство-время. Изд-во КомКнига, 2006. С. 400 http://eknigi.org/nauchno_populjarnoe/89256-diskretnoe-prostranstvo-vremya.html
- [4] Шульман М.Х. Альтернативная космология. http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Alt_cosmology.pdf

⁴⁰ Напомним, что масса Солнца составляет 10^{30} кг, а масса Земли $5 \cdot 10^{24}$ кг, т.е. различие составляет примерно 5.5 порядков.

[5] Шульман М.Х. Природа времени и равномерное расширение Вселенной

http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Universe_expansion_rus.pdf

[6] Козырев Н.А. Избранные труды. Ленинград, Издательство ЛГУ, 1991.

[7] Melia Fulvio. Definitive Test of the $R_h = ct$ Universe Using Redshift Drift. ArXiv:1608.00047v1 [astro-ph.CO] 29 Jul 2016

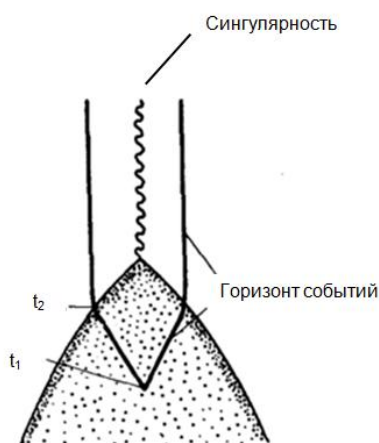
ПРИЛОЖЕНИЕ 11.

Рождение черных дыр, причинность, нелокальность

Более 100 лет прошло с появления основополагающей статьи Эйнштейна и открытия законов теории относительности, в том числе – парадокса часов. Однако, по нашему мнению, многие ученые до конца так и не осознали, что это имеет революционное значение не только для механики и кинематики, но и для других важнейших разделов в физики. Наша публикация посвящена анализу парадоксальных ситуаций при рождении черных дыр, концепции дальнодействия и близкодействия в области квантовых явлений, теории электромагнитного поля и гравитации. Благодаря такому анализу более ясным становится соотношение локальных и глобальных феноменов.

1. Парадокс рождения черной дыры

В своей замечательной книге [1] ее автор описывает захватившую в свое время С. Хокинга идею рассматривать *абсолютный* (absolute) горизонт событий при рождении черной дыры (ЧД) наряду с *видимым* (apparent) горизонтом. Абсолютный горизонт событий – это граница между событиями, от которых *еще* могут распространяться сигналы во внешнюю Вселенную, и событиями, которые *уже* не могут послать никаких сигналов во внешнюю Вселенную.



Видимый горизонт событий – это наиболее удаленные от центра сколлапсировавшей звезды точки, в которых световые лучи улавливаются ЧД и возвращаются обратно в сингулярность. Видимый горизонт событий внезапно возникает там, где радиус звезды сжимается до критического предела – гравитационного радиуса.

Используя введенную Фinkelштейном [2] “сопутствующую” систему отсчета (по вертикали – время, по горизонтали – пространство), физики смогли уточнить картину коллапса (рис. 1).

Рисунок 1. Диаграмма коллапса звезды в черную дыру

В момент возникновения ($t=t_1$) абсолютный горизонт формируется в центре звезды и представляет собой всего лишь одну точку [3]. Поверхность сжимающейся звезды за конечное собственное время достигает сферы Шварцшильда ($t=t_2$, $r=r_g$), при этом внезапно возникает *видимый* горизонт событий.

Затем вещество стремительно стягивается в точку ($r=0$), причем длительность этого процесса составляет $1,54 \cdot 10^{-5} (M/M_\odot)$ с, где M – масса коллапсирующей звезды, $M_\odot$ – масса Солнца [4]. В результате внутри сферы Шварцшильда возникает черная дыра – пространственно-временная область, из которой никакие сигналы не уходят на пространственную бесконечность [3].

Принято считать, что имеет место следующий парадокс: расширение абсолютного горизонта событий начинается *до того*, как черная дыра поглощает оболочку (момент t_1). Он расширяется *в ожидании* поглощения оболочки, сразу после этого приходит в состояние покоя (момент t_2) и выходит на поверхность звезды *точно* в тот момент, когда поверхность сжимается до критического предела. Иными словами, когда вещество падает внутрь черной дыры,

абсолютный горизонт начинает расти (*следствие*) до того, как вещество достигает дыры (*причина*) [3]. В философской терминологии это – *телеологическое* определение.

Положение горизонта событий в данный момент времени зависит от всей *последующей эволюции системы*. Если, например, образование абсолютного горизонта событий начинается в момент t_1 , а в момент t ($t_1 < t < t_2$) произойдет взрыв коллапсирующей звезды, то это может привести к тому, что видимый горизонт событий не образуется вовсе [3]. Вообще структура областей внутри ЧД решающим образом зависит от судьбы ЧД в бесконечном будущем внешнего наблюдателя – от конечного состояния испарения ЧД, от возможных столкновений ЧД с другими ЧД, от судьбы самой Вселенной. Ясно, что теоретики чувствуют себя весьма неуютно в таких обстоятельствах [5].

В стандартной физике граничные условия должны задаваться в некоторый начальный момент или в бесконечном прошлом. Но это не так для случая горизонта дыры, поскольку он зависит от процессов в будущем, от области пространства-времени, которая лежит в будущем по отношению к источнику сигнала. Это выглядит так, как если бы ЧД жила во времени, которое течет в противоположном направлении: из будущего в прошлое. В этом случае изменение размера горизонта выглядит очень естественным и причинно обусловленным [5].

2. Причинность и время в теории относительности

Обратимся теперь к известной диаграмме событий в координатах Минковского (рис. 2). Поместим наблюдателя (и акт события) в начало координат и рассмотрим произвольное другое 4- событие.

- Если это другое 4-событие расположено *внутри* светового конуса, то 4-мерный интервал между этими событиями оказывается *действительным*, он называется *временеподобным*.
- Если это другое 4-событие расположено *на самом* световом конусе, то 4-мерный интервал между этими событиями оказывается *равным нулю*, он называется *светоподобным*.
- Если это другое 4-событие расположено *вне* светового конуса, то 4-мерный интервал между этими событиями оказывается *мнимым*, он называется *пространственноподобным*.

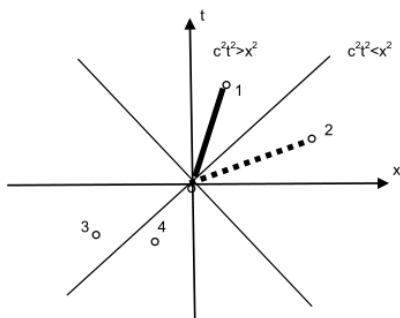


Рисунок 2. Диаграмма событий в пространстве-времени Минковского

События 1 и 4, лежащие внутри светового конуса, проходящего через начало координат, *могут* быть связаны с началом координат причинно-следственным взаимодействием, т.е. между ними *может* однонаправленно передаваться информация и/или энергия.

События 2 и 3, лежащие вне светового конуса, проходящего через начало координат, *не могут* быть связаны с началом координат причинно-следственным взаимодействием, т.е. между ними *не может* однонаправленно передаваться информация и/или энергия.

Особым случаем, по нашему мнению, является ситуация, когда одно или несколько событий расположено непосредственно на световом конусе, проходящем через начало координат. Этот случай обычно принято рассматривать как предельный частный случай существования причинно-следственных связей между событиями (например, световой сигнал дистанционно запускает действие некоторого устройства). Однако такая связь имеет смысл лишь для *неподвижного* наблюдателя, для которого “причина” (эмиссия фотона источником

света) предшествует “следствию” (поглощению фотона датчиком). Для самого же фотона, как хорошо известно из теории относительности, время полета обращается в нуль. Понятие *временной* причинно-следственной связи фактически утрачивает смысл и должно быть заменено понятием корреляционной связи.

В статье [6] мы указывали, что переход от причинно-следственного взаимодействия между событиями внутри светового конуса (времениподобный 4-интервал) к некоторому взаимовлиянию между событиями, разделенными световым конусом (светоподобный 4-интервал) может описываться переходом от аperiodических процессов к *строго периодическим* процессам. При таком переходе (в среднем) исчезает *направленная* во времени передача информация и/или энергии взаимодействия, хотя среднеквадратичное значение этой энергии оказывается больше нуля, т.е. взаимовлияние двух событий имеет место, хотя ни одно из них в определенном смысле не может быть ни причиной, ни следствием другого.

С “точки зрения фотона” его эмиссия источником и поглощение датчиком – это *не два* отдельных события, а одно, они одновременны в том смысле, что ни одно из них не может предшествовать другому. В этой связи нам кажется неправомерным слишком формальное рассмотрение светоподобных горизонтов, которые якобы могут простираются до *временной* бесконечности. По нашему мнению, даже в пространственно-бесконечной модели Вселенной акты распространения фотонов (и любых частиц, движущихся в вакууме со скоростью света) всегда следует рассматривать как пары скоррелированных событий (излучение – поглощение), что в значительной степени лишает физической содержательности рассуждения, относящиеся к *бесконечной будущей* истории.

Что же касается вышеописанного парадокса коллапсирующей звезды, мы считаем уместным привести следующий комментарий. Не только видимый горизонт событий уже сформировавшийся черной дыры (при $t > t_2$), но и еще только формирующийся абсолютный горизонт (при $t_1 < t < t_2$) также является светоподобным. Варианты эволюции в данном случае *альтернативны* и не могут предшествовать один другому. Поэтому, как справедливо отмечают авторы [3], в случае, например, взрыва звезды между моментами t_1 и t_2 было бы принципиально неверно говорить о *существовании* черной дыры в этот период.

3. Светоподобные интервалы и квантовая нелокальность

Замечательным образом высказанные представления можно перенести на квантовые явления, связанные с их так называемой нелокальностью.

В широко известной статье [7] цитируется замечательная по глубине мысль Хьюго Тетроде⁴¹ [8]:

Солнце не излучало бы, если бы где-либо не нашлось тела, способного поглотить это излучение ... Например, если я вчера наблюдал с помощью телескопа звезду, удаленную, скажем, на 100 световых лет, то не только я знаю, что испущенный ею 100 лет назад свет достиг моего глаза, но также и звезда или ее отдельные атомы уже 100 лет назад знали, что я, который даже еще не существовал тогда, вчера вечером увижу этот свет в такое-то время.

Но как удаленная звезда может “знать”, где и когда в будущем будет зарегистрирован испущенный ею фотон? С нашей точки зрения, это яркий пример проявления нелокальности. Авторы статьи [7], стремясь обосновать тезис Тетроде, предложили схему “мгновенного” (прямого межчастичного) взаимодействия электронов со всеми возможными будущими поглотителями испускаемого ими излучения. Эта идея, в частности, позволяет легко вывести т.н. “радиационное затухание” излучателя, но при этом использует довольно громоздкие представления о комбинации опережающих и запаздывающих волн. С нашей точки зрения

⁴¹ Хьюго Мартин Тетроде (1895 – 1931) – голландский физик, работавший в области статистической физики и квантовой теории.

можно рассматривать прямое межчастичное взаимодействие (дальнодействие) как одно из проявлений эффекта нелокальности.

Ярким примером нелокального квантового взаимодействия является так называемый “галактический” мысленный парадокс Уилера [9]. Пусть удаленный квазар испускает фотон, миллиарды лет летящий к Земле. По дороге этот фотон огибает огромную галактику, которая и является причиной искривления пути фотона. В конечном счете свет попадает на вход установленного на Земле телескопа, снабженного интерферометром Маха-Цендера (рис.3).

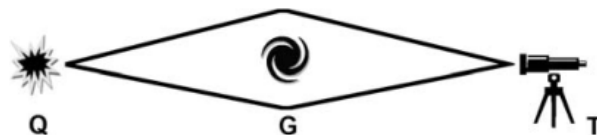


Рисунок 3. Свет от удаленного квазара Q огибает массивную галактику G и попадает на вход установленного на Земле телескопа T, снабженного интерферометром Маха-Цендера.

На входе телескопа помещают интерферометр Маха-Цендера, в котором можно убирать (или не убирать) входной 50% светоделитель, в результате чего не будет (или будет) наблюдаться интерференция⁴². Во втором случае нет способа выяснить, по какому именно пути прошли фотоны огибая галактику, т.е. они будут интерферировать; в первом – информация о выборе фотонами одной из возможных траекторий не пропадает, и интерференция исчезнет. Суть парадокса состоит в том, что выбор между интерферирующим и неинтерферирующим поведением осуществляется в самое *последнее мгновение*, когда фотон *уже пролетел* отведенные ему миллиарды лет путешествия [4]. Этот эффект можно рассматривать как проявление нелокальности – как может излучаемый фотон заранее “знать”, будет ли введен светоделитель?

Мы рассматривали парадокс Уилера в лабораторной системе отсчета, в которой время движения между стартом и финишем было больше нуля, так что эмиссию фотона можно было рассматривать как (логическую) “причину”, а его последующее поглощение – как (логическое) “следствие”. Однако *собственное* время движения фотона равно нулю. Поэтому момент старта фотона, покидающего квазар, и момент финиша, когда он проходит или (не проходит) через светоделитель на входе телескопа – это *один и тот же момент* его собственного времени (мировая линия движения фотона светоподобна). И формально нет никакого противоречия в утверждении, что фотон “выбрал” – вести ли ему себя как частица или как волна – ровно в *тот же момент времени*, в который наличие или отсутствие светоделителя в телескопе заставило его сделать этот выбор. Согласно теории относительности, подобный парадокс не только возможен, но и неизбежен.

В квантовой механике хорошо известен феномен так называемого “отложенного выбора”. Соответствующая парадигма в виде мысленного эксперимента была предложена Дж. Уилером. Целью было исследование дуалистического (корпускулярно-волнового) поведения квантовых частиц, и ряд этих экспериментов впоследствии с успехом был осуществлен на практике (см. обзор [10]). С одной стороны, экспериментатор мог легко варьировать конфигурацию эксперимента так, чтобы “навязывать” квантовой частице корпускулярный или волновой сценарий поведения, что проявлялось в отсутствии или наличии интерференции на выходе интерферометра. С другой стороны, парадоксальным образом казалось возможным делать этот выбор “отложенным”, т.е. осуществлять его “задним числом” после завершения самого эксперимента, что немедленно порождает естественные вопросы о нарушении причинности и связанных с этим парадоксах.

Наш анализ, однако, показал [6], что во всех схемах экспериментов с “отложенным выбором” возникающие недоразумения связаны с тем, что эксперименты описываются в

⁴² Вводимый светоделитель играет роль “квантового ластика”, т.к. после его прохождения фотоном принципиально нет возможности определить путь, который фотон проделал до этого.

лабораторных системах отсчета, когда наблюдатель движется со скоростью меньше скорости света в вакууме. Однако мировые линии фотонов (и даже элементарных частиц, обладающих массой, как бы это ни казалось парадоксальным, см. [6]) светоподобны и определяют не причинно-следственную, а корреляционную связь между событиями. Эти рассуждения легко распространяются на явление квантовой телепортации, парадокс Эйнштейна – Подольского – Розена (ЭПР), объединение концепций дальнего действия и ближнего действия в теории электромагнитного поля.

В классической физике основоположниками концепции ближнего действия обычно считают Декарта и Фарадея. При этом подразумевается, что

- взаимодействия передаются через особых материальных посредников,
- такие взаимодействия осуществляются с конечной скоростью.

Напротив, принято считать, что, согласно концепции дальнего действия, тела должны действовать друг на друга

- без материальных посредников (через “пустоту”) на любом расстоянии,
- такие взаимодействия осуществляются с бесконечно большой скоростью.

Теоретические исследования выявили определенные сложности в теориях, использующих концепцию дальнего действия, поэтому современные подходы чаще основываются на парадигме ближнего действия.

С нашей точки зрения, противопоставление двух упомянутых концепций не имеет под собой незыблемого основания. В самом деле, когда говорят о взаимно удаленных телах, имеют в виду наличие произвольно большого разделяющего их *3-мерного* расстояния. Однако еще раз стоит напомнить очевидный факт, что такая мера удаленности имеет относительный характер – эта мера может стать сколь угодно малой, если рассматривать эту же конфигурацию двух тел не в лабораторной, а в быстро движущейся системе отсчета.

Другие примеры нарушения причинности в квантовых экспериментах рассмотрены в работах [14-17].

4. Нелокальность и гравитация

Как уже было отмечено, в теории электромагнитного поля хорошо известна и доведена до развитого количественного уровня идея свести локальное взаимодействие между частицами к глобальному взаимодействию частицы с окружающей Вселенной – это теория прямого (“мгновенного”) межчастичного *электромагнитного* взаимодействия (теории поглотителя) [7, 11]. Данная теория восходит к идее Фоккера, согласно которой обычный *вектор-потенциал* электромагнитного поля представляет собой не что иное, как сумму “*мгновенных*” влияний на пробный заряд со стороны всех остальных зарядов Вселенной.

Эту идею вполне естественно попытаться распространить на гравитационное поле. Подобная попытка описана, в частности, в публикации [12]. Однако ее автор, следуя принципу Маха, пытался в виде аналогичной суммы представить *массу* пробной частицы, так что величина массы при этом оказалась бы зависящей от состава Вселенной.

Нам подобный подход представляется методически неверным, т.к. *вектор-потенциал* играет роль, аналогичную удельному (на единицу заряда) *импульсу* (а не массе). Чтобы увидеть это, рассмотрим описание электрически заряженной частицы в электромагнитном поле (см. [13]).

Действие для системы “частица + поле” содержит три слагаемых. Первое слагаемое отвечает механическому движению частицы в отсутствие поля, второе слагаемое – взаимодействию заряженной частицы с полем, а третье зависит только от самого поля.

Если не учитывать вклад третьего слагаемого, то влияние поля на инерциальные свойства движения частицы приводит к тому, что к энергии частицы алгебраически добавляется слагаемое $e\varphi$ (e – заряд, φ – скалярный электрический потенциал поля), а вместо механического импульса $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ следует ввести обобщенный импульс, т. е. производную от функции Лагранжа по скорости $\mathbf{P} = \mathbf{p} + e\mathbf{A}/c$ ($\mathbf{A}$ – вектор-потенциал поля, c – скорость света).

Таким образом, выражение для *обобщенного импульса* содержит *два равноправных* слагаемых, одно из которых обусловлено *механической* компонентой инерции, а другое – *электромагнитной* компонентой. Учитывая, что вектор-потенциал есть величина, ротор которой равен вектору магнитного поля, мы видим прямое подтверждение тому, что поток магнитного поля электрической системы играет роль, аналогичную механическому импульсу частицы.

Если мысль рассматривать именно вектор-потенциал в качестве суммы влияний на пробный заряд всех остальных зарядов Вселенной конструктивна, и если вектор-потенциал и механический импульс частицы равноправным образом суммируются в соответствующих физических уравнениях, то возникает вполне естественная мысль: и *механический импульс частицы следует рассматривать как сумму механических влияний на пробную частицу всех остальных частиц Вселенной!* Эта идея – вполне в духе принципа Маха – оказывается тривиально верной, поскольку обобщенный импульс пробной частицы в сумме с импульсом всех остальных частиц Вселенной всегда дает одну и ту же сохраняющуюся величину (если Вселенную рассматривать как замкнутую систему), т.е. непосредственно выражается через эту сумму.

При таком подходе в сумме, представляющей обобщенный импульс

$$\mathbf{P} = m\mathbf{v} + e\mathbf{A}/c,$$

роль вектор-потенциала $\mathbf{A}$ (деленного на скорость света), как нетрудно заметить, оказывается вполне аналогичной роли вектора скорости частицы $\mathbf{v}$, а роль электрического заряда e – роли гравитационного заряда m . Симметричная роль гравитационного и электрического зарядов в феномене инерции подтверждается и полной аналогией в выражениях для напряженности поля от заряда, вытекающих из закона Кулона и закона всемирного тяготения.

Можно думать, что именно сохранение обобщенного импульса и является обоснованием представления Фоккера о вектор-потенциале как о сумме вкладов отдельных взаимодействий.

Далее, рассмотрим часто возникающую при обсуждении принципа Маха модель Вселенной, содержащую только одну частицу (с электрическим зарядом или без него). Для такой модели следствие закона сохранения обобщенного импульса особенно ясно, а изменение импульса частицы – просто запрещено, т.к. взаимодействовать одинокой частице не с чем.

Вместе с тем, электромагнитное взаимодействие ограничено в пространстве из-за взаимной компенсации электрических зарядов противоположного знака, тогда как силы тяготения действуют не только в пределах звездных систем и Галактик, но и в масштабе Метагалактики. Современные космологические модели прямо учитывают это обстоятельство, оперируя радиусом кривизны Вселенной, который связывается со средней плотностью материи в ней.

Целостность Вселенной, пронизанной глобальным гравитационным полем, признается также в термодинамике при объяснении ее (Вселенной) “аномальных” энтропийных свойств. В обычном газе в земных условиях, где гравитационным взаимодействием можно пренебречь, *существует молекулярный хаос, ибо нет корреляции в движении даже между ближайшими “соседями”*. Напротив, в космологических системах каждая часть “чувствует” не несколько ближайших соседей, а всю систему целиком, все другие части. Поэтому гравитирующую систему нельзя даже мысленно разбить на невзаимодействующие (т.е. независимые) части, а значит, в ней очень сильно нарушается термодинамическая аддитивность, так что она не может быть описана обычной больцмановской термодинамикой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kip S. Thorne. *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. – New York City: W.W. Norton Publishers. 1994. Pp. 619. Рус. перевод: Кип С. Торн. Черные дыры и складки времени: Дерзкое наследие Эйнштейна. М.: Издательство физико-математической литературы, 2007. С. 616.
- [2] D. Finkelstein. Past-Future Asymmetry of the Gravitational Field of a Point Particle. *Phys. Rev.*, **110**, 965 (1958)
- [3] И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Физика черных дыр. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986, с. 328
- [4] C.W. Misner, K.S. Thorne. *Gravitation*, vol. 3. San-Fransisco, 1973. Рус. пер.: Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер. Гравитация, т.3. М.: Мир, 1977.
- [5] И.Д. Новиков, В.П. Фролов. Черные дыры во Вселенной. УФН, том 171, № 3. С. 307 - 324.
- [6] A.V. Belinsky, M.H. Shulman. A possible origin of quantum correlations. *Journal of Russian Laser Research*, Vol. 38, № 3, 2017 230-240
- [7] J.A. Wheeler, R.P. Feynman. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation, *Reviews of Modern Physics*, **17**, 156, (1945).
- [8] Tetrode. *Zeits. f. Physik* 10, 317 (1922).
- [9] J.A. Wheeler, 1984, in *Quantum Theory and Measurement*, ed. J. A. Wheeler and W. H. Zurek (Princeton University Press).
- [10] X. Ma et al. Quantum erasure with causality disconnected choice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **110**, 1221-1226 (2013)
- [11] Владимиров Ю.С., Турыгин А.Ю. *Теория прямого межчастичного взаимодействия*. Москва, Энергоатомиздат, 1985.
- [12] Дж. В. Нарликар. *Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна*, пер. с английского. В книге *Астрофизика, кванты и теория относительности*, М., Мир, 1982.
- [13] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Курс теоретической физики, том II. *Теория поля*. Москва, Наука, 1967. С. 460.
- [14] Белинский А.В. О нарушении причинности в квантовых экспериментах. Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. **2018** № 3, с. 14-25. Belinsky A.V. On the Violation of Causality in Quantum Experiments. *Moscow University Physics Bulletin*. 2018 **73**, № 3, p. 252-262.
- [15] Белинский А.В. О возможном нарушении причинности как альтернативе информационной интерпретации квантовой теории. Ученые Записки Физического Факультета МГУ, **2017** № 3, с. 173001-1-173001-6.
- [16] Белинский А.В. О нарушении причинности. Пространство, время и фундаментальные взаимодействия, 2017, № 3(20), с. 68-75
- [17] Белинский А.В. О нарушении причинности в экспериментах с фотонами. *Метафизика*, 2017 № 3(25), с. 71-93.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [Barger et al., 2008] A. J. Barger, L. L. Cowie, W.-H. Wang. A HIGHLY COMPLETE SPECTROSCOPIC SURVEY OF THE GOODS-N FIELD. ArXiv:0812.2481v1 [astro-ph] 12 Dec 2008
- [Bekenstein, 2003] Jacob D. Bekenstein. Black holes and information theory. ArXiv:quant-ph/0311049v1 9 Nov 2003
- [Bersanelli et al., 2002] Bersanelli, D. Maino and Mennella. Anisotropies of the Cosmic Microwave Background. arXiv:astro-ph/0209215 v2 27 Sep 2002].
- [Bunn and Hogg, 2009] Bunn, E. F., Hogg, D. W. 2009, AmJPh, 77, 688 (BH9)
- [DeGraf et al, 2012] C. DeGraf, T. Di Matteo, N. Khandai, R. Croft. Growth of early supermassive black holes and the high-redshift Eddington ratio distribution. arXiv:1201.5383v1 [astro-ph.CO] 25 Jan 2012
- [Chodorowski, 2011]. Michał J. Chodorowski. The kinematic component of the cosmological redshift, arXiv:0911.3536v3 [astro-ph.CO] 8 Mar 2011
- [Dunkley et al., 2008] Dunkley et al. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Likelihoods and Parameters from the WMAP data. ArXiv:astro-ph/0803.0586v1 5 Mar 2008
- [Good, 2006] Michael R.R. Good. Thermalizing the Vacuum. Available at: <http://www.unc.edu/~mgood/research/Unruh.pdf>. Русский перевод “Нагревая вакуум” доступен по ссылке:
http://timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Thermalizing_the_vacuum.pdf
- [Hagihara, 1931] Y. Hagihara – Jap. J. Astr. Geoph., 1931, v. 86, p.67.
- [Hobbs et al., 2012] A. Hobbs, C. Power, S. Nayakshin & A. King. Modelling supermassive black hole growth: towards an improved sub-grid prescription. arXiv:1202.4725v1 [astro-ph.IM] 21 Feb 2012
- [Egan and Lineweaver, 2009] Ch. Egan and Ch. Lineweaver. A larger estimate of the entropy of the universe. ArXiv:0909.3983v1 [astro-ph.CO] 22 Sep 2009. См. русский перевод “Увеличенная оценка энтропии Вселенной” по ссылке
http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Universe_entropy.pdf
- [Feynman, 1965] R.P. Feynman, The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics, Nobel Lecture, December 11, 1965. Preprint les Prix Nobel en 1965. The Nobel Foundation. Stockholm, 1966. УФН, Январь 1967 г., т. 91, вып. 1. Нобелевские лекции по физике 1965 г. Ричард Фейнман. Развитие пространственно-временной трактовки квантовой электродинамики. Перевод И. М. Дрёмина.
- [Greene, 2004] Brian R. Greene. The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality. Random House, Inc., New York, 2004. Русский перевод: Брайан Грин. Ткань космоса: Пространство, время и структура реальности. УРСС, М., 2006
- [Gron and Braeck, 2009] Gron O. and Braeck S. A cosmic solution to the twin paradox. arXiv:0909.5364v1 [gr-qc] 29 Sep 2009. См. русский перевод “Космическое решение парадокса близнецов” по ссылке
www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Cosmic_twin_paradox.pdf
- [Kaufman, 1977] William Kaufman. The cosmic frontiers of General Relativity. Little Brown & Co (T), 1977. Русский перевод: Уильям Кауфман. Космические рубежи теории относительности. М., “Мир”, 1981. Главы из книги доступны по ссылке :
<http://www.astronet.ru/db/msg/1174703/kaufman-toc.html>
- [Komatsu et al., 2010] Komatsu et al. Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation. ArXiv: 1001.4538v2 [astro-ph.CO] 12 Feb 2010
- [Lee, 2009] Jae-Weon Lee. Are galaxies extending? arXiv:0805.2877v4 [astro-ph] 1 Oct 2009.

[**Lemaître, 1927**] G. Lemaître. Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques. Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, Vol. 47, p. 49, April 1927.

См. русский перевод: Ж. Лемэтр. Однородная Вселенная постоянной массы и возрастающего радиуса, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей, www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Lemaitre_1927_rus.pdf

[**Lopez-Corredoira, 2010**] Lopez-Corredoira M. Angular size test on the expansion of the Universe. arXiv:1002.0525v1 [astro-ph.CO] 2 Feb 2010. Реферат на русском языке “Угловой размер как тест расширения Вселенной” доступен по ссылке:

www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Galaxies_angle_size.pdf

[**Longair, 2008**] Malcolm S. Longair. Galaxy Formation. Second Edition. 2008. Springer-Verlag.

[**Mazur and Mottola, 2002**] Pawel O. Mazur and Emil Mottola. Gravitational Condensate Stars: An Alternative to Black Holes. ArXiv:gr-qc/0109035v5 27 Feb 2002

[**Melia, 2012**] Fulvio Melia. Cosmological Redshift in FRW Metrics with Constant Spacetime Curvature, arXiv:1202.0775v1 [astro-ph.CO] 3 Feb 2012 См. реферат на русском языке по ссылке www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/1202_0775v1_redshift_rus.pdf

[**Myung et al., 2010**] Yun Soo Myung, Hyung Won Lee, and Yong-Wan Kim. Entropic force versus temperature force. arXiv:1006.1922v1 [hep-th] 9 Jun 2010. Русский перевод “Температурная сила взамен энтропийной силы” доступен по ссылке:

http://timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Temperature_force.pdf

[**Porcelli and Scibona, 2010**] Fernando Porcelli and Giancarlo Scibona. On the Black Hole's Thermodynamics and the Entropic Origin of Gravity. Arxiv: 1011.0895. См. реферат на русском языке: Порцелли и Чибона. “О термодинамике черных дыр и энтропийном происхождении гравитации” по ссылке

http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/1011_0895_Entropy_from_gravity.pdf

[**Samtleben et al., 2008**] Dorothea Samtleben, Suzanne Staggs and Bruce Winstein. The Cosmic Microwave Background for Pedestrians: A Review for Particle and Nuclear Physicists, arXiv:0803.0834v1 [astro-ph] 6 Mar 2008

[**Smolin, 1994**] Lee Smolin. The fate of black hole singularities and the parameters of the standard models of particle physics and cosmology. ArXiv:gr-qc/9404011v1 7 Apr 1994

[**Spergel et al., 2003**] D. N. Spergel et al. First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters. ArXiv: astro-ph/0302209v3

[**Steidel et al., 2004**] Steidel, C. C., Shapley, A. E., Pettini, M., Adelberger, K. L., Erb, D. K., Reddy, N. A., & Hunt, M. P. 2004, ApJ, 604, 534

[**Verlinde, 2010**] Erik Verlinde. On the Origin of Gravity and the Laws of Newton. arXiv:1001.0785v1 [hep-th] 6 Jan 2010. Русский перевод “О природе тяготения и законов Ньютона” доступен по ссылке http://timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Gravity_and_entropy.pdf

[**Wayne Hu and Dodelson, 2002**] Wayne Hu and Scott Dodelson. Cosmic Microwave Background Anisotropies. Annu. Rev. Astron. and Astrophys. 2002. ArXiv: 0110414v1

[**Wayne Hu, 2008**] Wayne Hu. Lecture Notes on CMB Theory: From Nucleosynthesis to Recombination. arXiv:0802.3688v1 [astro-ph] 25 Feb 2008

[**Weinberg, 1972**] Weinberg S., Gravitation and Cosmology: Principles and applications of the General Theory of Relativity, John Wiley and Sons, Inc., 1972. Русский перевод: Вейнберг С. Гравитация и космология: принципы и приложения общей теории относительности. М, "Мир", 1975.

[**Wheeler and Feynman, 1945**] Wheeler J.A., Feynman R.P. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation, Reviews of Modern Physics, **vol. 17**, numbs. 2 and 3, p. 157-181 (1945)

[**Wheeler and Feynman, 1949**] Wheeler J.A., Feynman R.P. Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action, Reviews of Modern Physics, **vol. 21**, numb. 3, p. 425-433 (1949)

[**Анисович, 1996**] Анисович К.В. *Общая теория относительности с учетом принципа Маха*. Гравитация, т.2., вып. 1, 1996, М., с. 38-64

- [Буссо, 2007] Raphael Bousso. TASI Lectures on the Cosmological Constant. arXiv:0708.4231v2 [hep-th] 11 Sep 2007
- [Вайнберг, 2000] Вайнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. Москва. Издательство РХД. 2000.
- [Вессон, 2003] Wesson, P.S., Mod. Phys. Lett. A19 (2004) 19952000, gr-qc/0309100).
- [Зельдович, Новиков, 1975] Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. *Строение и эволюция Вселенной*. Москва, Наука, 1975.
- [Клапдор-Клайнгротхаус, Цюбер, 2000] H.V.Klapdor-Kleingrothaus, K.Zuber *Teilchenastrophysik*. B.G. Teubner GmbH, Stuttgart, 1997. Русский перевод: Клапдор-Клайнгротхаус Г. В., Цюбер К. *Астрофизика элементарных частиц*. Москва, Редакция журнала "Успехи физических наук", 2000
- [Козырев, 1991] Козырев Н.А. *Избранные труды*. Ленинград, Издательство ЛГУ, 1991.
- [Ландау и Лифшиц, 1967] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теория поля*. Москва, Наука, 1967.
- [Ландау и Лифшиц, 1976] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика. Часть 1*. Москва, Наука, 1976.
- [Левич, 1989] Левич А.П. Метаболическое время естественных систем. Академия наук СССР. Всесоюзный НИИ системных исследований. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1988. Издательство "Наука", М., 1989. Доступно по ссылке: http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/levich_sistemnye.djvu
- [Левич, 2003] Левич А.П. Метаболический и энтропийный подходы в моделировании времени. Доступно по ссылке: http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/levich_metabolichesky/levich_metabolichesky.htm
- [Левич, 2004] Левич А.П. Почему выполняются экстремальные принципы для энтропии и времени? В сб.: Пространство и время: физическое, психологическое, мифологическое. М.: КЦ "Акрополь". 2004. С. 87-94. Доступно по ссылке: http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/levich_pochemu.htm
- [Линевивер и Дэвис, 2005] Ч. Линевивер и Т. Дэвис. Парадоксы Большого Взрыва. "В мире науки", М., 2005. Доступно по ссылке: <http://www.sciam.ru/article/2629/>
- [Логунов, 1988] Логунов А.А. *Новые представления о пространстве, времени и гравитации*. Международный ежегодник "Наука и человечество", 1988.
- [МакКри и Милн, 1934] W. H. McCrea and E. A. Milne, "Newtonian universes and the curvature of space," Q. J. Math. Oxford 5, 73–80 (1934), reprinted in Gen. Relativ. Gravit. 32 (9), 1949–1958 (2000).
- [Милн, 1934] E. A. Milne, "A Newtonian expanding universe," Q. J. Math. Oxford 5, 64–72 (1934), reprinted in Gen. Relativ. Gravit. 32 (9), 1939–1948 (2000).
- [Новиков и Фролов, 2001] Новиков И.Д., Фролов В.П. Черные дыры во Вселенной. УФН, том 171, № 3. Март 2001 г. С. 307-324
- [Новиков и Фролов, 1986] Новиков И.Д. и Фролов В.П. *Физика черных дыр*. Москва, Наука, 1986.
- [Нэйв Р., 2003] Nave R, HyperPhysics, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>
- [Палаш, 1999] Palash B. Pal. *Determination of cosmological parameters: an introduction for non-specialists*. arXiv:hep-ph/9906447 v1 22 Jun 1999 Доступно по ссылке http://xxx.lanl.gov/PS_cache/hep-ph/pdf/9906/9906447.pdf
- Русский перевод: Определение космологических параметров: введение для неспециалистов доступен по ссылке http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Palash.pdf
- [Паули, 1947] Паули В. *Теория относительности*. Москва-Ленинград, ОГИЗ, 1947.
- [Пригожин, Стенгерс, 1994] И.Пригожин, И.Стенгерс. *Время, хаос, квант*. Москва, Прогресс, 1994.

- [Перлмутер, 1999] Saul Perlmutter, Lawrence Berkeley Laboratory 50-232, University of California. *High Redshift Supernova Search, Supernova Cosmology Project* Доступно по ссылке <http://panisse.lbl.gov/>
- [Постнов] Постнов К.А. Лекции по общей астрофизике для физиков //11.4 Реликтовое излучение и эпоха рекомбинации. Доступно по ссылке: <http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1170612/node60.html>
- [Рисс, 2004] Riess, A.G., et al., 2004a, ApJ, 600, L163
- [Рубаков, 2007] Рубаков В.А. Темная материя и темная энергия во Вселенной. <http://elementy.ru/lib/25560/25567>
- [Сажин, 2002] Сажин М.В. *Современная космология в популярном изложении*. Москва, Издательство “Едиториал УРСС”, 2002.
- [Сажин] Сажин М.В., *Теория относительности для астрономов*. ГАИШ, Москва. Доступно по ссылке <http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1170927>
- [Толмен, 1934] Richard C. Tolman. *Relativity, Thermodynamics And Cosmology*. Oxford, Clarendon Press, 1934. Русский перевод: Толмен Р. *Относительность, термодинамика и космология*. Москва, Наука, 1974.
- [Тэйлор и Уилер, 1971] Э. Ф. Тейлор, Дж. А. Уилер, *Физика пространства-времени*. 2-е изд., Москва, Мир, 1971
- [Фридман, 1922] Фридман А.А. *О кривизне пространства*. В сб. “Альберт Эйнштейн и теория гравитации”, Москва, Мир, 1979
- [Фролов, 2010] Виталий Фролов. А расширяется ли наша Вселенная? “Техника молодежи”, №8, 2010. См. http://www.technicamolodezhi.ru/rubriki_tm/0/2206
- [Хокинг, 1990] Хокинг С. *Краткая история времени. От большого взрыва до черных дыр*. Москва, Мир, 1990.
- [Чернин, 2008]. Чернин А.Д. *Темная энергия и всемирная антигравитация*, УФН, том, 178, № 3, март 2008 г. с. 267-299.
- [Шаров, Новиков, 1989] Шаров А.С., Новиков И.Д. *Человек, открывший взрыв Вселенной. Жизнь и труд Эдвина Хаббла*. Москва, Наука, 1989.
- [Шульман, 2003] Шульман М.Х. *Теория шаровой расширяющейся Вселенной*. Москва, Едиториал УРСС, 2003.
- [Шульман, 2004] Шульман М.Х. *Вариации на темы квантовой теории*. Москва, Едиториал УРСС, 2004. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_quantum/Variations.pdf
- [Шульман, 2005] Шульман М.Х. *Логика и парадоксы времени*. Доступно по ссылке: http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/shulman_logika.pdf
- [Шульман, 2006] Шульман М.Х. *Парадоксы, логика и физическая природа времени*. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Origin.pdf
- [Шульман, 2007а] Шульман М.Х. *Коллапс обычный и необычный*. 2007. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Collapse.pdf
- [Шульман, 2007б] Шульман М.Х. *Космология: новый подход*. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/New_approach.pdf
- [Шульман, 2007в] Шульман М.Х. *О реальности существования выделенной системы отсчета*. 2007. Доступно по ссылке: www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/selected_frame_rus.pdf
- [Шульман, 2007г] Шульман М.Х. *О проблеме пониженной светимости сверхновых*. 2007. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/svetimost.pdf
- [Шульман и Рэффел, 2008] Шульман М.Х., Рэффел Г. *О феномене старейших реликтовых фотонов*. 2008. Доступно по ссылке: www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Oldest_photons_rus.pdf

- [Шульман, 2009а] Шульман М.Х. Время и космологический метаболизм. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/Time_and_metabolism_rus.pdf
- [Шульман, 2009б] Шульман М.Х. Время и черные дыры. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Time_and_BH_rus.pdf
- [Шульман, 2009в] Шульман М.Х. Время, энтропия и Вселенная. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/Time_and_entropy_rus.pdf
- [Шульман, 2009г] Шульман М.Х. Парадокс близнецов и абсолютная система отсчета. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Twins_and_abs_frame_rus.pdf
- [Шульман и Рэффел, 2010] Шульман М.Х., Рэффел Г. Об эволюции угловых размеров галактик. Доступно по ссылке: http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/angle_size_evolution_rus.pdf
- [Рэффел и Шульман, 2010] Рэффел Г., Шульман М.Х. О распределении числа галактик в зависимости от величины красного смещения. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Galaxy_distr_rus.pdf
- [Шульман, 2010а] Шульман М.Х. Расширение Вселенной и главный пик спектра фонового космического излучения. Доступно по ссылке: http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Main_peak_rus.pdf
- [Шульман, 2010б] Шульман М.Х. Энтропия источника поля тяготения. Доступно по ссылке: http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/Force_and_entropy_rus.pdf
- [Шульман, 2011а] Шульман М.Х. Природа времени и равномерное расширение Вселенной. См. http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/Universe_expansion_rus.pdf
- [Шульман, 2011б] Шульман М.Х. Может ли Вселенная не быть черной дырой? См. http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Universe_must_be_bh_rus.pdf
- [Эйнштейн, 1916] Эйнштейн А. *Основы общей теории относительности*. В сб. “Альберт Эйнштейн и теория гравитации”, Москва, Мир, 1979
- [Эйнштейн, 1917] Einstein A. Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss., 1917, 1, 142-152.
Русский перевод: Эйнштейн А. Вопросы космологии и общая теории относительности. Собрание научных трудов в 4-х томах, Наука, М., 1965, том 1, с. 601–612.
- [Эйнштейн, 1953] Эйнштейн А. *Сущность теории относительности*. Москва, ИЛ, 1955.
- [Ям, 2004] Ям Филлип. *Повсеместный Эйнштейн*. “В мире науки”, № 12, 2004, с.30-35