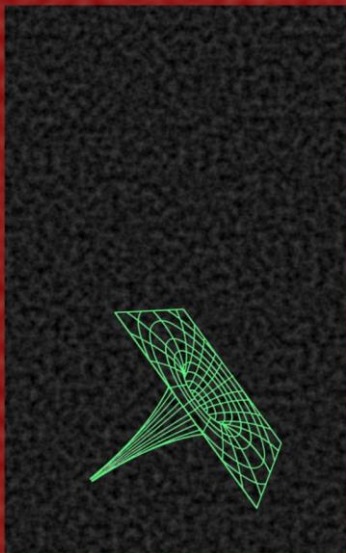




П.В.Путенихин Млечный Путь и темная материя



Путенихин Петр Васильевич

Млечный путь и темная материя

Белые пятна Черных дыр

Догмы
квантовой механики — миф
о неравенствах Белла

г.Саратов,
Типография "АМИРИТ"
2017 год

ББК 22.313ф, 22.314ф, 22.62ф, 22.67

УДК 521.1, 52-54, 53.01, 530.145.1, 530.12, 530.16, 531.51, 539

Путенихин П.В.

П90 Млечный Путь и темная материя. — Саратов: "АМИРИТ", 2017. — 213 с., цв. илл.
ISBN 978-5-9500075-6-9

Наблюдения за звездами в галактиках выявили несоответствие между массой галактик и скоростями входящих в них звёзд. Для объяснения противоречия выдвинута гипотеза о темной материи, масса которой в несколько раз превышает массу всех звезд галактики. Но анализ измеренных кривых вращения, графика распределения скоростей звезд галактики, показывает, что с ними она не может сохранить существующую структуру рукавов. Объяснить это влиянием темной материи невозможно.

Считается, что каждая галактика имеет в центре Черную дыру, которую физики в результате теоретических исследований наделили различными экзотическими свойствами. Например, даже свет не может покинуть её. Но многие из выводов физиков сомнительны: детальные расчеты выявляют в них противоречия.

В книге также рассмотрены квантовые неравенства Белла, ставшие в физике, по существу, догмой. Квантовая механика вступает в непримиримое противоречие со специальной теорией относительности, которую запутанность вынуждает делать противоречивые предсказания и нарушать причинность.

Книга ориентирована на читателя, интересующегося вопросами космологии, теории относительности и квантовой механики, и имеющего некоторые представления об этих областях. Но главная аудитория — это профессиональные астрономы, космологи и физики.

© П.В.Путенихин, 2017

putenikhin.peter@gmail.com

ISBN 978-5-9500075-6-9

© Типография "АМИРИТ", 2017

Оглавление

Изгибы Млечного Пути.....	5
Введение	5
1. Темные основания темной материи Млечного Пути	6
2. Наблюдаемая кривая вращения.....	10
3. Кеплеровская кривая вращения	20
4. Кривая вращения твердого тела.....	38
5. Парадокс создателя	46
6. Образование рукавов галактики.....	51
7. Образование рукавов с наблюдаемой кривой вращения	58
8. Образование спиральной структуры пульсара	62
Белые пятна Черных дыр	64
1. Парадоксы космологической сингулярности	64
Как в теории относительности возникает сингулярность	69
Гипотеза о вырожденном фермионном газе	73
Процессы, происходящие сразу после коллапса	81
Как выглядит рождение Черной дыры на анимации.....	91
2. Как убежать из-под горизонта Черной дыры.....	93
3. Путешествие под горизонт Черной дыры с возвратом	105
4. Минимальный размер Черной дыры с сингулярностью.....	114
Вращение Черной дыры для внешнего наблюдателя.....	118
Еще один способ убежать из-под горизонта Черной дыры....	119
Испарение Черной дыры.....	120
5. О некоторых особенностях горизонта событий	121
6. О количестве информации на горизонте Черной дыры.....	126
7. Информационный парадокс горизонта событий.....	135
8. Динамические диаграммы Пенроуза для Черной дыры	139
Диаграммы Пенроуза для коллапса Черной дыры	144
Критика "потустороннего мира" на диаграммах Пенроуза	147
Заключение и выводы	158
Догмы квантовой механики: миф о неравенствах Белла.....	160
Какие они, неравенства Белла?	164
Вероятностная интерпретация квантовой механики.....	166
Парадокс ЭПР	172
Статья Белла.....	176
Как выглядят неравенства Белла в оригинале?	178
Сущность нелокальности и локального реализма.....	180
Как "работают" неравенства Белла	182

Немного о зависимых и независимых событиях	187
Анализ квантово-механических аргументов.....	193
Квантовая механика против СТО.....	199
Литература Изгибы Млечного Пути.....	203
Литература Белые пятна Черных дыр.....	204
Литература Догмы квантовой механики	208

Изгибы Млечного Пути

Введение

Известна такая шуточная задачка с подковыркой. Спрашивают, как правильно написать: пять плюс семь будет одиннадцать или одиннадцать? Обычно отвечающий не замечает хитрость и добросовестно приводит правильное написание числа – одиннадцать. Но пять плюс семь будет двенадцать!

Как ни странно, но эта шуточная задачка на самом деле не такая уж и легкомысленная. Если присмотреться, то в науке довольно часто усиленно выискивают правильные ответы на неправильно заданные вопросы. Заметить подмену понятий зачастую довольно сложно, и исследователи находят какие-то более или менее приемлемые ответы. К одному из таких "как правильно" можно, несомненно, отнести открытие, связанное с так называемыми кривыми вращения галактик, в частности, кривую вращения звезд нашей галактики – Млечного Пути. Эта кривая описывает графически распределение скоростей звезд галактики, находящихся на соответствующих удалениях от её центра. По сути, движение звезд является классической задачей небесной механики, основы которой были заложены ещё Кеплером и которая в настоящее время является общепризнанной, рабочей теорией. Выводы, законы Кеплера позволяют с максимальной точностью вычислять траектории движения любых небесных тел, предсказывать время появления периодически движущихся комет, астероидов, описывать траектории, орбиты движения планет, спутников и тому подобного. Однако, астрономы обнаружили однажды заметное отклонение в движении этих космических тел от законов, предписываемых им небесной механикой. И здесь возникло, но теперь уже не как шутка, то самое "как правильно". Пытаясь определить причину отклонения движения тел от законов Кеплера, никто так и не заметил, что такое движение само по себе является нелогичным, поскольку возникает несогласованность между видимой формой галактик и их кривыми вращения.

Принято считать, что кривая вращения звезд Млечного Пути имеет вид, отличающийся от кеплеровской кривой, вследствие воздействия на них темной материи. Но гипотеза о темной материи не устраняет противоречий самих наблюдаемых кривых вращения. Не

имеет значения, по какой причине звезды движутся именно таким образом - само такое движение является парадоксальным. Исследование наблюдаемой кривой вращения звёзд Млечного Пути приводит к некоторым неожиданным выводам. С такой кривой вращения рукава галактики, какими сегодня мы их себе представляем, могли возникнуть только при крайне сомнительных условиях. Другими словами, исследователи пытаются объяснить причину некоторого явления, которое само по себе не может иметь места, и, возможно, вообще не существует.

Предлагаемая книга посвящена описанию этих противоречий. В процессе исследования, для визуализации их были использованы анимации, которые отчетливо показывают, как неестественно ведут себя скопления звёзд в рукавах галактики Млечный Путь, если считать, что они движутся по общепринятым законам. Компьютерные анимации исследуемых процессов размещены на облачных интернет-ресурсах [3]. На этих анимациях галактика показана в различные моменты её эволюции. Однако, сами анимации – это всего лишь инструмент, наглядная демонстрация. Для понимания и описания процессов они нужны как источник конкретных, единичных статических иллюстраций, которые в данной книге приведены в достаточно полном объеме.

1. Темные основания темной материи Млечного Пути

Космологические исследования характера движения звёзд Млечного Пути, наблюдательная астрономия выявили его особенности, объяснить которые в рамках современных физических теорий: механики Ньютона, теории относительности Эйнштейна оказалось невозможным. Движение звёзд заметно отличалось от предписываемых им законами Кеплера, полной массы галактик было недостаточно для его описания. Разрешить противоречие, решить эту проблему попытались привлечением новой субстанции – темной материи. Дополнительная масса этой невидимой материи, как предполагалось, и приводит к наблюдаемым отклонениям.

Суть этих отклонений, выявленных особенностей движения состоит в том, что скорости движения звёзд галактики не подчиняются законам небесной механики. Измеренные скорости не обеспечивают стабильного состояния и форму галактики. Распределение скоростей звёзд, выражаемое в кривой вращения, таково, что галак-

тика должна попросту распасться. Кривой вращения звёзд галактики называют график скоростей, отображающий тангенциальную скорость звезды (то есть, перпендикулярную к радиусу вращения) в зависимости от её удалённости от центра галактики (рис.2.2).

С другой стороны, принято считать, что Млечный Путь и все другие галактические образования стабильны на протяжении достаточно длительного периода времени, превышающего, по всей видимости, несколько оборотов её внешней части. Из этого делается вывод, что на своих орбитах в составе галактики звёзды удерживаются этой дополнительной субстанцией – темной материей.

Хотя сущность этой субстанции совершенно неясна, тем не менее, считается, что проблема решена хотя бы в принципе, и теперь остаётся только найти эту темную материю. Но это лишь в первом приближении. Почему-то в предложенной модели осталось без внимания одно крайне важное обстоятельство. Та кривая вращения, которая сформирована на основе астрономических наблюдений, не отвечает основному предположению – стабильности галактики. Если звёзды, образующие рукава Млечного Пути, движутся приблизительно с теми скоростями, которые формируют наблюдаемую кривую вращения, то рукава галактики не могут быть стабильны даже на протяжении весьма короткого времени – двух и даже только одного оборотов галактики. Другими словами, с измеренной кривой вращения форма рукавов галактики не может быть такой, какой мы их себе представляем.

Впервые несоответствие ньютоновой механике скоростей движения галактик в скоплениях исследовал в 1933 году Цвики, наблюдавший движение галактик в скоплении Кома. Он заметил, что для движения галактик с измеренными скоростями общей массы скопления недостаточно. За недостающей массой, в несколько раз превышающей массу скопления, закрепилось название "темная материя". Позднее, в 1980 году это же явление в масштабах галактик подробно исследовала астроном Вера Рубин. В галактиках также не доставало общей массы, чтобы звёзды в них двигались с измеренными скоростями. При вычисленных массах галактик и измеренных скоростях звёзд в этих галактиках звёзды не могли оставаться на наблюдаемых орбитах, они должны были вылететь за пределы галактики. При этом была обнаружена интересная закономерность. Независимо от удалённости звёзд от центра галактики, за исключением лишь ближайших к нему, их скорости вращения оста-

вались приблизительно одинаковыми. Эти скорости, описываемые кривыми вращения, заметно отличались от предсказываемых законами Кеплера и общей теорией относительности. Для устранения расхождения наблюдений и вычислений была выдвинута гипотеза о наличии в галактиках, как и в их скоплениях, такой же скрытой, невидимой массы, "темной материи". Эта материя обладает весьма специфическими свойствами. Она не излучает, не отражает и не поглощает свет, поэтому визуально не наблюдаема. Но она оказывает на видимое вещество заметное гравитационное влияние. При всей странности этой субстанции, в пользу её существования, тем не менее, говорят многие косвенные явления.

Гипотеза о темной материи устроила не всех, что, по понятным причинам, не удивительно – в науке так принято. Поэтому предпринимались попытки объяснить явление отклонения кривых вращения от кеплеровских без привлечения этой "темной" гипотезы. Например, была разработана модифицированная ньютоновская динамика – МОНД. Но её решения оказались не универсальными – для каждой галактики требовалась своя модификация. Другая теория - анизотропная геометродинамика Сипарова – смогла описать некоторые наблюдаемые отклонения от кеплеровского движения, но и она имеет пробелы. Например, высказываются замечания, что она не способна описать движение галактик, состоящих только из темной материи и галактик, не содержащих перемычки.

Таким образом, в научном мире, что называется большинством голосов, в настоящее время принято считать, что темная материя позволяет наиболее полно привести в соответствие теорию и наблюдения. Главной задачей сейчас стало обнаружение частицы, образующей темную материю. В частности, в качестве таких частиц рассматриваются вимпы – массивные слабо взаимодействующие частицы, для регистрации которых созданы различные подземные измерительные лаборатории.

Тем не менее, гипотеза о темной материи не устраняет противоречий самой своей первопричины – наблюдаемых кривых вращения. Независимо от причин формирования таких кривых, они парадоксальны сами по себе. В научно-популярных фильмах, на анимациях вращающиеся галактики изображаются фактически как твердое тело. Это означает, что угловые скорости вращения всех входящих в них звезд равны. Но кривые вращения, то есть, график линейных (тангенциальных) скоростей, показывает, что эти скорости

не соответствуют одинаковой угловой скорости. Угловая скорость для периферийной её части равна примерно 300 млн. лет на один оборот и 100 млн. лет на один оборот для перемычки и ближайших к ней звёзд. Кроме этого, на различных динамических, анимированных изображениях галактик направление их вращения показывают как в сторону направления рукавов, так и в обратном направлении. В одном случае рукава галактик должны закручиваться всё сильнее (как бы наматываться на центр галактики), в другом – раскручиваться, распрямляться.

Можно предположить, что изображаемые картины галактик являются мгновенными снимками в их истории, поэтому явно не указывают на их прошлое и будущее состояния. А измеренные скорости звёзд соответствуют текущему моменту времени и мало что говорят о своих прошлых или будущих значениях. Поэтому говорить о динамике их движения можно лишь с некоторой долей уверенности. Исходя из этого, можно утверждать, что с измеренными кривыми вращения галактики (и, видимо, их скопления) не могут двигаться как твердое тело. Действительно, если скорости звёзд, близких к центру галактики или удалённых от него, равны, то их угловые скорости явно разные. За полный оборот звезды на краю галактики вокруг её центра, ближняя к центру должна совершить большее число оборотов. То есть, галактика должна либо закручивать рукава, либо распрямлять их в зависимости от направления вращения. При этом собственно противоречие, парадокс состоит в том, что устойчивая форма рукавов оказывается заметно менее продолжительной, чем даже период вращения галактики.

Для обоснования использованной методики проведенных исследований следует вспомнить как аналогию, что возраст Вселенной, "дата" её возникновения были вычислены по уравнениям общей теории относительности на основании того, что она расширяется. Следовательно, если повернуть время вспять, Вселенная будет сжиматься и через какое-то время она обязательно сожмётся в точку. Это время, необходимое для сжатия в точку и было принято за время существования Вселенной.

Такой приём ретроспективного развития, обратного движения во времени – хорошо логически обоснованный приём. Поэтому при рассмотрении вращения галактик вполне естественно рассмотреть их историю по аналогии в такой же ретроспективе. При этом можно ожидать, что рукава спиральной галактики должны распрямиться.

Рассмотрим аналитически такое ретроспективное вращение галактики Млечный Путь на анимациях и приведем здесь из них отдельные кадры. Также рассмотрим, какой вид имела галактика в определенные моменты своего существования, задавая различные формы кривой вращения.

2. Наблюдаемая кривая вращения

Для прямых наблюдений форма галактики нам не доступна. Известное в литературе изображение формы галактики Млечный Путь, если смотреть на её плоскость, получено на основе косвенных астрономических наблюдений. Выглядит наша галактика в таком ракурсе как показано на следующем рисунке.

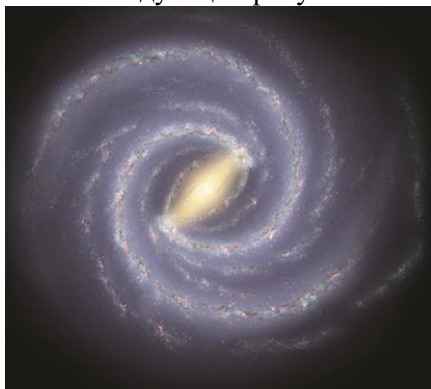


Рис.2.1 Карта галактики Млечный Путь [1]

Галактика имеет четыре четко выраженные спиральные структуры – рукава галактики. Степень их закрученности, или, так сказать, намотанности на центральную область, не превышает одного оборота или 360 градусов. Каждому рукаву или его элементу присвоены собственные имена: рукав Лебеда, рукав Персея и другие. В центре галактики заметны два яркие вытянутые образования – балджи (или бары, перемычки). Если присмотреться, то можно также заметить, что с достаточной точностью все рукава начинаются из этих балджей. В литературе указывается, что внешние размеры галактики, её диаметр составляет примерно 100 000 световых лет, а диаметр внутренней структуры – порядка 30 000 световых лет. Известны также приблизительные периоды вращения внешней и внутренней структур галактики. Собственно кривая вращения га-

лактики Млечный Путь, построенная на основе астрономических наблюдений, имеет вид рис.2.2. Сплошной линией на графике показана результирующая, сглаженная кривая вращения. Можно отметить, что изображенная кривая вращения отчетливо имеет Г-образную форму. Это значит, что, начиная с удалённости от центра галактики около 0,5 кпс и до её крайних точек ок. 16 – 18 кпс, скорости звёзд с относительно небольшим разбросом группируются вблизи значения порядка 230 км/сек. Если точнее, то разброс скоростей звёзд на периферии галактики находится в пределах 200-260 км/сек, или порядка плюс-минус 10% от среднего значения.

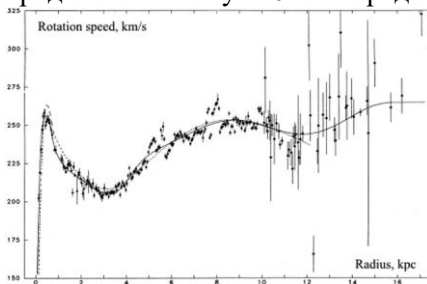


Рис.2.2 Кривые скоростей вращения звёзд Млечного Пути [8, 12].

Радиусы траекторий звёзд (удалённости от центра) на графике представлены в килопарсеках, а периоды обращения обычно указываются в миллионах лет, то есть пропорции несколько "разносортовые", поскольку орбитальная скорость вращения приводится в километрах за секунду. Пересчитаем орбитальные скорости звёзд в соответствующие единицы – парсеки за 1 млн. лет. Несложные расчеты показывают, что с точностью до 2% скорость в км/сек в числовом выражении в точности равна скорости в парсеках за 1 миллион лет, то есть, шкалы (оси) кривой скорости имеет в точности такой же вид, если на вертикальной оси скоростей будет указана единица измерения 1 пс/млн.лет.

В разных источниках можно найти остальные параметры движения галактики Млечный Путь. В том числе, период одного оборота периферийной части галактики равен примерно 300 млн. лет и 100 млн. лет перемычки и ближайших к ней звёзд. Причем из этих данных сразу же следует очевидный вывод: рукава должны изменять степень своей закрутки, причём в пределах менее чем одного оборота периферийной части.

Действительно, при рассмотрении графика нетрудно обнаружить, что такой разброс скоростей, вернее, такой незначительный разброс скоростей, непосредственно ведёт к парадоксальным выводам. Простой взгляд на кривую вращения позволяет сделать вывод: при равной скорости звёзд внутренние проделают свой путь по окружности быстрее внешних и, следовательно, увеличат степень загиба рукавов.

Это, конечно, поверхностная, беглая оценка движения звёзд. Но она послужила толчком для более объективной, аналитической оценки кривой вращения и поведения во времени формы рукавов. Для такой оценки мы принимаем некоторые исходные данные как неизменные, учитывая два главных обстоятельства. Первое: кривая вращения звёзд галактики имеет форму, представленную на рисунке в виде сглаженной кривой, то есть, мы принимаем её как допустимо точную. Второе: кривая вращения должна быть стабильной хотя бы на протяжении нескольких оборотов внешней структуры. Трудно представить себе условия, при которых скорости звёзд постоянно изменяются, тем более, если такое изменение носит случайный характер.

Кроме этого, мы опираемся на законы Ньютона, Кеплера и общей теории относительности. Наличие или отсутствие темной материи как причины формирования той или иной кривой вращения в данном случае не рассматривается, поскольку нас интересуют именно визуальные проявления вызванных темной материей или чем-либо ещё кинематических характеристик движения звёзд.

За начальные расчетные параметры принимаем общепризнанные значения кинематических величин вращения галактики: размеры галактики и её элементов, их периоды и направление вращения (по часовой стрелке). Они широко представлены в интернете. И хотя в разных источниках они имеют несколько отличающиеся значения, эти различия в целом мало влияют на итоговый результат, на поведение анимации. Для анализа также нам необходимо аппроксимировать форму рукавов галактики аналитическими или табличными функциями, чтобы можно было математически изменять их форму в разные моменты времени и создавать анимации.

Действительно, исследовать поведение каждой звезды в отдельности не имеет смысла, поскольку нас, вообще-то, интересует форма рукавов. По этой же причине изображать для анимации галактику Млечный Путь с высокой детализацией нет особой необхо-

димости. Нас будет интересовать качественный вид движения групп звёзд в рукавах галактики. Движение каждой звезды в отдельности для нас не представляет интереса. Поэтому звёзды в галактике мы изобразим укрупненно, как они сгруппированы в рукава. Такой способ изображения галактики не редкость. В интернете можно найти, например, изображения рис.2.3.

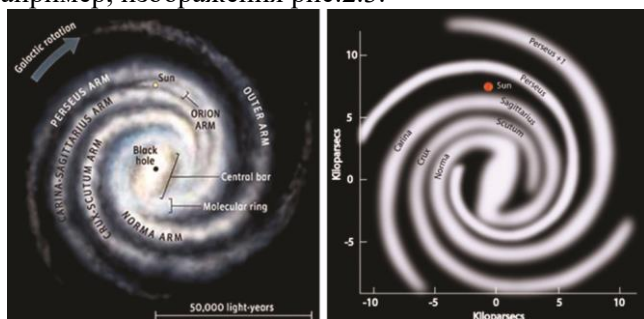


Рис.2.3 Изображение галактики Млечный Путь в виде укрупненных структур.

На рисунке галактика изображена в двух вариантах в виде укрупненных структур – скоплений звёзд галактики в 4 рукава и перемычку, балдж. Левый рисунок из [13], правый - из [2].

По аналогии с ними мы создаем такую же структуру в аналитическом, табличном виде. Суть процесса состоит в определении координат каждой точки осевых (средних) линий рукавов и записи этих координат в таблицу. Координаты определялись самым простым образом. В графическом редакторе открываем изображение галактики и короткими штрихами рисуем на нем осевые линии рукавов. Координаты начала и конца этих штрихов и являются искомыми данными. Следует заметить, что такой способ аппроксимации формы рукавов, хотя и трудоемкий и субъективный, но он, тем не менее, отражает форму рукавов наиболее точно. Данные получены "на глазок", с высокой погрешностью, но все они более соответствуют форме рукавов. Последующая обработка таблицы также несколько сложнее обработки функциональных зависимостей, но это всё выполняется автоматически, программными средствами.

На следующем рисунке представлено схематичное изображение рукавов и перемычки галактики Млечный Путь, построенное по полученной таблице оцифровки изображения галактики. За основу

этого схематичного изображения галактики, её математической модели, взята правая часть рис.2.3.

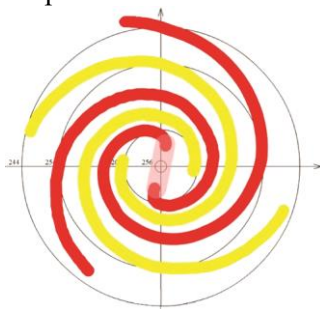


Рис.2.4 Схематичное изображение галактики Млечный Путь в виде укупренных структур. Кадр из анимации [3]

Для удобства на модели противоположные рукава раскрашены одинаково: красным – Norma-Perseus+1 и Sagittarius-Carina, желтым – Scutum-Crux и Perseus. При необходимости на рисунках будет показано время от настоящего момента. Рисунок представляет собой первый кадр анимации - галактика Млечный Путь, как она выглядит в наши дни. Элементы галактики – рукава и перемычка – изображены схематично с соблюдением насколько возможно масштабов. Четырьмя окружностями отмечены дистанции от центра галактики, на которых кривая вращения имеет локальные экстремумы (два минимума и два максимума). Значения соответствующих экстремумам скоростей указаны рядом с ними. Теперь простыми вычислениями для очередного кадра анимации мы можем изменить положение каждой точки рукавов галактики, в соответствии с её скоростью, согласно кривой вращения и времени движения. Время изменяем плавно от текущего момента – в прошлое или в будущее. Каждое из таких вычислений позволяет получить координаты всех точек рукавов для очередного кадра будущей анимации.

Алгоритм вращения математической модели состоит из нескольких шагов. Сам рисунок (кадр анимации) строится в декартовых координатах, но вращение для удобства осуществляется в полярных координатах. Для этого:

1. Из сформированной при аппроксимации рукавов таблицы выбираем последовательно координаты каждой точки рукава – x_i, y_i .

2. Вычисляем радиус-вектор R_i , то есть, удалённость точки от центра вращения (центра галактики). Если координаты точек рука-

вов заданы уравнениями, то радиус-вектор вычисляется непосредственно по этим уравнениям.

3. По значению радиус-вектора R_i из таблицы скоростей кривой вращения выбираем соответствующую скорость v_i . Поскольку таблица аппроксимирована относительно длинными отрезками прямых, точное значение скорости определяется как пропорциональное среднее между значениями на концах соответствующего отрезка, в который попадает значение скорости v_i .

4. Определяем смещение вдоль окружности конца радиус-вектора R_i согласно направлению и полученной из таблицы скорости – произведение скорости v_i на время, прошедшее от начала отсчета. Это значение складываем вдоль дуги с исходным значением дуги – удалённости от начального положения конца радиус-вектора, получая полное значение пути-дуги по траектории движения точки рукава (по её окружности).

5. По значению длины дуги определяем угол ϕ_i поворота радиус-вектора от начального положения.

6. По вычисленным углу поворота ϕ_i и длине радиус-вектора R_i вычисляем новые декартовы координаты точки рукава $(x_{i+1}y_{i+1})$.

7. Определяем таким же образом новые координаты всех остальных точек рукава.

8. По вычисленным декартовым координатам всех точек рукава строим новое, текущее положение линии – рукава. Толщину линии задаём из соображений наглядности.

9. Производим такие же построения для остальных рукавов галактики и получаем в результате текущий кадр рукавов галактики.

10. Изменяя в нужных пределах время, пошагово строим необходимое число кадров, которые объединяем в анимацию.

Теперь с помощью этого алгоритма можно исследовать поведение анимированной модели галактики Млечный Путь, для чего, собственно, и была разработана модель. Если взять за основу имеющиеся данные о вращении галактики, то прямым сопоставлением этих данных можно обнаружить указанное выше странное обстоятельство. С известной нам наблюдаемой кривой вращения галактика в прошлом – всего два периода назад, около 600 млн. лет – должна была быть плотно "закручена" в обратную сторону. И, наоборот, в недалёком будущем, в течение следующих нескольких периодов

вращения она также должна фактически полностью лишиться рукавов, которые равномерно рассеются, размажутся по её диску. Учитывая, что возраст галактики предполагается порядка десятка миллиардов лет, её прошлое выглядит ещё более загадочно – возникновение рукавов невозможно объяснить из-за чисто кинематических противоречий. В качестве какого-никакого оправдания можно повторить высказанное выше предположение, что измеренная кривая вращения нестабильна и отражает лишь нынешнее, мгновенное состояние галактики, что в не очень далёком прошлом эта кривая вращения существенно отличалась от нынешней.

И всё это теперь можно увидеть на полученной анимированной математической модели галактики Млечный Путь в самой наглядной форме рис.2.4.

Установим длительность движения галактики на анимации в 350-700 млн. лет, то есть, 1-2 оборота периферийных звёзд. Шаг кадров на анимации принимаем в 1 млн. лет. Для удобства использования помимо элементов (рукавов) галактики, как указано в описании алгоритма, также была оцифрована кривая вращения и составлена таблица скоростей в зависимости от удалённости звёзд от центра галактики. В результате расчетов мы получаем анимацию как серию последовательных состояний галактики. Теперь, имея оцифрованные данные элементов галактики и скоростей, мы можем на анимации привести галактику во вращение. Каждый элемент рукавов движется по окружности со скоростью, соответствующей его удалённости от центра.

Здесь следует отметить довольно распространенный способ изображения галактики. В различных научно-популярных фильмах вращение спиральных галактик показывается как вращение твёрдого тела и в разных направлениях. Очевидно, однако, что галактика Млечный Путь вращается по часовой стрелке и совсем не как твёрдое тело, а слабый разброс скоростей движения звёзд в галактике приводит к тому, что рукава со временем закручиваются всё больше. Из этого следует, соответственно, что в прошлом рукава, видимо, были закручены меньше. На следующем кадре из приведённой выше анимации это хорошо видно. Этот кадр анимации соответствует повороту галактики Млечный Путь в прошлое на 167 млн. лет. Картина, как и ожидалось, получилась довольно странная. Видно, что рукава при обратном вращении галактики в определенной степени распрямились и даже начали закручиваться в

обратную сторону. Если принять во внимание все четыре рукава, то они образовали своеобразный крест. В дальнейшем это обстоятельство мы рассмотрим подробнее. Заметим, что эта картина соответствует состоянию рукавов галактики Млечный Путь всего половину оборота назад.

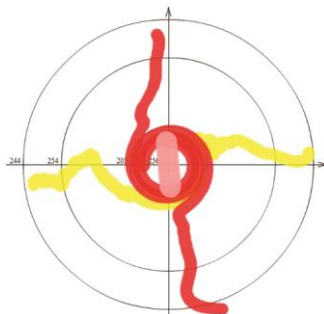


Рис.2.5 Вид галактики 167 млн. лет назад. Кадр из анимации [3]

Продолжив анимированное вращение галактики в прошлое, мы увидим, как примерно 600 млн. лет назад рукава полностью меняют направление закрутки (рис.2.6). На рисунке кадр из анимации приведён в двух видах: справа для большей наглядности все рукава галактики изображены одним цветом, так лучше заметно, что галактика выглядит как практически сплошной диск.

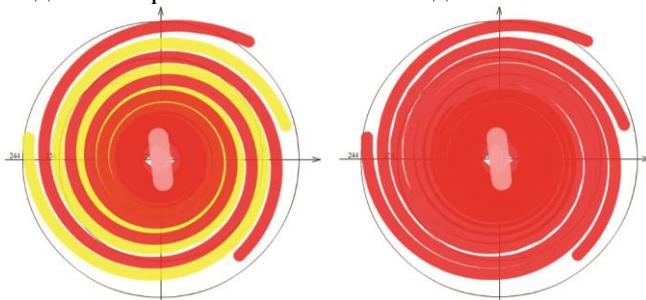


Рис.2.6 Вид галактики Млечный Путь 600 млн. лет назад [3]

Действительно, это довольно странная особенность наблюдаемой кривой вращения. Время в 600 млн. лет – это время всего лишь двух оборотов галактики. Получается, что всего два оборота назад при стабильности скоростей звёзд согласно имеющимся данным о кривой вращения галактика была просто невероятно сильно

"выкручена" в обратном направлении. Такая картина, видимо, должна вызывать недоверие.

Более того, получается, что всего два оборота назад галактика была скручена столь плотно, что в ней вообще невозможно разглядеть рукава. Особенно на правой части рисунка: галактика выглядит как сплошной диск. По сути, это означает, что представления о равномерном вращении галактики обоснованы недостаточно. Списание обнаруженных явлений на темную материю лишь добавляет "темноты" к этой картине, наделяя эту материю ещё более экзотическими свойствами. По какой причине галактика вращается столь странным образом? Около 600 млн. лет назад галактика была сплошным диском, но затем странным образом этот диск оказался разрезанным на нынешние рукава.

На анимации по ссылке к рисунку для наглядности процесс вращения галактики представлен в цикле: сначала галактика раскручивается на 600 млн. лет назад от наших дней, затем вновь закручивается к существующему состоянию. На анимации в закручивании спиралей рукавов можно заметить некоторые интересные особенности. Рукава будто состоят из двух частей: одна из них, внешняя, закручивается как бы навстречу движению, а другая, ближняя к центру, словно наматывается на барабан. При этом явно виден излом, своеобразный клин, "колени" между этими двумя частями:

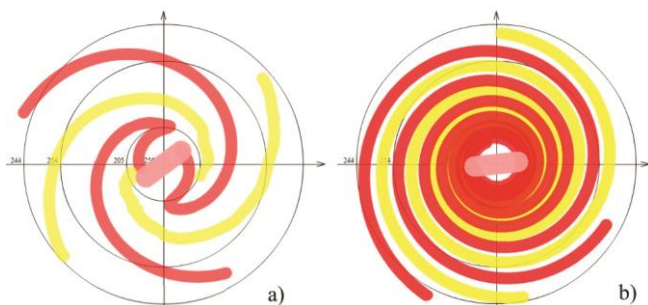


Рис.2.7 Галактика Млечный Путь а) с клинообразным изгибом рукавов 50 млн. лет назад и б) через 200 млн. лет. Кадры из [3]

Рассмотрев различные модели эволюции галактики в прошлом, мы не можем избежать естественного вопроса: а как будет двигаться, эволюционировать наша галактика в будущем? Ответ на этот вопрос можно легко получить, просто запустив таймер на ани-

мации в будущее. Рассмотрим состояние галактики в течение следующего оборота её спиральной структуры. Вот что получилось: всего через 200 млн. лет рукава галактики фактически полностью перекроют друг друга, и галактика уже не будет выглядеть как спиральная. Возможно ли такое в реальности? Неизвестно, произойдёт это или нет, но алгоритм вращения, движения рукавов галактики с наблюдаемой кривой вращения явно ведёт к такому исходу. Это, очевидно, плохо согласуется с предполагаемым возрастом галактики. Почему много миллиардов лет она развивалась как спиральная, а теперь, всего за какие-то пару сотен миллионов лет вдруг превратится в простую дисковую галактику? Таким образом, неизбежно следуют выводы:

если бы звёзды в галактике Млечный Путь двигались согласно измеренной (наблюдаемой) кривой вращения хотя бы на протяжении всего нескольких её циклов вращения, то внешний вид галактики существенно отличался бы от того, что мы видим в настоящее время;

гипотеза о темной материи решает, как считается, проблему кривых вращения, которые, строго говоря, сформулированы в довольно спорной форме, вызывающей недоверие к самому факту существования таких кривых.

Как видим, наблюдаемая кривая вращения, чем бы она ни была вызвана, приводит к довольно странным, противоречивым выводам об эволюции галактики Млечный Путь. Тем не менее, основанием для объяснения таких скоростей звёзд, их причиной "назначена" темная материя. По сути, её роль должна была свестись к тому, что движение звёзд с этой дополнительной материальной субстанцией должно было описываться теперь уже "правильными" законами Кеплера, Ньютона. То есть, звёзды в галактике с возросшей массой должны двигаться по известным законам небесной механики, то есть с кеплеровской кривой вращения.

Но, как мы увидим дальше, кеплеровская кривая вращения приводит к не менее парадоксальным результатам. Могла ли галактика Млечный Путь приобрести нынешний вид с кеплеровской кривой вращения? Или наблюдаемый вид галактики однозначно определён действием темной материи? Нет, как и наблюдаемая кривая вращения, кеплеровская кривая также не могла сформировать нынешний вид галактики. Гипотеза о темной материи, таким образом, не способна объяснить формирование (поддержание фор-

мы) галактических рукавов наблюдаемой ныне кривой вращения, и вращение ею рукавов галактики больше напоминает цирковые фокусы.

3. Кеплеровская кривая вращения

Итак, как было выше обнаружено, с наблюдаемой кривой вращения галактика должна была быть парадоксально "закручена" в обратную сторону всего два периода назад – около 600 млн. лет. Напротив, в течение следующих нескольких оборотов она должна полностью лишиться рукавов, которые равномерно рассеются по её диску, сольются в однородный слой.

Конечно, можно сослаться на высказанное там же предположение, что измеренная кривая вращения нестабильна и отражает лишь нынешнее состояние галактики, являются мгновенными снимками в их истории, которые явно не указывают на их прошлое и будущее.

Однако, сначала попробуем выяснить, какой вид имела бы галактика в различные моменты времени её существования, если бы кривые вращения были всё-таки кеплеровскими. Ведь возникает странная ситуация. Казалось бы, недостаток массы не позволяет звёздам в галактике двигаться по кеплеровским орбитам. Добавление темной материи в этом случае, как следовало бы ожидать, должно было сделать наблюдаемые орбиты кеплеровскими. Как в этом случае будут выглядеть рукава?

Воспользуемся опробованным выше приемом "вращения" галактики Млечный Путь, вновь используя математическую, анимационную её модель, но сделав при этом новое предположение: кривая вращения является кеплеровской, и параметры кеплеровского вращения (движения) галактики были неизменными, по крайней мере, на протяжении двух оборотов её спиральной структуры, то есть порядка 700 млн. лет. Наличие или отсутствие темной материи, как и раньше, значения не имеет, поскольку мы уже наблюдаем некий кинематический результат. Кеплеровскую кривую вращения мы сформируем на основе наблюдаемой кривой вращения рис.2.2 рядом с ней, скорректировав её в соответствии с законами Ньютона.

Как и в случае с наблюдаемой кривой вращения, изображать на анимации галактику Млечный Путь с высокой детализацией нет особой необходимости. Нас вновь будет интересовать лишь каче-

ственный вид движения групп звёзд в рукавах галактики. Движение каждой звезды в отдельности не представляет интереса. Поэтому звёзды в галактике мы, как и выше, изобразим укрупненно, как они сгруппированы в рукава. Напомним лишь, что такой способ изображения галактики не редкость, поэтому и мы вновь воспользуемся им.

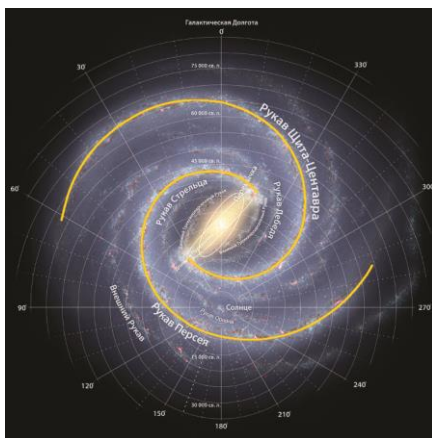


Рис.3.1 На изображение галактики Млечный Путь [4, 11] нанесены тонкие желтые аппроксимирующие линии рукавов Norma (Щита-Центавра) и Perseus.

Вновь возьмём одно из имеющихся в интернете изображений галактики Млечный Путь рис.2.1, аппроксимируем её рукава на этот раз плавными геометрическими линиями и нанесём их для наглядности на изображение галактики, чтобы быть уверенными, что аналитические выражения точно повторяют контуры рукавов. Вспомним, что первоначально, при исследовании наблюдаемой кривой вращения, аппроксимация рукавов галактики была сделана в табличном виде. Этот способ более точный, поскольку в нём отсутствуют приближения и сглаживания рукавов. Но для исследования он более трудоёмкий как при создании таблиц, так и при их использовании, поскольку требует постоянного обращения к этим таблицам. В этом отношении гладкие аналитические функции существенно удобнее, поскольку значение координат определяется простым решением уравнений, а для составления таблицы не требуется считывание координат рукавов с рисунка.

Подберём такие аналитические функции для новой аппроксимации рукавов. Точность аппроксимации, как и раньше, определяем визуально, прикидочно, накладывая на рисунок галактики отрезки, в данном случае, синусоидальной функции. Выбираем полярную систему координат, в которой R – это удалённость участка рукава от центра галактики, радиус, а φ – угол между радиусом и исходным направлением. Задаём для этого некоторую исходную и конечную точку и проводим через неё отрезок синусоиды, заметив, что форма рукавов имеет с нею заметное сходство. И как оказалось, такое наложение позволяет приемлемо точно повторить форму рукавов галактики. На рисунке видно, что даже при такой относительно грубой оценке, внешний вид галактики достаточно верно повторяет рисунок-оригинал. Для наглядности на рис.3.1 показаны только тонкие, осевые линии двух рукавов. На анимации их толщину мы пропорционально увеличим. В результате экспериментально подобранная функция, например, для галактического рукава Perseus приобретает следующий вид:

$$R_i = R_0 + (\varphi_i - \varphi_0) \cdot \sin(\varphi_i / k_0) + k_\varphi \cdot \sin((\varphi_i - \varphi_1))$$

$$x_i = R_i \cdot \cos(\varphi_i); y_i = R_i \cdot \sin(\varphi_i)$$

$$\varphi_i = (\varphi_0 \dots \varphi_{\max}) \cdot \pi / 180^\circ, i = 0, 1, 2 \dots 500$$

$$R_0 = 2,6; k_\varphi = 0,5, \text{ если } \varphi_i > \varphi_1, \text{ иначе, } k_\varphi = 0;$$

$$k_0 = 8; \varphi_0 = 225^\circ; \varphi_{\max} = 520^\circ; \varphi_1 = 375^\circ$$

Коэффициенты в уравнении определены методом последовательного, приближающего подбора. Величина дискретности (шагов) выбрана достаточно большой – 500 шагов, иначе в процессе вращения галактики крайние элементы рукавов при закручивании превращаются в ломаные линии, что было обнаружено при первой, табличной аппроксимации. В процессе аппроксимации выявилось, что рукав Perseus имеет излом на участке 375 градусов от начальной точки. В уравнении сглаживаем этот излом условным оператором. Начальная точка рукава $R_0 = 2,6$ – также условна, она связана с масштабом рисунка, на который накладывается график. В дальнейшем на анимации все величины масштабируются к реальным размерам галактики. Подобная аппроксимирующая синусоидальная функция подобрана и для рукава Norma.

Эти два рукава, обозначенные как Perseus Arm и Norma Arm, выбраны для дальнейшего анализа, поскольку в галактике на приведённом выше рисунке они выглядят наиболее яркими. Кроме того, эти два рукава имеют приблизительно симметричную форму и

визуально начинаются на концах перемычки (бара, балджа). Отказ от рассмотрения двух других рукавов вполне приемлем, поскольку все явления с перекрытием рукавов хорошо заметны даже для двух из них, а их поведение в динамике просматривается лучше, поскольку нет взаимного затенения, перекрытия.

К слову, следует отметить, что в названиях, наименованиях рукавов в интернете обнаружены некоторые различия, как показано на следующем рисунке. Видим, что одному и тому же рукаву разные авторы присваивают разные названия. Например, рукав Perseus Arm на левом рисунке [4, 11] обозначен как Рукав Щита-Центавра на рисунке справа [10], а на рисунке в центре [2] он изображен с иной траекторией.

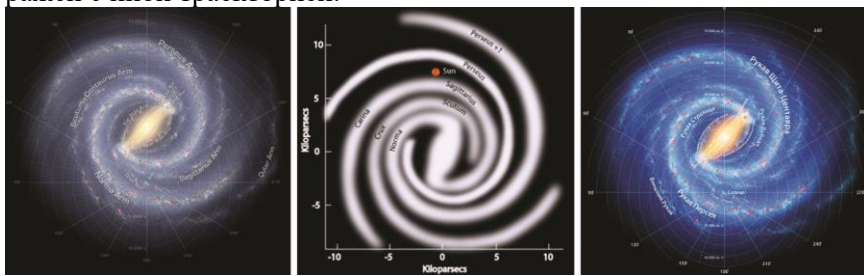


Рис.3.2 Рукава галактики Млечный Путь обозначают с некоторыми различиями

Рукав на рисунке слева Norma Arm обозначен на рисунке справа как Рукав Персея, а на рисунке в центре также имеет иную траекторию и обозначен как Norma-Perseus+1. В дальнейшем мы будем использовать обозначения и траектории рукавов, соответствующие рис.3.1 (на рис.3.2 это изображение находится слева), но будем рассматривать только два основных рукава. Теперь, имея аналитические выражения (функции) элементов галактики и кривую вращения, мы можем на анимации привести галактику во вращение. Алгоритм вращения (анимации) описан в предыдущем разделе. Каждый элемент рукавов движется по окружности со скоростью, соответствующей его удалённости от центра.

Для каждого текущего момента времени (кадра анимации) вычисляем новые координаты этих элементов и строим по ним рукава полностью. В результате расчетов мы получаем анимацию как серию последовательных состояний галактики – кадров рис.3.3 для наблюдаемой кривой вращения. Эта анимация приведена для срав-

нения, как напоминание. На ней в цикле показано движение галактики с наблюдаемой кривой вращения на 200 млн. лет в будущее, затем движение на 600 млн. лет в прошлое. Здесь мы вновь видим обнаруженную несогласованность в поведении рукавов даже для наблюдаемой кривой вращения.



Рис.3.3. Вращение галактики Млечный Путь на 200 млн. лет в будущее и на 600 млн. лет в прошлое. Кадр из анимации [3]

Исследователи, космологи усиленно ищут причину, почему кривая вращения не соответствует кеплеровской. Но они не обращают внимания на то, что даже экспериментально выявленная кривая вращения вызывает ряд вопросов. Всего через один период вращения рукава галактики Млечный Путь сольются в один сплошной диск. В такой ситуации понятие "период вращения" становится каким-то абстрактным понятием. Через каждый оборот наша галактика – это уже совсем другая галактика. Но и это не всё. Менее двух оборотов назад рукава галактики должны были быть закручены в противоположном направлении и даже сжаты в один сплошной диск. Причина его последующего разделения на рукава также требует какого-то объяснения. На этом фоне следует ожидать не меньших странностей и с кеплеровской кривой вращения. Рассмотрим подробнее, какой была бы картина, если бы кривая вращения была кеплеровской. Насколько сильно она будет отличаться от наблюдаемой картины? При этом первым вопросом, очевидно, является вопрос о самой такой кривой вращения. Наблюдаемой она быть не может, а аналитических расчетов для неё сразу, легко найти не удалось. Однако, обнаружены несколько графических представлений таких кривых. Варианты кеплеровской кривой вращения разными авторами представляются в разных вариантах, сопоставить которые затруднительно, поэтому просто рассмотрим несколько из них. Для этого мы построим эволюцию галактики, соответствующую каждо-

му варианту кеплеровской кривой вращения. При этом мы будем исходить из того, что взятые для рассмотрения кривые вращения все-таки достаточно близки, схожи, по крайней мере, качественно, поэтому расхождения не должны быть слишком велики. Для этих целей мы выбрали три наиболее характерные формы кеплеровских кривых вращения, имеющиеся в свободном доступе в интернете. Поскольку все они имеют графический вид, то есть, не описаны уравнением, мы эти уравнения также составим путем аппроксимации рисунков.

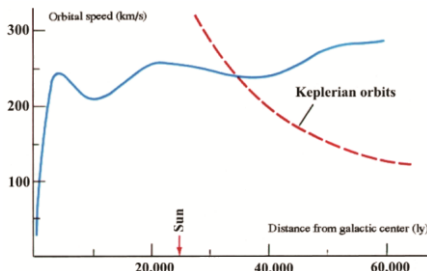


Рис.3.4 Кеплеровская кривая вращения, вариант [5]

На этом, первом из выбранных графиков рис.3.4 кеплеровская кривая расположена достаточно далеко от центра и лишь частично затрагивает рассматриваемые рукава, выходя даже за траекторию Солнца. Поэтому эту кеплеровскую кривую потребовалось продлить вверх и влево, чтобы перекрыть весь диапазон скоростей.

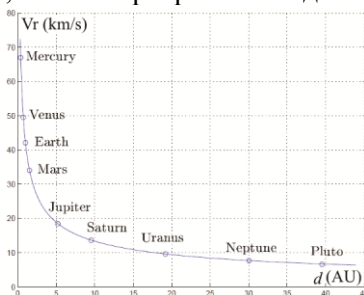


Рис.3.5 Кеплеровская кривая вращения в солнечной системе [6, 12]

В литературе часто при упоминании отклонения кривой вращения звёзд галактик от законов Кеплера приводят для сравнения кеплеровскую кривую вращения планет в солнечной системе. При этом центру галактики приравнивается Солнце, а роль звёзд в га-

лактических рукавах, очевидно, выполняют планеты солнечной системы. Другими словами, делается предположение, что кривая вращения звёзд в галактиках должна иметь подобный вид, то есть форму гиперболической кривой. Обычно в литературе полная форма такой кеплеровской кривой вращения для звёзд галактик не приводится.

В интернете удалось найти едва ли не единственный пример полноразмерной кеплеровской кривой вращения для галактики Млечный Путь. Это приблизительная форма такой кривой вращения (красная штриховая линия), рассчитанная с использованием законов Кеплера. Отмечается, что на больших радиусах, скорости звёзд значительно больше, чем в кеплеровском случае, и считается, что это свидетельствует о существовании дополнительного вещества (материи) на больших удалениях от центра галактики.

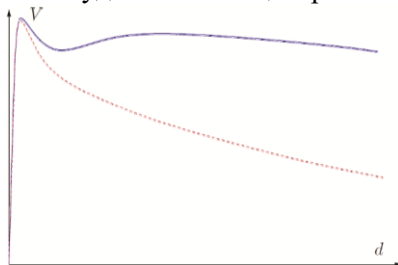


Рис.3.6 Эскиз фактической кривой вращения Млечного Пути (сплошная голубая линия) [6]. Пунктирная красная линия, что мы ожидаем от использования закона Кеплера при вычислении кривой вращения.

Это отклонение в скоростях рассматривается как косвенный способ показать существование темной материи в галактиках. Чаще представляется вариант кривой из предположения, что наблюдаемая кривая вращения ограничена сверху на начальном участке, поэтому кеплеровская кривая вращения изображается с отсечённой верхней частью как на рис.3.7. Вместе с тем, на нём также видна только отдалённая, внешняя часть кривой вращения, относящаяся к звёздам, находящимся далеко за орбитой вращения солнечной системы. На этом графике кеплеровская кривая также расположена слишком далеко от центра и, казалось бы, фактически не затрагивает рассматриваемые рукава. Однако, данную компиляцию двух разных кривых вращения следует, пожалуй, признать некорректной.

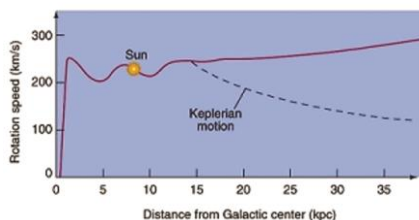


Рис.3.7 Фактическая кривая вращения и движение по Кеплеру [12]

Изображённый на ней фрагмент кеплеровской кривой вращения, как и выше, следовало бы продлить влево вверх, поскольку именно там формируется основная часть рукавов галактики. В противном случае, нам следовало бы считать участок наблюдаемой кривой вращения от 2 до 15 кпс как кеплеровский.

В литературе можно найти и такие варианты комбинации наблюдаемой и кеплеровской кривых вращения, в которых сглаживание перехода от одной кривой к другой производится более корректно - от первого максимума наблюдаемой кривой вращения:

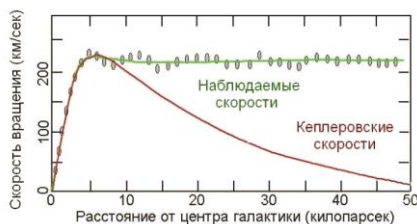


Рис.3.8 Кривые дифференциального вращения галактик [7]

Такое сглаживание тоже выглядит недостаточно обоснованным, поскольку заметно выходит за признанные границы галактики. Поскольку нас интересует именно средняя часть области рукавов, для которой есть явно определенная наблюдаемая кривая вращения, то, очевидно, нам следует продлить рассмотренные кривые вращения на эти области. Главное, что следует принять при вычислении таких кеплеровских кривых вращения галактики Млечный Путь – это то, что она имеет явную гиперболическую форму.

Растягивание рассмотренных кривых вращения на полную область галактики мы используем для обеспечения совместимости с уже произведёнными расчетами. Мы просто принимаем на веру, что данные кривые вращения построены не "на глазок", а на основе

аналитических расчетов, то есть они имеют визуальную форму, удовлетворительно приближенную к реальной. Но даже в случае существенного отклонения от реальной формы кривой вращения, мы просто получаем такое же "визуализированное" соответствие, не претендующее на строгую научную доказательность.

Обобщенно результирующее уравнение искомых кеплеровских кривых вращения запишем в виде гиперболической функции:

$$y = \frac{k}{\sqrt{x}} + c \quad (3.1)$$

Решение задачи, таким образом, сводится к определению двух коэффициентов. Очевидно, что эти коэффициенты зависят от множества физических характеристик галактики: её общей массы, распределения масс в пространстве, наличия темной материи, гравитационной постоянной и так далее. В нашем случае можно просто выбрать две точки на графиках, которые, как мы предположили, построены с учетом этих физических характеристик, и через которые проходит искомая гипербола:

$$\begin{cases} c = \frac{\sqrt{x_1}y_1 - \sqrt{x_2}y_2}{\sqrt{x_1} - \sqrt{x_2}} \\ k = \sqrt{x_1}(y_1 - c) \end{cases}$$

Первым и простейшим вариантом является выбор двух точек на ниспадающей ветви после первого максимума наблюдаемой кривой вращения. В этом случае мы получим кеплеровскую кривую вращения, полностью совпадающую с рисунками 3.8 и 3.6 и достаточно точно визуально повторяющую кривую движения планет в солнечной системе рис.3.5.

Выбираем две такие точки на аппроксимированном (оцифрованном) графике рис.2.2 и после решения уравнения строим кеплеровскую кривую вращения. Сразу можно предположить, что данная кривая вращения вряд ли сильно изменит характер вращения галактики, поскольку скорость звёзд на окраине галактики, по оценке графика, уменьшилась всего лишь в 2 раза – с 260 до 140. Ожидаемая "правильная" кеплеровская кривая вращения должна быть существенно круче и падать на краю галактики практически до единиц парсек за 1 млн. лет (или километров в секунду), как показано на рис.3.8.

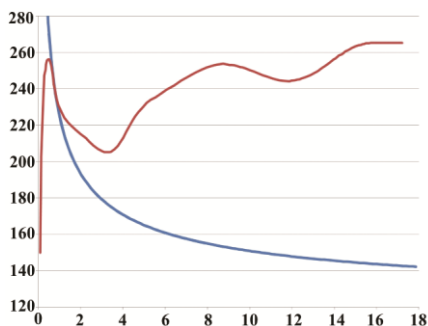


Рис.3.9 Красная линия – наблюдаемая кривая вращения галактики Млечный Путь, синяя – кеплеровская кривая, вычисленная по уравнению (3.1) и двум точкам на наблюдаемой кривой рис.2.2

Как и ожидалось, при столь незначительном снижении скоростей мы видим на анимации, что визуальнo картина вращающейся кеплеровской галактики не сильно отличается от вращения по закону скоростей темной материи (с наблюдаемой кривой вращения):

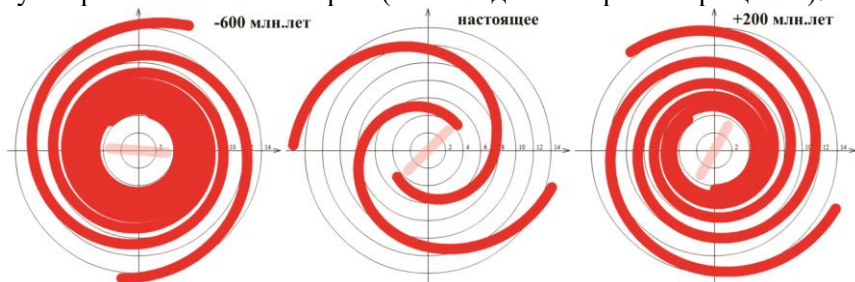


Рис.3.10 Изображение галактики Млечный Путь с кеплеровской кривой вращения, аппроксимированной на рис.3.6 и 3.9. Анимация [3]

Эта анимация соответствует кеплеровской кривой вращения, аппроксимированной по рисункам 3.6 и 3.9. Как и с наблюдаемой кривой вращения рукава галактики сливаются в сплошной диск всего за неполный оборот в будущее и были закручены в обратную сторону менее чем два оборота назад, причём также из состояния, напоминающего сплошной диск. Заметим, что мы рассматриваем только два рукава из четырёх, но даже их хватает для полного слияния в сплошной диск. Если взять все четыре рукава галактики

Млечный Путь, то визуально рукава будут исчезать на меньших сроках.

Вычисленная кеплеровская кривая вращения может показаться несколько условной, поскольку исходные данные взяты не вполне убедительно. В одном случае шаблоны не имеют достаточно точных числовых меток, а во втором точки для аппроксимации взяты с явно выраженной целью получить достаточно "крутую" гиперболу. Впрочем, это всё равно не позволило получить кривую вращения, хотя бы отдалённо приводящую к стабильности рукавов галактики при её вращении. Но мы можем построить по точкам две другие кривые вращения по рис.3.7 и рис.3.4. В этом случае есть надежда получить более реалистичные кеплеровские кривые вращения, считая, что рисунки – оригиналы хотя бы приблизительно верно отражают их форму. Мы построим эти кривые прямо на этих рисунках. На рисунке 3.7 приблизительные координаты точек для кривой: (14, 240) и (35, 130). Аппроксимация даёт кривую вращения рис.3.11. Подбором уточняем точки, через которые проходит аппроксимирующая гипербола таким образом, чтобы она точно вписывалась в отрезок гиперболы на рисунке. Видим, что совпадение кривых удовлетворительное, хотя и заметно, что на начальном (дорисованном) интервале гипербола должна быть несколько круче.

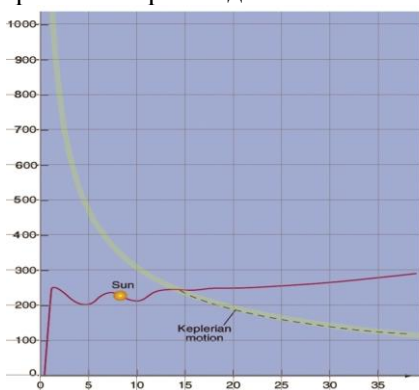


Рис.3.11 Аппроксимация кеплеровской кривой вращения рис.3.7

Характер движения галактики с этой новой кеплеровской кривой вращения заметно отличается от характера движения с наблюдаемой кривой вращения. Скорость вращения центральной части галактики и балджа существенно возросла. Галактика в тече-

ние нескольких десятков млн. лет закручивается до состояния сплошного, безрукавного диска. Собственно говоря, на данной анимации нам и следует обратить внимание только на эти два обстоятельства. Анимация "закручена" в цикле от 150 млн. лет в будущее до 150 млн. лет в прошлое.



Рис.3.12 Изображение галактики Млечный Путь с кеплеровской кривой вращения, аппроксимированной на рис.3.7 и 3.11. Кадры из [3]

Здесь рассмотрен существенно более короткий срок эволюции галактики, поскольку даже на этом коротком периоде заметно, как рукава из "обратной" закрутки в прошлом изменяют закрутку в будущем.



Рис.3.13 Изображение галактики Млечный Путь с кеплеровской кривой вращения и "локтевым" изгибом, аппроксимированной на рис.3.7, 3.11. Кадр из анимации [3]

И всё это всего за половину оборота внешней структуры галактики. Такая кеплеровская кривая вращения, построенная по реалистичному шаблону, приводит всё к тем же парадоксальным выводам, что и наблюдаемая кривая вращения. При этом на половине

интервала между "прямой" и "обратной" закруткой рукавов есть моменты времени (28 млн. лет назад), когда рукава имеют излом в центре, своеобразный "локоть". Выглядит это весьма странно. Вновь отметим, что рассмотрены только два рукава из четырех, но и в этом случае они оказываются недолговечными. В заключение рассмотрим последнюю, третью кеплеровскую кривую вращения, представленную на рис.3.4. Для её аппроксимации используем точки, через которые должна пройти гипербола полноразмерной кривой вращения (35, 240) и (60, 130).

После решения уравнения и ручной подгонки точек, через которые проходит гипербола для её лучшей аппроксимации, получаем картину на рис.3.14. Здесь исходная кеплеровская кривая вписалась в аналитическую гиперболу не очень хорошо, что связано, видимо, с погрешностью рисунка при печати. Как отмечено, мы предполагаем, что в исходных фрагментах кеплеровских кривых на рассмотренных рисунках учтены все физические характеристики галактики — её масса, распределение масс, гравитационная постоянная, массы звёзд и так далее. При построении на их основе полных кеплеровских кривых мы фактически получаем кривые, также содержащие в своей форме все эти характеристики.

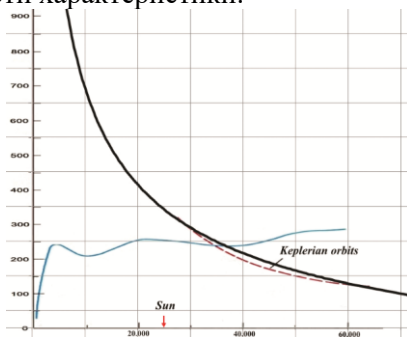


Рис.3.14 Аппроксимация кеплеровской кривой вращения рис.3.4.

Разумеется, исходные кривые являются всё же приблизительными и даже условными, демонстрационными, они не обязаны быть точными, что называется, до трёх знаков после запятой. Но мы и не преследуем цель получить абсолютно точные результаты, нас интересует визуальный, приблизительный характер поведения галактики в процессе её эволюции. По найденной полной кеплеровской кривой вращения мы получаем соответствующую анимацию вра-

щения галактики, которую визуально невозможно отличить от предыдущей, приведенной на рис.3.12. Собственно, это не вызывает особого удивления, поскольку и соответствующие кривые вращения визуально практически тождественны – рис.3.11 и рис.3.14.

Скорость вращения центральной части галактики и балджа также существенно возросла. Галактика даже из двух рукавов в течение нескольких десятков млн. лет закручивается до состояния сплошного, безрукавного диска. Как и в предыдущем случае, на данной анимации нам следует обратить внимание только на эти два обстоятельства. Анимация "закручена" в цикле от 150 млн. лет в будущее до 150 млн. лет в прошлое. Здесь также рассмотрен короткий срок эволюции галактики, поскольку даже на этом коротком периоде заметно, как рукава из "обратной" закрутки в прошлом изменяют направление закрутки в будущем. И всё это всего за половину оборота внешней структуры галактики. Такая кеплеровская кривая вращения, построенная по реалистичному шаблону, приводит всё к тем же парадоксальным выводам, что и наблюдаемая кривая вращения.

Итак, мы получили три кеплеровские кривые вращения рис.3.9, 3.11, 3.14, которые заметно отличаются друг от друга и от наблюдаемой кривой вращения. Поэтому получены также и заметно различающиеся результаты в характере вращения галактики, показанные, соответственно, на рис.3.10, 3.12.

Тем не менее, сравнивая эволюцию галактики Млечный Путь с каждой из сформированных здесь кеплеровских кривых вращения, можно прийти к выводу: всего через 150-200 млн. лет галактика из спиральной превратится практически в монолитную дисковую, безрукавную галактику. Этот результат практически не зависит от разброса формы кривых вращения. Анализ, проведённый в предыдущем разделе для наблюдаемой кривой вращения, привёл к схожему результату. На рис.3.15 представлен для сравнения предполагаемый на основе проведённых выше расчетов вид галактики Млечный Путь через 150-200 млн. лет. Виды галактики Млечный Путь через 150-200 млн. лет на рисунке получены для каждой из рассмотренных трёх кривых вращения. Первые два - а) и б) соответствуют движению с вычисленными выше кеплеровскими кривыми вращения, изображенными на рис.3.9, 3.11 (3.14), а третий с) – наблюдаемой кривой вращения, сформированной под действием темной материи.

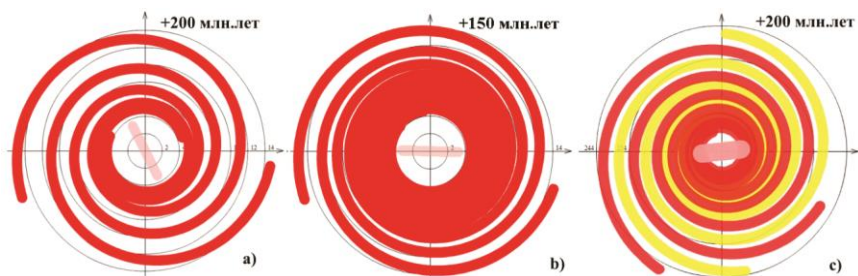


Рис.3.15 Возможно, так будет выглядеть галактика Млечный Путь через 200 млн. лет при движении - а), б) - с вычисленными кеплеровскими кривыми вращения и с) – с наблюдаемой кривой вращения

Вспомним, что на рисунках и на анимациях представлены только два из четырёх рукавов галактики. Поэтому, если добавить недостающие рукава, рисунок а) будет, видимо, также представлять сплошной диск, как и рисунок б). На рисунке с) показаны все четыре рукава и на нём галактика тем более выглядит как сплошной, безрукавный диск. Таким образом, во всех случаях мы получаем всё ту же весьма странную картину: *всего через 150-200 млн. лет, то есть менее чем за один оборот внешней структуры, в галактике Млечный Путь рукава перестанут быть различимыми; галактика превратится в обычную дисковую.*

Странность картины состоит не только в том, что галактика претерпит указанные изменения. Не менее странным является и то, что *по какой-то неясной причине именно за следующие 150-200 млн. лет из предполагаемого срока жизни галактики Млечный Путь порядка 10 млрд. лет она претерпит такие деструктивные (для рукавов) изменения.*

При этом обращаем внимание, что изменения произойдут для любой модели кривой вращения: и кеплеровской и темной материи. То есть, наблюдаемая форма галактики придёт к указанному итогу независимо от характера рассмотренных кривых вращения.

В этой связи вполне резонно возникает и второй вопрос, а что было те же 150-200 млн. лет назад? Из какого состояния галактика перешла в ныне наблюдаемое? Посмотрим это на анимациях и вновь сгруппируем результаты в один рисунок рис.3.16. На рисунке показан предполагаемый вид галактики примерно 150 млн. лет назад, если бы она двигалась с каждой из рассмотренных кеплеров-

ских кривых вращения и наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя). Главное, на что сразу же можно обратить внимание – при всех кривых вращения в это время рукава галактики были закручены в обратном направлении. Это означает, что независимо от кривой вращения галактика изменила направление закрученности своих рукавов. Причём это произошло раньше, чем она совершила один оборот внешней структуры. Если "прокрутить" галактику в прошлое ещё на несколько сотен миллионов лет, то рукава, очевидно, сольются в сплошной диск и для двух других кривых вращения. Ситуация, мягко говоря, странная.

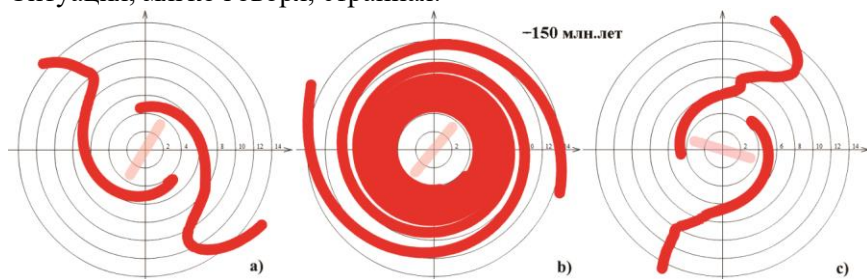


Рис.3.16 Возможно, так выглядела галактика Млечный Путь 150 млн. лет назад при движении - а), б) - с вычисленными кеплеровскими кривыми вращения и с) – с наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя)

Интересно выяснить, когда в прошлом галактика имела "в последний раз" противоположное нынешнему направление рукавов для каждой из рассмотренных кривых вращения. Считаем, что эта дата соответствует однозначному, без перегибов обратному направлению рукавов, на дату, ближайшую к дате начала изменения их направления. Другими словами, это момент времени, когда внешние края рукавов галактики только-только начали изгибаться в нынешнем направлении.

Кроме этого, видимо, существует и дата, когда в прошлом галактика уже имела нынешнее направление рукавов "в первый раз", то есть уже определённо, окончательно была закручена в нынешнее состояние. Или, другими словами, края рукавов галактики окончательно приняли нынешнее направление закрутки.

Если просмотреть в замедленном темпе анимации, то можно приблизительно определить эти даты. Для кривых вращения рис.3.9, 3.11 и наблюдаемой кривой вращения эти даты, вернее,

диапазоны дат, соответственно равны: 419...70; 124...20; 281...70 млн. лет назад. Галактика для этих кривых вращения в соответствующие даты "в последний раз", предположительно, имела следующий "обратный" вид (рис.3.17). На рисунке а) и б) соответствуют вычисленным кеплеровскими кривыми вращения рис.3.9 и рис.3.11, с) – наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя). Вариант с кривой вращения рис.3.14 не рассматривается, поскольку характер этой кривой математически недостаточно убедителен. Говоря иначе, это даты, начиная с которых рукава галактики явно начали изменять направление своей закрутки.

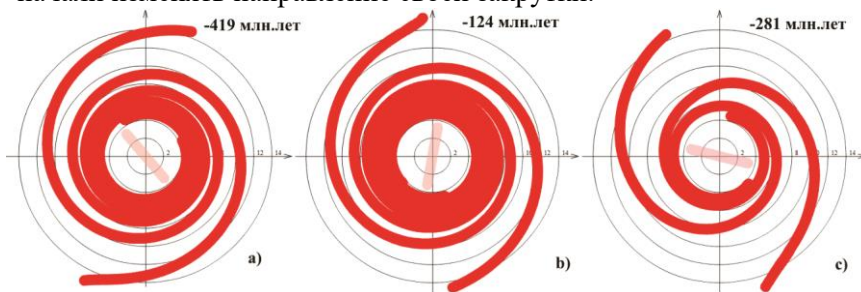


Рис.3.17 Возможно, так выглядела галактика Млечный Путь в то время, когда рукава ещё только начали закручиваться в направлении, наблюдаемом в наши дни.

Видно, что галактика могла быть в среднем закручена в обратную сторону от 125 до 450 млн. лет назад (в зависимости от кривой вращения), то есть практически в пределах одного оборота внешней структуры. Причём неважно, какой была при этом кривая вращения – кеплеровская или наблюдаемая, вызванная влиянием темной материи. Этот разворот закрученности рукавов соответствует только рассмотренным возможным кривым вращения: либо наблюдаемой, либо вычисленным по правилам небесной механики, законам Ньютона и Кеплера. Обстоятельство в высшей степени странное:

если галактика была закручена в обратном направлении, то выходит, что при таком характере вращения в далёком прошлом она была закручена ещё сильнее и даже до состояния сплошного диска. По какой причине галактика изменила направление закручивания на противоположное? Почему это произошло буквально на наших глазах, то есть в пределах всего одного цикла вращения?

Кроме этого неизбежен и такой вопрос: на интервале двух противоположных направлений вращения, очевидно, есть точка, когда галактика находилась в промежуточном состоянии закрученности. Понятно, что верхней точкой является время, которое выше мы назвали "в первый раз", то есть когда галактика впервые определённо имела нынешнее направление рукавов.

Считая, что движение было монотонным, понимаем, что эти точки времени зависят от характера кривой вращения. Казалось бы, они должны быть равны полу-сумме этих времён: 250, 72 и 175 млн. лет назад, соответственно. Однако, просмотр анимации позволяет сделать заключение, что эти времена несколько отличны от полу-сумм. В зависимости от кривых вращения, галактика имела соответствующую среднюю форму во времена 99, 25 и 119 млн. лет назад - рис.3.18. Как и на предыдущих рисунках, на этих рисунках а) и б) соответствуют вычисленным кеплеровскими кривыми вращения рис.3.9 и рис.3.11, с) – наблюдаемой кривой вращения (тёмная материя). Вариант с кривой вращения рис.3.14 здесь также не рассматривается.

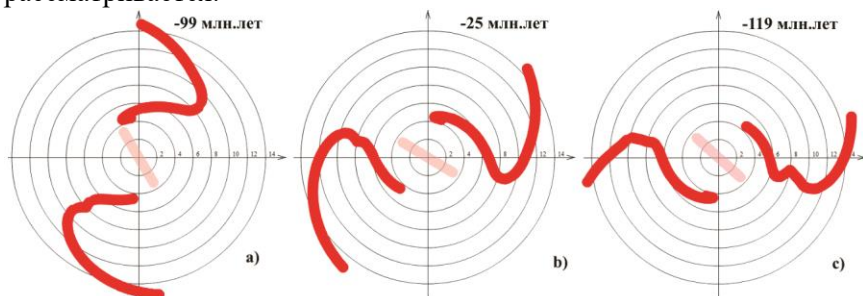


Рис.3.18 Возможно, так выглядела галактика Млечный Путь в указанное время t , когда рукава находились в промежуточном состоянии закрученности между прямым (нынешним) и обратным (предполагаемым) направлением в зависимости от кривой вращения

И вновь возникает вопрос о форме рукавов. Не удаётся найти логически приемлемую исходную форму рукавов. Наиболее вероятной формой рукавов должна была быть, видимо, прямая. Прямые лучи рукавов в ходе вращения галактики, казалось бы, должны закрутиться в наблюдаемые ныне спирали. Однако, ни одна из кривых вращения не позволяет ретроспективно получить хотя бы приблизительно прямые исходные формы рукавов: все они имеют не-

понятную коленообразную форму. Вновь приходится констатировать, что получена необъяснимо странная картина:

ни одна из возможных кривых вращения галактики Млечный Путь не позволяет в ретроспективе получить исходную форму рукавов, предположительно, близкую к прямым лучам;

и наблюдаемая кривая вращения и вычисленные по законам небесной механики кривые вращения приводят в ретроспективе к изменению направления закрутки рукавов, причём практически в пределах одного оборота галактики, что плохо согласуется с логикой.

Таким образом, в заключение с неизбежностью напрашивается вывод, что наблюдаемая кривая вращения, измеренные скорости звёзд в галактике Млечный Путь не могли иметь таких значений даже на протяжении половины или одного оборота внешней структуры галактики:

следовательно, в отношении галактики Млечный Путь гипотеза о темной материи решает проблему несуществующей или, по меньшей мере, непродолжительной по времени кривой вращения;

возможно, это относится и ко всем другим спиральным галактикам.

4. Кривая вращения твердого тела

Как видим, рассмотрение имеющихся данных о вращении галактики Млечный Путь обнаруживает странное обстоятельство. Если бы галактика двигалась с наблюдаемой или с кеплеровской кривой вращения, то менее чем два оборота в прошлое или будущее она должна полностью лишиться рукавов, которые туго свернутся, равномерно заполняя весь её диск.

С другой стороны, исходя из формы кривой вращения галактики Млечный Путь, можно утверждать, что она не может двигаться и как твердое тело, сохраняя однажды сформированную закрученность рукавов. Действительно, если скорости ближней к центру галактики и удалённой от него равны, то их угловые скорости явно разные. Это означает, что за полный оборот вокруг центра удалённой звезды, ближняя к нему должна совершить большее число оборотов! Галактика должна либо сильнее закручивать рукава, либо распрямлять их. Для того чтобы галактика сохраняла свою форму на достаточно длительном промежутке времени, кривая вращения

должна иметь более крутой подъем. То есть, звёзды на окраине галактики должны двигаться с ещё большей скоростью, чем это допускает темная материя. Либо ближние к её центру – с существенно меньшей скоростью.

Рассчитаем форму кривой вращения галактики Млечный Путь, с которой она сохранит свою форму хотя бы в пределах двух-трех оборотов. Практика показала, что для вычислений более удобны аналитические выражения для формы рукавов галактики. Как выше было отмечено, табличная аппроксимация формы рукавов более верно отражает их динамику, но является несколько более трудоёмкой в формировании и обработке.

Здесь мы используем несколько иной, нежели синусоидальный способ аппроксимации рукавов. Особенность этого нового алгоритма аппроксимации состоит в том, что уравнения рукавов в полярных координатах, как оказалось, имеют с высокой точностью параболическую форму. Достаточно всего нескольких точек на рукавах, чтобы построить по ним параболу, которая визуальнo очень верно повторяет форму рукава в целом. Разумеется, некоторые хаотичные изломы на рукавах при этом приходится игнорировать.

Используя аналитическую форму аппроксимации и опуская промежуточные выкладки, приведём эмпирически найденные уравнения рукавов галактики в полярных координатах:

$$\begin{aligned} \text{Рукав Щита-Центавра:} \quad R &= 0,7812\varphi^2 + 9,0328\varphi + 37,739 \\ \text{Рукав Лебедя:} \quad R &= 0,8326\varphi^2 + 5,1622\varphi + 23,540 \quad (4.2) \\ \text{Рукав Персея:} \quad R &= 1,2434\varphi^2 + 0,7542\varphi + 20,068 \\ \text{Рукав Стрельца:} \quad R &= 0,9772\varphi^2 - 0,8418\varphi + 16,568 \end{aligned}$$

Выше мы обнаружили, что на имеющихся в интернете картах Млечного Пути присутствуют некоторые разночтения в названиях его рукавов. Здесь мы будем использовать названия рукавов, как они приведены на следующей карте, взятой из интернета (рис.4.1). Для того чтобы убедиться, что приведённые выше функции достаточно точно повторяют форму рукавов галактики, нанесём их на карту галактики тонкими желтыми линиями. Внимательно рассмотревшись к рисунку, можно признать, что совпадение линий и реальной формы рукавов достаточно хорошее. Таким образом, у нас есть уравнения, по которым мы теперь можем построить схему галактики. Удаляем карту-подложку и заменяем тонкие линии на более широкие аналоги рукавов галактики. Теперь галактика Млечный Путь приобретает такой же вид, что и на рассмотренных выше

рисунках и анимациях. Чтобы рукава сливались меньше и были лучше различимы каждый по себе, раскрашиваем противоположные в одинаковые цвета: красный и горчичный. Полные названия рукавов заменяем на краткие. Теперь у нас есть математическая модель – схематичное изображение галактики Млечный Путь в таком виде, как её изображают в литературе и интернете.

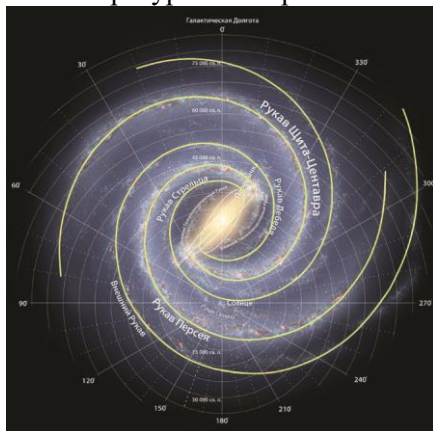


Рис.4.1 Карта галактики Млечный Путь [4, 11] с нанесёнными на неё кривыми, аппроксимирующими форму рукавов.

Как и в предыдущих разделах, мы принимаем для анимационных исследований, что параметры вращения (движения) галактики были неизменными, по крайней мере, на протяжении двух оборотов её спиральной структуры, то есть порядка 700 млн. лет.

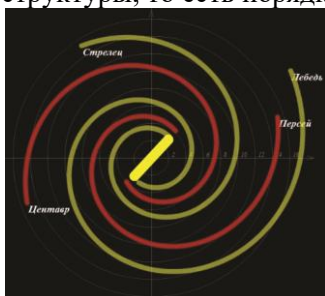


Рис.4.2 Галактика Млечный Путь с рукавами, аппроксимированными аналитическими функциями.

В этом случае на анимации нам хорошо видны все описанные выше странности с плотной закруткой рукавов в пределах одного-

двух оборотов галактики, как в прошлом, так и в будущем. Например, анимационное вращение данной модели галактики с наблюдаемой кривой вращения на 600 млн. лет назад (рис.4.3) приводит к перекручиванию её рукавов в обратном направлении и их практически полному слиянию в один сплошной диск. Ясно, что условие "твёрдого вращения" требует одинаковой угловой скорости вращения или близкой к ней всех элементов галактики.

Чтобы вычислить такую кривую "твёрдого вращения", примем за основу тангенциальные скорости звёзд на краю галактики (рукавов). Согласно наблюдениям, эта скорость приблизительно равна 265 км/сек. Радиус, по которому движутся звёзды с такой скоростью, согласно графикам кривой вращения, составляет приблизительно 16 кпс. Следовательно, при равенстве угловых скоростей, звёзды на расстоянии 1 кпс должны двигаться в 260/16 раз медленнее, то есть, со скоростью около 16,5 км/сек.

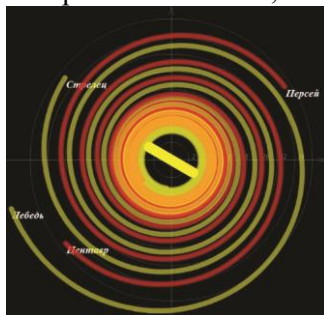


Рис.4.3 Если наблюдаемая кривая вращения существовала в прошлом, то всего два оборота назад (600 млн. лет назад) внешней структуры галактики Млечный Путь её рукава были плотно закручены в один сплошной диск.

Нанесём вычисленную кривую вращения на график наблюдаемой кривой и соединим её касательной с наблюдаемой кривой вращения, просто чтобы новый график имел более - менее законченный вид рис.4.4.

Подставив новую кривую вращения в нашу модель, мы сразу же получаем легко предсказуемый результат - теперь галактика движется без закручивания или раскручивания рукавов на длительных этапах своего вращения (рис.4.5). Однако, остаются неизбежные вопросы. Реальные наблюдаемые рукава галактики имеют явно закрученный вид почти на полный оборот. Как и когда это произо-

шло? Почему больше не происходит? Если бы галактика вращалась как твердое тело, то сразу же возник бы вопрос, почему рукава изогнуты. Как выглядели рукава до начала закручивания? На последний вопрос напрашивается, в общем-то, довольно очевидный ответ. Скорее всего, до начала закручивания рукава были прямыми.

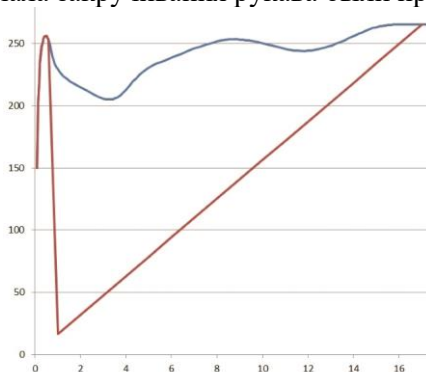


Рис.4.4 Кривая вращения галактики Млечный Путь как твердого тела, то есть, без закручивания рукавов, выделена красным цветом

Действительно, если бы они были закручены в обратном направлении, то вопрос остался бы без ответа: каким же они всё-таки были до закручивания, из какого состояния это закручивание началось? Только прямые рукава позволят сделать вполне разумное предположение.

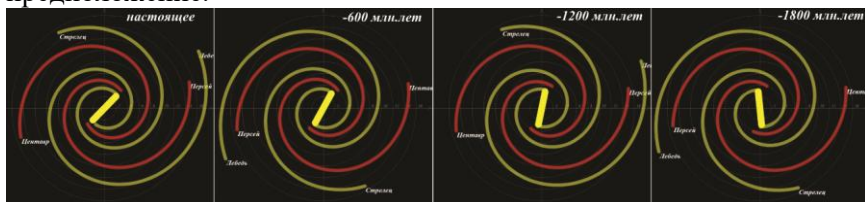


Рис.4.5 Галактика Млечный Путь на разных этапах своего движение с кривой вращения твердого тела имеет одинаковый вид, то есть, без закручивания рукавов.

Например, рукава образовались из джетов, выброшенных вращающейся звездой при её коллапсе, при переходе в состояние нейтронной звезды и затем черной дыры. Струи материи отставали от вращения самой звезды, закручиваясь в спирали. Возможно, что

в дальнейшем они, вращаясь, "подметали" окружающее пространство, собирая в себя газ и звёзды. Разумеется, это в случае вращения звезды в плоскости джетов.

Данная гипотеза является умозрительной, бездоказательной, лишь попыткой хоть как-то объяснить исходное, первичное состояние рукавов. Если под нею имеются хоть какие-то основания, то какой в этом случае была длительная история её кривой вращения? Как мы видели, наблюдаемая кривая вращения темной материи при ретроспективном анализе не приводит к выпрямлению рукавов. Наоборот, она закручивает их от центра таким образом, что внутренняя часть галактики оказывается через некоторое время закрученной в противоположном направлении к внешней.

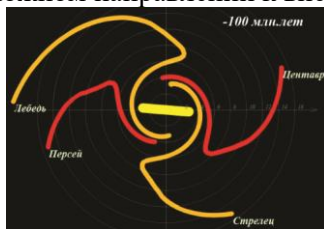


Рис.4.6 Галактика Млечный Путь с наблюдаемой кривой вращения имела двойную закрутку. Кадр из анимации [3]

Ни на одном из этапов эволюции галактика с такими кривыми вращения не проходит точку, хотя бы с приблизительно выпрямленными рукавами. Напротив, в некоторый средний момент времени между двумя противоположными закрутками рукава галактики имеют странный коленообразный вид, своеобразную двойную закрутку, с участками, закрученными как по ходу, так и против хода вращения (рис.4.6). Имея математическую модель вращения галактики, мы можем попытаться ответить на этот вопрос, принудительно спроектировав такую кривую вращения, при которой галактика Млечный Путь в ретроспективном анализе, то есть, при вращении её в обратном во времени направлении, окажется с выпрямленными рукавами. Или, по крайней мере, частично выпрямленными.

Рукава галактики, как мы видим, закручены в разной степени, поэтому при ретроспективе они не обязательно распрямятся все вместе, синхронно. Для проектирования требуемой кривой вращения, которую назовём спрямляющей кривой вращения, выберем один из рукавов, который наиболее вероятно был в прошлом пря-

мым. Для этого каждую точку этого рукава обратим вспять с такой скоростью, чтобы через несколько миллиардов лет все точки, пройдя разный путь, выстроились в прямую линию. Время на выпрямление мы можем задать любое, в течение которого предположительно существуют рукава. Принцип здесь един, но мы возьмём не очень большое время, поскольку для большого времени потребуется много оборотов галактики и, соответственно, длительность анимации. Например, для возраста в 12 млрд. лет потребуется около $12/0,3 = 40$ оборотов внешней структуры. Поэтому сначала для простоты возьмём 2 - 3 млрд. лет. Будем считать, что рукава галактики Млечный Путь возникли именно тогда.

Итак, за "рабочий рукав", который задаст форму кривой вращения, выберем Рукав Лебеда (4.2). Он достаточно длинный и яркий, то есть, содержит большое число звёзд и скоплений.

Принимаем во внимание, что рукав имеет угловую протяженность примерно 360 градусов. Поэтому до "выпрямления" внешняя часть рукава должна сделать на один оборот меньше, чем его внутренняя часть. Все остальные участки рукав – пропорционально их удалённости от центра. Каждый участок рукава, таким образом, должен пройти путь L_i от спрямленной линии рукава до нынешнего положения:

$$L_i = (\Omega_0 + \Delta\Omega_i) \cdot R_i$$

где:

R_i – радиус-вектор участка, его удалённость от центра галактики,

Ω_0 – угол, который пройдёт внешняя точка Рукава Лебеда

$\Delta\Omega_i$ – дополнительный угол, который пройдёт i -ая точка рукава.

То есть, каждая точка рукава прошла от начала до наших дней путь, равный произведению радиуса её траектории на полный угол. Этот угол равен углу, который прошла внешняя часть Ω_0 , плюс дополнительный поворот $\Delta\Omega_i$ по отношению к краю внешней части.

Этот же путь найдём по времени движения t_0 от точки, когда рукав был спрямленным, до наших дней и скорости элемента v_i :

$$L_i = v_i \cdot t_0,$$

Из двух полученных уравнений находим:

$$v_i = (\Omega_0 + \Delta\Omega_i) \cdot \frac{R_i}{t_0}$$

Дополнительный угол, который пройдёт i -ая точка рукава, и её радиус-вектор находим из уравнения для кривой Рукава Лебеда (2). Подставляем текущие углы точек рукава и получаем:

$$v_i = (\Omega_0 + \varphi_0 - \varphi_i) \cdot \frac{R_i}{t_0}$$

где:

φ_i – текущий угол i -ой точки от внутренней точки рукава

φ_0 – угол внешнего края рукава галактики от внутреннего края

Угол Ω_0 , который пройдёт внешняя точка Рукава Лебеда, находим по радиус-вектору этой точки и её скорости. В результате получаем окончательное уравнение для спрямляющей кривой вращения:

$$v_i = \left(\frac{t_0 v_0}{2R_0} + \varphi_0 - \varphi_i \right) \cdot \frac{R_i}{t_0}$$

И окончательно:

$$v_i = \frac{R_i}{R_0} v_0 + \frac{R_i (\varphi_0 - \varphi_i)}{t_0} \quad (4.3)$$

где:

v_i – искомая скорость i -ой точки галактики

R_i – радиус-вектор i -ой точки галактики

φ_i – текущий угол i -ой точки от внутренней точки рукава

φ_0 – угол дальнего края галактики от внутреннего края рукава

t_0 – время в прошлом, когда рукав был спрямленным

v_0 – скорость дальнего края спрямляемого рукава галактики

R_0 – радиус-вектор дальнего края галактики

Произведём вычисления спрямляющей кривой вращения по найденным уравнениям и изобразим галактику, как она выглядела бы 3 000 млн. лет назад, если бы вращалась с этой кривой вращения. Результат вычислений представляет собой таблицу скоростей для каждого радиуса галактики, то есть удалённости объекта от её центра.

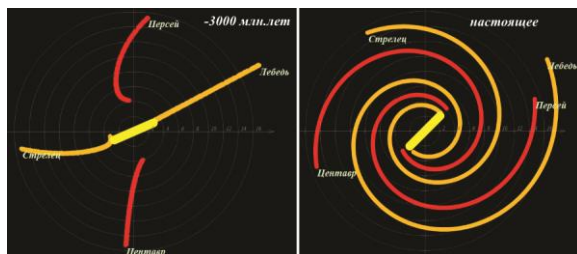


Рис.4.7 Рукав Лебеда около 3 000 млн. лет назад мог быть прямым. Кадры из анимации [3].

Теперь приводим в ретроспективное вращение каждый элемент рукавов галактики с вычисленными для них "спрямляющими" скоростями. На рисунке рис.4.7 приведены два статических изображения галактики: в наши дни (справа) и 3 000 млн. лет назад. И здесь мы обнаруживаем весьма неожиданную картину. На рисунке хорошо видно, что помимо Рукава Лебеда также почти выпрямился и Рукав Центавра. Более того, весь вид галактики напоминает крест, который, действительно, мог быть образован двумя парами разлетающихся в разные стороны джетов! Это позволяет повторить сделанное выше предположение, что:

в центре галактики Млечный Путь, вероятно, находились две чёрные дыры, которые почти одновременно "выстрелили" свои джеты, ставшие основой для будущих рукавов галактики.

Действительно, по сравнению с "приближениями", с которыми в астрономической литературе строятся графики и диаграммы, рисунок имеет почти идеальную точность. Конечно, мы помним, что картинка построена на основе математически аппроксимированных рукавов галактики, а время спрямления рукавов мы выбрали произвольно. Но и сам вид галактики нам известен лишь как математическая модель, хотя и построенная на основе астрономических наблюдений. Если эти наблюдения мы считаем достаточно точными, то и модели являются тоже достаточно точными.

5. Парадокс создателя

Казалось бы, обнаруженные астрономами отклонения кривых вращения звёзд и галактик от кеплеровских привести в соответствие с теорией позволила гипотеза о темной материи. Но, пожалуй, успехи гипотезы несколько преувеличены. Гипотеза о темной материи

не устраняет противоречий самих наблюдаемых кривых вращения. Проведённый выше анализ показывает, что независимо от причин формирования таких кривых, они парадоксальны сами по себе. Движение галактики Млечный Путь с кривой вращения, сформированной под влиянием темной материи, приводит к парадоксальным выводам о загадочной недолговечности рукавов. Можно с уверенностью заявить, что причиной этих парадоксов является не темная материя, а сама наблюдаемая кривая вращения. Что бы ни было причиной этой кривой, именно она определённо формирует движение звёзд и в прошлом и в будущем.

Если исходить из формы кривой вращения галактики Млечный Путь, считая, что кривая была и будет неизменной на достаточно длительном интервале времени в прошлом и в будущем, то можно утверждать, что галактика не может сохранить однажды сформированную закрученность рукавов, то есть, двигаться приблизительно как твердое тело, но с совершенно отличной от него кривой вращения.

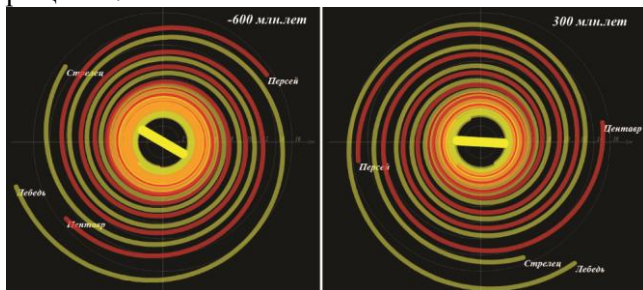


Рис.5.1 На кадрах видно, что и 600 млн. лет назад и через 200 млн. лет в будущем рукава закручены до слияния

Это значит, что за полный оборот удалённой звезды вокруг центра галактики, ближняя к нему должна совершить большее число оборотов! Галактика неизбежно должна либо закручивать рукава, либо распрямлять их. Для того чтобы галактика сохраняла свою форму на достаточно длительном промежутке времени, звёзды на окраине галактики должны двигаться с ещё большей скоростью, чем это допускает гипотеза о темной материи. Либо, наоборот, ближние к её центру – с существенно меньшей скоростью. То есть, отклонение кривой вращения от кеплеровской должно быть ещё больше. Но это условие требует, чтобы примерно один-два оборота

назад внешней структуры галактики рукава галактики были закручены в обратном направлении. А ещё ранее рукава вообще были плотно закручены в сплошной диск. Такая же картина будет и в пределах следующего оборота галактики: рукава сольются в один сплошной диск.

И всё это следует только из одного единственного обстоятельства – наблюдаемой кривой вращения. Что бы ни было причиной этой кривой, именно она определённо должна формировать движение звёзд и в прошлом и в будущем. Однако, это приводит к противоречию. Если исходить из формы кривой вращения галактики Млечный Путь, считая, что кривая была и будет неизменной на достаточно длительном интервале времени в прошлом и в будущем, то можно утверждать, что галактика не может сохранить однажды сформированную закрученность рукавов, то есть, двигаться как твердое тело.

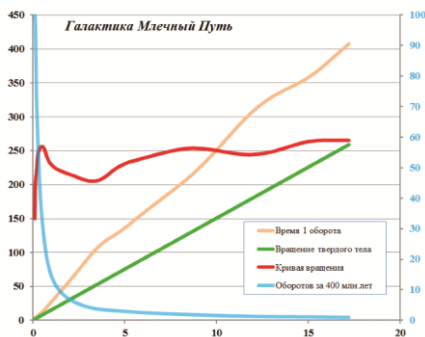


Рис.5.2 Наблюдаемая кривая вращения галактики Млечный Путь и вычисленные на её основе время на оборот и количество оборотов за 400 млн. лет. [9]

На рисунке показана наблюдаемая кривая вращения галактики Млечный Путь и вычисленные на её основе время, требуемое каждой звезде на полный оборот вокруг центра, и количество оборотов вокруг центра галактики, которые совершит каждая звезда за, взятые как пример, 400 млн. лет (время, близкое к одному периоду вращения). Левая вертикальная шкала графика – скорость звёзд галактики. Правая вертикальная шкала – число оборотов звёзд вокруг центра галактики. Горизонтальная шкала – удалённость звёзд от центра галактики. Красным цветом на графике изображена наблюдаемая кривая вращения галактики Млечный Путь. Зелёным цветом

изображена кривая вращения галактики, если бы она была твёрдым телом. Голубым цветом изображена зависимость числа оборотов каждой звезды за 400 млн. лет. Например, звезда, удалённая от центра галактики приблизительно на 2 кпс, сделает за это время около 10 оборотов. Горчичным цветом на графике изображено время одного оборота каждой звезды. Например, звезда, удалённая от центра галактики на 5 кпс делает один оборот примерно за 120 млн. лет. Все соотношения на графике выведены на основе наблюдаемой кривой вращения.

Из графика видно, чем звезда дальше от центра, тем больше времени ей требуется на один оборот, причём эта пропорциональность, как видно на рисунке, лишь незначительно волнистая, почти прямолинейная – график горчичного цвета. Эта зависимость довольно примечательна. В ней можно заметить эффект выпрямления рукавов. Её близость к прямолинейности скрывает в себе пропорциональность пути в зависимости от удалённости от центра. А это, собственно говоря, и приводит к равномерному закручиванию рукавов и эта взаимосвязь, очевидно, не случайна.

За 400 млн. лет каждая звезда сделает различное число оборотов вокруг центра. Чем она ближе к нему, тем больше оборотов. Что интересно, эта зависимость (синий график) очень похожа на кеплеровскую зависимость скоростей:

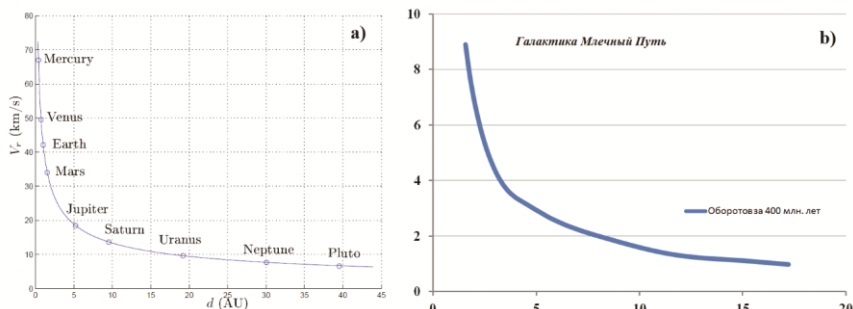


Рис.5.3 а) кеплеровская зависимость скоростей планет Солнечной системы [6] и похожий на неё б) график зависимости углового пути звёзд галактики Млечный Путь

Правда, почти гиперболически от расстояния зависит не скорость звёзд, а обратная ей величина – угловой путь, то есть количество оборотов, пройденных звёздами за одинаковое время. На рисунке б) видно, что за выбранный период времени 400 млн. лет,

каждый участок галактики, её рукавов сделал разное число оборотов. Это фрагмент вышеприведённой диаграммы – здесь оставлен диапазон расстояний, занимаемых рукавами галактики. Их внутренние края находятся приблизительно на расстоянии 2 кпс от центра галактики. Если внешние участки совершили один оборот, то внутренние – до 9 оборотов. Другими словами, до прихода к нынешнему состоянию рукавов галактики Млечный Путь с наблюдаемой кривой вращения отдельные участки рукавов совершили вращение почти с десятикратным различием. Но картина галактики такова, то внутренние участки рукавов опередили их внешние участки приблизительно на 360 градусов, то есть, всего на один оборот (рис.2.1, 2.3, 3.1, 3.2, 4.1).

Вместе с тем, из графика углового пути следует, что за предыдущие 400 млн. лет движения с наблюдаемой кривой вращения эта разница оборотов между внутренними и внешними краями рукавов должна быть в десять раз больше. Это при условии, что рукава не были закручены в обратном направлении 400 млн. лет назад, а затем лишь "выбрали" эту десятикратную разницу.

Однако, если исходить из такого условия, возникают не менее сложные вопросы. Почему именно 400 млн. лет назад рукава были закручены в обратную сторону? Чем особенным за 14 млрд. лет существования Вселенной выделилась наша эпоха, что именно теперь рукава сначала закрутились в одну сторону, затем пере-закрутились в противоположную? Если они были закручены в этом противоположном направлении, то как долго происходило это закручивание? Насколько плотно были рукава закручены? И что было на этом интервале времени: были ли рукава прямыми? Анализ имеющихся числовых значений о движении галактики показал, что нет, на этом интервале галактика при наблюдаемой кривой вращения не могла иметь выпрямленных рукавов. Более того, рукава галактики Млечный Путь при такой кривой вращения чуть более 600 млн. лет назад должны были быть закручены в плотный клубок, в котором они были вообще неразличимы. И, наоборот, через 200 - 300 млн. лет рукава также окажутся плотно закрученными в нынешнем направлении, визуальнo станут неразличимы. Галактика Млечный Путь будет без рукавов, обычной дисковой галактикой. И вновь мы приходим к выявленной выше странной ситуации:

с наблюдаемой ныне кривой вращения "от темной материи" рукава галактики Млечный Путь не могут иметь ту форму, кото-

рую на основании астрономических наблюдений и вычислений изображают в литературе.

Либо в последние миллиарды лет кто-то, буквально вручную, "подправляет" форму галактических рукавов. Крайне наивно надеяться темную материю такими экзотическими свойствами, почти свойствами разума, позволяющими ей столь замысловато искривлять траектории движения звёзд.

6. Образование рукавов галактики

Предвзятый и скрупулезный анализ влияния кривой вращения галактики Млечный Путь на форму её рукавов, вынуждает гипотезу о темной материи и наблюдаемую кривую вращения делать едва ли не абсурдные предсказания. Выходит, что гипотеза о темной материи не только не устраняет противоречий наблюдаемой кривой вращения нашей галактики, но, напротив, выявляет парадоксы самих этих кривых.

Логично предположить, что возможна какая-то иная долговременная форма кривой вращения, которая за многие миллиарды лет позволила принять рукавам Млечного Пути ту форму, какую стало возможным ныне вычислить по астрономическим наблюдениям. Но в этом случае возникает закономерный вопрос: а какой была галактика "в начале пути"? И "когда оно началось, это начало"?

Выдвинем предположение, что галактика образовалась ну, скажем, 3 млрд. лет назад. Этот срок взят из утилитарных соображений: чтобы было проще просматривать эволюцию на анимации. Кроме того, выше мы уже рассчитали так называемую спрямляющую кривую вращения для такого же срока. Такая кривая позволяет вновь обратиться к выдвинутой в предыдущих разделах гипотезе, что рукава могли возникнуть, например, в результате коллапса двух черных дыр, которые выбросили в разных направлениях свои джеты. Вращаясь, эти джеты, скажем так, "подметали" окружающее пространство, собирая в себя газ и звёзды. Постепенно рукава закрутились в нынешнюю форму. Почему черных дыр две? Потому что рукавов четыре, а джеты образуются парами.

С целью рассмотреть вероятных ход процесса формирования рукавов и их эволюции в рамках озвученной гипотезы вновь используем математическую модель вращения галактики Млеч-

ный Путь. За исходную форму рукавов, как и ранее, возьмем одно из изображений галактики в интернете рис.2.1 [4, 11] с нанесёнными на неё функциональными кривыми, аппроксимирующими форму рукавов рис.4.1.

Как и в рассмотренных выше случаях, на карте тонкими желтыми линиями нанесены аппроксимирующие аналитические кривые рукавов. Можно с уверенностью утверждать, что совпадение линий и астрономической формы рукавов достаточно хорошее. Для построения этих линий вновь были составлены аналитические уравнения формы рукавов в полярных координатах следующего вида:

$$\begin{aligned} \text{Рукав Щита-Центавра:} \quad R &= 0,1690\varphi^2 + 1,9538\varphi + 8,1629 \\ \text{Рукав Персея:} \quad R &= 0,2689\varphi^2 + 0,1631\varphi + 4,3407 \\ \text{Рукав Стрельца:} \quad R &= 0,2114\varphi^2 - 0,1821\varphi + 3,5837 \\ \text{Рукав Лебеда:} \quad R &= 0,1801\varphi^2 + 1,1166\varphi + 5,0917 \end{aligned} \quad (4.4)$$

где:

R – радиус-вектор некоторой точки рукава от центра галактики, кпс
 φ – текущий угол этой точки от внутреннего края рукава, рад

Заметим, что это новые уравнения, отличающиеся от использованных в предыдущих разделах. Они от них ничем принципиально не отличаются и выбраны лишь из соображений более рационального диапазона изменения углового параметра φ . Углы вращения радиус-векторов φ в этих уравнениях изменяются приблизительно в следующих диапазонах:

$$\begin{aligned} \text{Рукав Щита-Центавра:} \quad \varphi &= -2,4 \dots 3,5 \\ \text{Рукав Персея:} \quad \varphi &= 0,8 \dots 6,6 \\ \text{Рукав Стрельца:} \quad \varphi &= 0,9 \dots 8,4 \\ \text{Рукав Лебеда:} \quad \varphi &= -2,1 \dots 6,8 \end{aligned}$$

Выведенные уравнения рукавов позволяют легко вычислить основные параметры движения галактики на произвольном интервале времени. В первую очередь ещё раз проверим, возможна ли и какой могла бы быть кривая вращения, чтобы исходным состояние рукавов были прямые линии, наши гипотетические джеты. Искомую кривую вращения, которая выпрямит за указанное время рукава, можно найти как решение уравнения для рукава (4.4) и выведенного выше уравнения (4.3).

Не трудно заметить, что первое слагаемое в этом уравнении – это уравнение кривой вращения твердого тела. Второе слагаемое – приращение скорости точки (звезды), необходимое для прохожде-

ния дополнительного пути, вызванного её угловым отставанием (опережением) от дальней точки рукава галактики. Видимо, это решение определённо спрямит выбранный рукав, но нет гарантии, что выпрямленными будут и другие рукава, что, собственно мы выше уже увидели.

Действительно, повернув галактику в математической модели с полученной кривой вращения на заданное время – 3 млрд. лет, мы получаем примерно такой вид рукавов, как изображено на рис.4.7 слева. Собственно, ничего неожиданного не произошло. Как и предполагалось, и было выше определено, Рукав Лебедя выпрямился, а три других лишь приблизительно вытянулись вдоль прямых. Тем не менее, эта картина достаточно хорошо отражает вид галактики, как бы образовавшейся 3 млрд. лет назад из двух пар джетов.

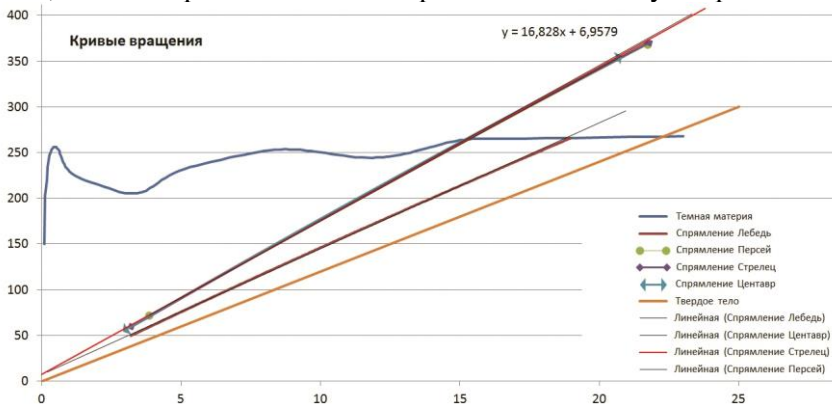


Рис.6.1 Кривые вращения – наблюдаемая и спрямляющие – за 3 млрд. лет. Сверху - уравнение тренда спрямляющей кривой вращения Стрельца.

Но здесь есть другой интересный момент. В процессе осуществления построений обнаружился довольно любопытный факт. С помощью аппроксимирующих уравнений рукавов галактики были построены спрямляющие кривые вращения для каждого из рукавов в отдельности. И опять неожиданность: обнаружилось, что для срока спрямления в 3 000 млн. лет все четыре вероятные спрямляющие кривые вращения сами оказались с высокой точностью прямыми линиями (рис.6.1). На рисунке изображены вычисленные кривые вращения, при ретроспективном движении с которыми на 3 млрд. лет назад, соответствующие рукава галактики окажутся вы-

прямыми. Действительно, хотя это по определению *кривые* вращения, назвать эти линии кривыми весьма сложно. Кроме этого, оказалось, что кривые вращения трёх из четырёх рукавов галактики практически слились в одну линию (верхняя группа прямых). Лишь тонкие линии трендов (названия – Линейная) позволяют разглядеть некоторое незначительное отклонение их друг от друга.

Заметно, что вид спрямляющих кривых вращения сильно напоминает кривую вращения твёрдого тела, также изображённую на этом рисунке (нижняя прямая). Отличие в малом – спрямляющие кривые вращения не проходят через начало координат диаграммы. Спрямляющая рукава Лебедь – средняя прямая.

Описанный здесь анализ проводился ретроспективно – от наших дней в прошлое. Но для проверки нашей джет-гипотезы явно требуется рассмотреть прямую эволюцию – от появления джетов и до наших дней. Для такой проверки самым непосредственным образом есть, в общем-то, всё необходимое. Мы приняли, что в центре нашей проектируемой галактики находятся две чёрные дыры, "выстрелившие" четыре джета под углом 60 градусов между парами. Этот угол между двумя парами джетов можно легко "подсмотреть" в нашей галактике, прокрутив её в прошлое на принятые 3 млрд. лет с кривой вращения, которая распрямила Рукав Лебедя. В конечном счете, была сформирована картина исходного вида рукавов модели галактики, показанная на рис.6.2.

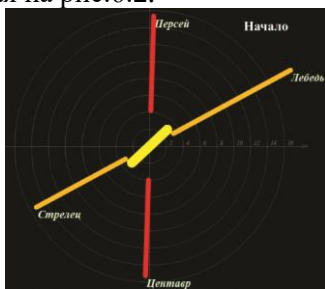


Рис.6.2 Вид рукавов галактики Млечный Путь в момент их возникновения. Кадр из анимации [3]

Рукава галактики – джеты на данном рисунке и в модели являются строгими математическими отрезками прямых. Фактически изображенные здесь рукава являются идеализацией рис.4.7. Будем считать, что эти идеализированные рукава успели вытянуться после "выстрела" до такой протяженности до того, как галактика заметно

повернулась, и рукава начали изгибаться. Даже со скоростью распространения джетов, близкой к скорости света, они вытянутся на всю длину галактики более чем за 50 тысяч лет (радиус галактики). Но это заметно меньше одного шага вращения галактики – меньше 1 углового градуса за миллион лет, то есть, допущение вполне правомерное.

Длины отрезков джетов мы приняли в точности равными тем, что и на всех предыдущих изображениях. То есть, радиусы от центра галактики концов джетов равны соответствующим радиусам одноименных рукавов галактики. Например, джет Стрелец начинается и заканчивается на тех же орбитах, что и Рукав Стрельца. Угол между осями джетов, как указано, взят равным в точности 60 градусам, а джеты Центавр и Персей расположены строго вертикально. Поведение и вид перемиčky (балджа) мы не анализируем и сохраняем её лишь как реально существующий элемент. Теперь строим анимационную модель и смотрим, что произойдёт с джетами через 3 млрд. лет:

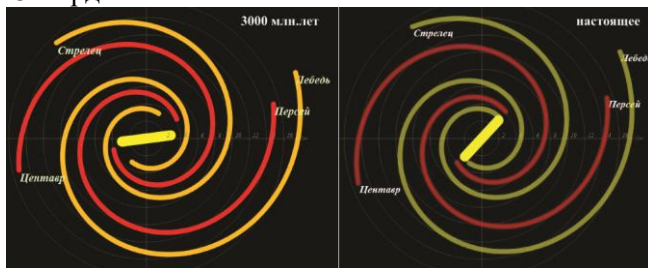


Рис.6.3 Изображение галактики Млечный Путь с рукавами, образованными за 3 млрд. лет из двух пар джетов (слева) и нынешнее её представление (справа). Кривая вращения – выпрямляющая Рукав Лебедя.

Слева на рисунке показан результат вращения прямолинейных джетов в течение 3 млрд. лет от образования и до наших дней с кривой вращения, спрямляющей Рукав Лебедя. Справа вид галактики, являющейся аппроксимацией действительной формы галактики в наши дни. Сразу же следует отметить, что получился несколько неожиданный результат. Конечно, можно было предположить, что получится что-то отдаленно напоминающее вид нашей галактики в нашем нынешнем представлении о ней... Но эти две картинки – просто близнецы:

вращение джетов под воздействием кривой вращения, близкой к твердому телу, выпрямляющей кривой вращения с высокой вероятностью приводит к возникновению галактических рукавов. Возможно, именно так образовались рукава галактики Млечный Путь.

Понятно, что скептик резонно возразит: ещё бы! Срок от возникновения рукавов до наших дней мы сами же и заложили в кривую вращения. Она была спроектирована именно таким образом, чтобы прямые струи джетов "изогнулись" в такие рукава за такое время. Это так и не так. Кривая вращения, которую мы использовали, выпрямила рукава галактики до несколько иной формы. Мы же взяли изначально строго прямолинейные струи джетов, никак не связанные с будущей формой рукавов! В них никем и ничем не заложена программа "изогнуться именно таким образом". То есть, кривая вращения на самом деле предназначалась для другой цели, с которой она превосходно справилась. Кроме того, мы видели, что у разных рукавов эти кривые имеют практически одну и ту же форму.

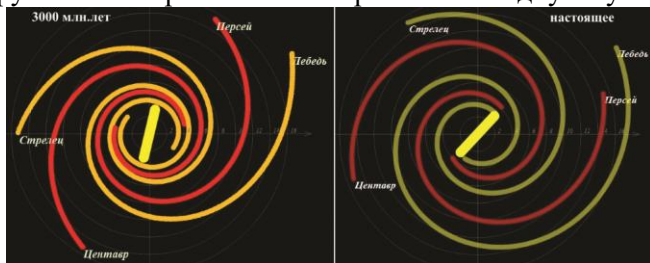


Рис.6.4 Изображение галактики Млечный Путь с рукавами, образованными за 3 млрд. лет из двух пар джетов (слева) и нынешнее её представление (справа). Кривая вращения – выпрямляющая Рукава Лебеда.

Можно утверждать, что форма спрямляющих кривых вращения зависит в большей мере от срока, за который рукава примут нужную нам форму. Сложно подобрать в приведённом на рис.6.1 диапазоне кривых вращения принципиально отличающуюся от изображенных. Мы использовали кривую вращения, спрямляющую Рукав Лебеда (нижняя), но можем эту кривую вращения буквально начертить по линейке. Результат будет весьма схожим. Используемая спрямляющая кривая, вспомним, является таблицей данных. Но можно её аппроксимировать и прямой линией, что, в общем-то,

позволяют графики рис.6.1. Используя такую аналитическую аппроксимацию спрямляющей Рукава Лебеда, мы получаем картину, изображенную на рис.6.4 слева.

Можно признать, что совпадение достаточно хорошее. Но, может быть, такая же картина будет наблюдаться и с другими кривыми вращения? Для полной объективности картины происхождения рукавов посмотрим, что произойдёт, если кривая вращения будет той, которая сформирована темной материей, наблюдаемой кривой вращения. Произведём вращение джет-рукавов галактики в течение 3 000 млн. лет, используя наблюдаемую кривую вращения. Результат явно отличается от существующей формы галактики. Нет даже близкого сходства. Причём отклонения превысили все мыслимые пределы уже через 600 млн. лет:

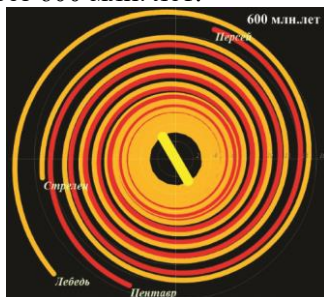


Рис.6.5 Модель галактики Млечный Путь с рукавами - джетами через 600 млн. лет после их образования и вращения с наблюдаемой кривой вращения.

Как видим, под действием кривой вращения от темной материи из джетов может получиться только сплошная дисковая, безрукавная галактика. Формирование рукавов галактики однозначно определено формой кривой вращения. Здесь уже нет необходимости приводить для сравнения рисунок нынешнего вида галактики, всё достаточно очевидно:

наблюдаемая кривая вращения, заданная темной материей, не способна сформировать известные нам рукава галактики Млечный Путь. Наоборот, она приводит к их деградации.

7. Образование рукавов с наблюдаемой кривой вращения

Стремление выявить роль темной матери в формировании спиральных рукавов галактики Млечный Путь приводит к выводу, что условия для этого крайне сомнительны. Любые математические ухищрения всегда приводят к одному и тому же результату. Если бы галактика двигалась с наблюдаемой кривой вращения, сформированной темной материей, то всего два оборота назад — около 600 млн. лет — её рукава должны были быть "закручены" в обратную сторону. И, напротив, в течение следующих нескольких оборотов она должна полностью лишиться рукавов, которые туго свернутся, равномерно заполняя весь её диск. Учитывая, что возраст галактики предполагается порядка десятка миллиардов лет, её прошлое вообще не поддается описанию.

Но, это относится к наблюдаемой кривой вращения. С такой кривой вращения гипотеза о темной материи, как выявлено, не только не устраняет противоречий самой наблюдаемой кривой вращения нашей галактики, но, напротив, создаёт новые. Собственно, она построена на основании астрономических наблюдений за звёздами и, вполне вероятно, в реальности может иметь форму, несколько отличающуюся от предполагаемой.

Логично допустить, что возможна иная, с определёнными погрешностями, но достаточно близкая по форме к наблюдаемой кривой вращения, которая всё-таки позволила принять рукавам Млечного Пути ту форму, какую стало возможным ныне вычислить по астрономическим данным.

В этом случае вновь возникает естественный вопрос об исходной форме галактических рукавов. Самым разумным предположением, по-прежнему, является возникновение рукавов в результате коллапса двух черных дыр, которые выбросили в разных направлениях две пары джетов.

Выше мы рассмотрели вариант формирования нынешней формы рукавов галактики за срок в 3 000 млн. лет, если исходной структурой для них послужили бы две пары джетов, испущенных при коллапсе двух черных дыр. Этот срок был выбран без каких-либо особых условий, произвольно. При этом была получена кривая вращения, более похожая на кривую вращения твердого тела, чем на наблюдаемую кривую вращения, сформированную, как считает-

ся, темной материей. В результате эволюции мы получили весьма близкую к ныне известной форме рукавов галактики.

Использованный алгоритм, уравнение (4.4) ко всему прочему позволяет построить семейство спрямляющих кривых вращения для различных сроков спрямления. То есть, выбрав произвольно некоторый срок, мы приводим во вращение "прототип" галактики со строго прямолинейными рукавами-джетами, и в течение выбранного срока прямолинейные рукава принимают известную ныне форму. И сейчас нас интересует противоположный процесс – движение от даты возникновения рукавов-джетов до наших дней. Предполагаем, что все четыре рукава закрутятся в известную нам спиральную форму. Поэтому мы изначально можем задать эти "заготовки" в строгой прямолинейной форме подобные рис.6.2 или 7.2 (слева).

В этом произволе, понятно, нет ничего необычного, ведь спрямляющая кривая вращения как раз и назначается из этого условия, чтобы с нею прямые рукава приобрели нынешнюю форму. Но при рассмотрении семейства таких спрямляющих оказалось, что они для больших сроков спрямления практически приближаются к прямым линиям, близким по расположению к кривой вращения твердого тела. И, наоборот, при уменьшении срока спрямления эти кривые начинают принимать всё более искривлённую форму.

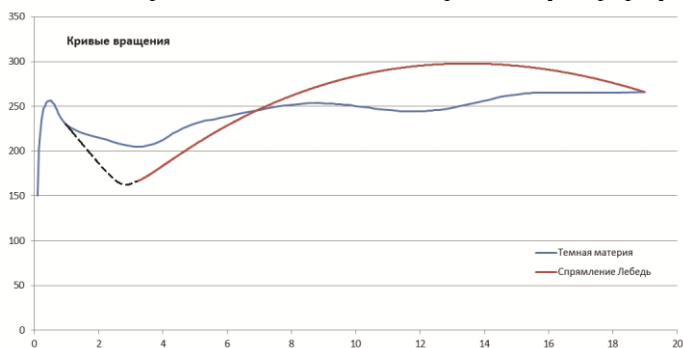


Рис.7.1 Кривые вращения – наблюдаемая и спрямляющая

Более того, зависимость оказалась такой, что начиная примерно с 200-300 млн. лет эволюции и менее, спрямляющая кривая вращения начинает приближаться по форме к наблюдаемой кривой вращения. Если "на глазок" выбрать срок, за который рукава из джетов преобразуются в спирали, порядка 120 млн. лет, то эта кри-

вая вращения будет выглядеть весьма близкой по форме к наблюдаемой.

На рисунке изображены наблюдаемая кривая вращения и вычисленная спрямляющая кривая вращения Рукава Лебеда при ретроспективном движении на 120 млн. лет. Если посмотреть на исходную картину наблюдаемой кривой вращения, какой она представлена в литературе (рис.2.2), то можно согласиться с тем, что указанная спрямляющая вполне годится на её роль, является в достаточной степени её подобием. При этом главное заключается в том, что эта спрямляющая кривая вращения неплохо вписывается в наблюдаемые диапазоны скоростей звёзд, погрешности, то есть, практически согласуется с гипотезой о темной материи. На рисунке штриховой линией добавлен участок перехода её на малые дистанции, поскольку для спрямления (закручивания) рукавов скорости на этих интервалах не задействованы. Запустив математическую модель (анимацию) с исходной формой рукавов галактики, показанной на рисунке, и заданным сроком спрямления, мы получаем результат рис.7.2. Слева а) на рисунке (анимации) показано, как могли бы выглядеть рукава галактики Млечный Путь 120 млн. лет назад в результате коллапса двух звёзд и выброса ими двух пар джетов. Рукава галактики – джеты на данном рисунке идеализированы и в модели являются строгими математическими отрезками прямых.

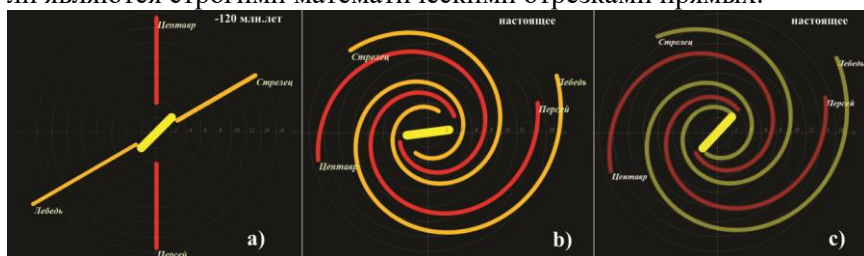


Рис.7.2 Слева - галактика Млечный Путь с рукавами из джетов. Анимация [3]. Справа – аппроксимация рукавов в наши дни согласно рис.4.2.

На рисунке в центре б) показан результат математического эволюционного вращения галактики с прямолинейными джетами в течение 120 млн. лет, от их образования и до наших дней со спрямляющей кривой вращения рис.7.1, спроектированной по описанному выше алгоритму. Справа с) - вид галактики, являющейся ап-

проксимацией действительной формы галактики в наши дни и изображенной выше на рис.4.2.

Сразу же следует отметить, что, казалось бы, получился в точности ожидаемый результат. Действительно, кривую вращения мы проектировали из обратного условия: она и должны быть такой, чтобы при обратном вращении рукава выпрямились. Поэтому вроде бы нет ничего удивительного, что эти две картинки – просто близнецы. Однако, есть некоторые тонкости. При ретроспективном вращении галактики мы, строго говоря, получили не совсем эти рукава, которые затем взяли за основу. На самом деле спрямляющая кривая вращения не совсем одинаково спрямила все четыре рукава, просто эти различия довольно незначительны. Тем не менее, мы можем сделать вывод, что:

вращение джетов под воздействием спрямляющей кривой вращения, близкой к наблюдаемой (темной материи), обязательно приводит к возникновению реалистичных спиральных галактических рукавов. Поэтому можно допустить, что спиральные рукава галактики Млечный Путь возникли таким образом.

Выходит, мы получили новое подтверждение реальности темной материи? Ещё одно доказательство её действенности? И это после того, как предыдущих разделах мы пришли к прямо противоположным заключениям:

наблюдаемая кривая вращения, заданная темной материей, не способна сформировать известные нам рукава галактики Млечный Путь. Наоборот, она приводит к их деградации.

Но не будем спешить с выводами. Если присмотреться к условиям, на которых темная материя и её кривая вращения смогли бы сформировать спиральные рукава галактики, то мы заметим их крайне сомнительную вероятность. В истории галактики Млечный Путь срок в 120 млн. лет – это краткий миг. Как могло случиться, что всего только миг назад рукава лишь зародились? При этом нам известно, что наша солнечная система в десятки раз старше. Если бы 120 млн. лет назад была вспышка, то джеты от неё, несомненно, накрыли бы всю солнечную систему, и последствия этого могли быть весьма плачевны, фатальны. Кроме этого, за столь короткий срок струи газа и вещества вряд ли успели бы превратиться в плотные звёздные образования, в рукава.

И, наконец, мы всё-таки довольно заметно подкорректировали форму наблюдаемой кривой вращения до нашей спрямляющей

кривой вращения, а это должно было бы непосредственно сказаться на спиралевидности рукавов.

Поэтому справедливым следует считать всё-таки выше полученный вывод: под влиянием кривой вращения темной материи из наших гипотетических джетов или реальных спиральных рукавов может получиться только сплошная дисковая, безрукавная галактика. При этом формирование рукавов галактики однозначно определено формой кривой вращения и роль темной материи в этом процессе практически не видна.

8. Образование спиральной структуры пульсара

Несложно догадаться, что предположение о возникновении рукавов из джетов черных дыр автоматически подразумевает наличие таких же рукавов и у любого пульсара, вращающейся звезды. Такие пульсары зачастую изображают в научно-фантастических фильмах в виде двух вращающихся "мечей джедаев" из Звёздных войн. Однако, это ошибочное представление. Разлетающиеся в противоположные стороны со скоростью света гамма-лучи неизбежно должны описывать спиральную траекторию.

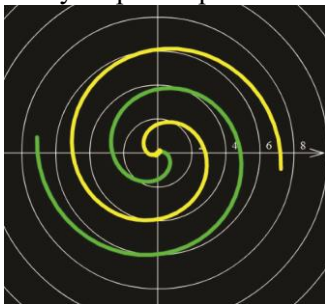


Рис.8.1 Ожидаемый вид на плоскость вращения пульсара. После взрыва звезды, излучаемые ею лучи (джеты) описывают в пространстве спирали. Точно также могут формироваться рукава у вращающихся квазаров. Анимация [3]

Действительно, по космическим меркам скорость света – незначительная скорость. За время половины оборота пульсара, скажем, в течение одной секунды фронт гамма-луча удалится на одну световую секунду. При этом между "фронтальными" фотонами и звездой-источником явно не будет никаких других фотонов, по-

скольку в *этом* направлении на протяжении секунды звезда больше ничего не излучала. Следовательно, если смотреть на *плоскость* вращения пульсара мы точно сможем увидеть спиральную траекторию фронта фотонов. Понятно, что видеть траекторию можно лишь в случае рассеяния фотонов межзвёздным газом.

Единственной причиной такой картины является ограниченность скорости света. Каждая новая порция фотонов от звезды излучается каждый раз в новом направлении. Но однажды излученные фотоны навсегда обречены двигаться только в одном направлении до встречи с каким-либо препятствием.

Это очевидное обстоятельство имеет довольно любопытное продолжение. Как видно на рисунке фотоны образуют своеобразные спиральные "рукава", очень напоминающие рукава спиральных галактик. Можно предположить, что спиральные рукава галактик возникают в схожем механизме. Например, при взрыве вращающегося квазара он излучает джеты – мощные выбросы вещества. Если выбросы происходят в плоскости вращения, то, очевидно, они также будут закручиваться, образуя похожие спиральные рукава.

Как прямолинейно выброшенные потоки квантов образуют спиральную структуру, хорошо видно на анимации [3]. Параметры вращения пульсара и размеры пространства – условные. Вращение замедлено для того, чтобы можно было хорошо рассмотреть детали. Если считать, что скорость вращения на анимации замедлена в пять раз, то есть, в реальности составляет один оборот за 2 секунды (секундный пульсар), то масштаб расстояний на рисунке соответствует 14 световым годам.

Не сложно вообразить, что потоки, испускаемые звездой, – вещественные, ими могут быть, например, джеты квазара. В этом случае их протяженность будет ограниченной, но рукава будут образованы схожим образом.

Белые пятна Черных дыр

Несомненно, Солнце сделано из чистого золота, именно поэтому оно так блестит.

1. Парадоксы космологической сингулярности

Едва ли не в самой большой мере свою популярность теория относительности получила благодаря предсказанию сингулярностей. Сингулярность является одним из самых удивительных и загадочных физических объектов, хотя их реальное существование до сих пор многими физиками ставится под сомнение. Достаточно сказать, что с нею связано само происхождение нашей Вселенной, всего Бытия, в том числе возникновение пространства и времени. «Сингулярность» переводится как «единственный, особенный» и в физике обозначает особенные состояния пространства-времени. Считается, что в так называемых Черных дырах имеется гравитационная сингулярность:

«Гравитационная сингулярность – область пространства-времени, через которую невозможно гладко продолжить входящую в неё геодезическую линию.

... либо метрика обладает иными патологическими свойствами, не допускающими физической интерпретации.» [50].

Очевидно, что самой первой сингулярностью следует считать космологическую сингулярность – состояние Вселенной в начальный момент Большого взрыва, характеризующееся бесконечной плотностью и температурой вещества. Космологическая сингулярность по описаниям в физической и философской литературе даёт основания присвоить ей ещё и «титул» - «божественная сущность». Действительно, обычное описание Большого Взрыва можно сформулировать кратко, что Вселенная возникла «Нигде, Никогда, из Ничего». Тем не менее, такое иррациональное происхождение вопреки даже мнению его сторонников в современной физике всё-таки сводится к наличию чего-то «до сингулярного». Это либо некие инфлатонные поля, либо скалярные поля иного содержания, либо пульсирующие Вселенные, то возникающие из сингулярности, то вновь в них проваливающиеся. Не менее загадочно обстоят дела и с гравитационной сингулярностью.

«Гравитационная сингулярность ... - точка (или подмножество) в пространстве-времени, через которую невозможно гладко продолжить входящую в неё геодезическую линию. В таких областях становится неприменимым базовое приближение большинства физических теорий» [10].

Наблюдать сингулярности непосредственно невозможно, при нынешнем уровне развития физики они являются лишь теоретическим построением. Считается, что описание пространства-времени вблизи сингулярности может дать квантовая гравитация. Такие сингулярности менее фундаментальны, чем космологическая, и считается, что они присущи конкретным объектам во Вселенной – Черным дырам. В отношении таких сингулярностей ведущие физики довольно определённо признают нефизичность этого понятия:

«Строго говоря, появление сингулярностей в теории сигнализирует о том, что эта теория является неточной или неполной. Поэтому уже сам факт существования сингулярностей бросает вызов теоретикам» [55].

Речь идёт, конечно же, в первую очередь об общей теории относительности, которая математически предсказывает существование Черных дыр и сингулярностей в них. Английский физик Стивен Хокинг определяет сингулярность как

«место, где разрушается классическая концепция пространства и времени так же, как и все известные законы физики» [60].

Получается, что Хокинг практически признаёт, что современная физика пока не может ни описать, ни объяснить строение Черной дыры.

«существует ли «космический цензор», запрещающий появление голых сингулярностей и облачающий каждую из них в абсолютный горизонт событий?» [27].

Этот вопрос является, возможно, самым фундаментальным нерешённым вопросом обще-релятивистской теории коллапса. По очевидным соображениям «увидеть» сингулярность в прямом смысле невозможно – в этом отношении нет особой разницы между горизонтом событий Черной дыры и «чистой» сингулярностью. В цитате отражается факт того, что гравитационные сингулярности могут возникать только внутри Черной дыры, и какова причина этого, какой «космический цензор» установил это правило, неизвестно. Проблему невозможности описания сингулярности в общей теории

относительности в настоящий момент решить не удаётся, но есть надежда, что в будущем, пока ещё только развивающаяся

«квантовая гравитация действительно устранил сингулярности» [27].

Хотя, как видим, здесь речь идёт не столько об описании самой сингулярности, сколько, как можно понять, о замене её на более физичную сущность. Сама сингулярность как бесконечно малая область с бесконечно большой плотностью должна уйти из теорий. Но неясно, чем её заменить, поскольку Черные дыры уже фактически обнаружены, описать их поведение без гравитационной сингулярности практически невозможно. Возникновение Черных дыр и сингулярностей в них связывают исключительно с последним этапом в жизни звёзд – коллапсом. Коллапс...

«...по крайней мере в рамках общей теории относительности ... неизбежно приводит к возникновению сингулярности» [27].

Инварианты, характеризующие кривизну пространства-времени, в процессе коллапса неограниченно возрастают, и через конечное время по часам на коллапсирующем теле кривизна в его центре становится бесконечно большой. Тело непрерывно сжимается и его плотность неограниченно возрастает:

«При этих условиях естественно ожидать возникновения сингулярности или какой-либо иной «неприятности» [27].

И действительно, сингулярность для общей теории относительности и для физики в целом является серьёзной неприятностью. Нет не только более или менее приемлемой теории явления, но оно самим фактом своего существования противоречит всем известным законам физики. То есть, любая существующая или новая теория, которая должна описывать сингулярность, уже изначально будет им противоречить. Сжатое до бесконечной плотности вещество находится в том особом состоянии, которое теоретики описывают как сжатое в пространстве и застывшее во времени.

«По сути своей, в этот загадочный регион больше не подчиняется главным законам вселенной» [11].

Парадоксально, сингулярности не подчиняются известным законам физики, но при этом являются неизбежным следствием математического формализма общей теории относительности, её прямым следствием:

«Что сингулярности представляют собой весьма общее явление и что при всем желании от них невозможно избавиться, было

известно уже начиная с 1965 г. благодаря теоремам о сингулярностях» [21].

И это предсказание, не имеющее до сих пор наблюдательного опровержения, впрочем, как и наблюдательного доказательства, оказывает на теорию, так сказать, обратное воздействие, ставя под сомнение истинность теории, которая сама же их и предсказала. В связи с нежелательностью предсказываемых уравнениями Эйнштейна сингулярностей высказывались мнения, что это служит

«убедительной причиной для модификации этих уравнений» [21].

В физике возник кризис в связи предсказанием теорией относительности Эйнштейна неизбежность существования сингулярностей. В сингулярной точке уравнения общей теории относительности, связывающие искривление пространства-времени с распределением массы и энергии, теряют смысл.

«Это означает, что общая теория относительности не может предсказать, что получается из сингулярности. ... Таким образом, общая теория относительности — не завершенная теория» [57].

Согласно теории Большого Взрыва в момент своего возникновения Вселенная имела так называемую планковскую плотность – порядка 10^{94} г/см³. Как она была вычислена и откуда берутся подобные величины? В физике широко применяются несколько подобных величин, имеющих общее название планковских. Что будет с Черной дырой при таком сжатии, неизвестно. Есть предположение, что сжатие будет происходить не до сингулярности, а до достижения плотности Планка, после чего снова начнется расширение.

«что происходит при такой плотности, ученые предсказать не могут, но полагают, что это максимально возможная плотность вещества» [33].

Есть мнение, что все эти «планковские» величины ведут свою историю от академика М.А.Маркова, который предложил считать:

«предельным значением величину размерности массы, которую можно скомбинировать из трех фундаментальных физических констант – постоянной Планка h , скорости света C и гравитационной постоянной G » [20].

По мнению других исследователей, планковские величины введены впервые самим Планком еще в 1899 году [62]. В чем состоит предельность значения величины массы, не вполне понятна,

поскольку массы и больше и меньше планковской мы наблюдаем повсеместно. Планковские величины – это фундаментальные физические масштабы длины, времени, массы, температуры и так далее, определяемые как единицы планковской системы единиц (c , G , $\hbar$, k , ε_0), основанной на выборе пяти фундаментальных физических постоянных – скорости света c , гравитационной постоянной G , постоянной Планка $\hbar$, постоянной Больцмана k и элементарного электрического заряда ε_0 в качестве единиц измерения физических величин:

$$\ell_{pl} = \sqrt{\hbar G/c^3} = 1,6 \times 10^{-33} \text{ cm}$$

$$t_{pl} = \sqrt{\hbar G/c^5} = 5,4 \times 10^{-44} \text{ s}$$

$$m_{pl} = \sqrt{\hbar c/G} = 2,2 \times 10^{-5} \text{ g}$$

$$T_{pl}^\circ = \sqrt{\hbar c^5/Gk^2} = 1,4 \times 10^{32} \text{ K}$$

$$E_{pl} = \sqrt{\hbar c^5/G} = 1,2 \times 10^{19} \text{ GeV}$$

$$q_{pl} = \sqrt{2\hbar c\varepsilon_0} = 1,9 \times 10^{-18} \text{ C}$$

Собственно говоря, отсюда и появляется та чудовищная плотность первичной Вселенной. Действительно, планковская плотность равна:

$$\rho_{pl} = \frac{m_{pl}}{V_{pl}} = \frac{m_{pl}}{\ell_{pl}^3} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{(1,3 \cdot 10^{-33})^3} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{2,197 \cdot 10^{-99}} \approx 10^{94} \text{ g/cm}^3$$

Правда, возникает определенное недоразумение, поскольку в этом случае масса Вселенной в стадии сингулярности довольно мала. Величина планковской массы, как видим, меньше миллиграмма – $2,2 \times 10^{-5}$ г. Эта величина при всей её фундаментальности, по сути, мало о чем говорит и заметно отличается от предсказаний инфляционной теории Большого Взрыва.

Считается, что это минимально возможные значения соответствующих величин для времени и расстояний и максимально возможное (для массы элементарных частиц) – для массы. Но почему это так? Все эти величины являются всего лишь искусственными, искусственными комбинациями известных физических констант. Каким образом из этого может следовать их предельность? Что препятствует существованию в природе интервалов, меньших, чем планковская длина или время? Скорее всего, это связано с молчаливым

согласием физиков, поскольку эти величины имеют довольно «красивое» происхождение, а это ведь неспроста! Значит, следует считать их граничными величинами.

Однако, вряд ли такое объяснение можно считать веским обоснованием. Такие определения не сильно отличаются от шуточных, юмористических. Например, в журнале «Квант» однажды была опубликована студенческая шутка. На вопрос, что такое «нечистая сила», студенты ответили: это произведение нечистой массы на нечистое ускорение. Или похожая шутка. На КВН (игра Клуб Весёлых и Находчивых) участникам предложили придумать новую единицу измерения. И студенты быстро её придумали – один кэйф. Возникла она из выражения «быть под кайфом», то есть быть навеселе, пьяным. Один кэйф – это один грамм на градус ($1 \text{ г} \cdot \text{град}$). Градусы, понятное дело, не температурные, а спиртовые. Сто граммов 40-градусной водки, следовательно, содержат 4 килокэйфа. Таким образом, как видим, можно легко придумывать и всякие другие «физические» определения. Может быть, и сингулярность из их числа. Насколько обосновано введение такого понятия?

Как в теории относительности возникает сингулярность

Математические определения сингулярности в физической литературе встречаются достаточно часто. Но объяснение её физической сущности найти крайне сложно. Например, тело массой M мы можем потрогать, померить и придумать объяснения, почему оно не проваливается сквозь землю. С сингулярностью несколько иначе:

«Независимо от жесткости вещества коллапсирующей (сферической) звезды, если ее поверхность сколлапсировала под гравитационный радиус, то после этого звезда будет продолжать коллапсировать до тех пор, пока ее поверхность не будет сжата в сингулярность при $r = 0$ » [21].

Пока не видно, в чем же состоит физическая сущность сингулярности. Если нечто стремится к нулю, это привычно. Но нулевой объем более похож на полное отсутствие чего-либо.

«Мы приходим к этому выводу, вспоминая, что поверхность звезды не может двигаться быстрее света и, следовательно, угол между мировой линией поверхности и осью и на диаграмме Крускала — Шекереса должен быть всегда меньше 45° » [21].

Диаграммы эти – вещь очень интересная и наглядная. Только и на них причина и следствие кажутся не на своих местах. Мировая линия продолжена до сингулярности. И вновь здесь видно только поведение сингулярности и тел, движущихся к ней. Но, что она представляет собой, пока не видно.

«Но глубоко внутри, под гравитационным радиусом, наблюдатель встретит бесконечные приливные силы...

Чтобы убедиться в этом, необходимо вычислить... «инвариант кривизны»... R имеет одну или несколько компонент, которые обращаются в бесконечность при $r \rightarrow 0$; это и означает, что приливные силы становятся бесконечными» [21].

Это уже некоторое, хотя и довольно абстрактное описание. Но и в нём не видно, откуда берётся такое физическое свойство иметь нулевой объём. Эта особенность инварианта пока выглядит как постулативно заложенная в теорию, поэтому его поведение очевидно и никакого другого результата ждать не приходится. Если в той же ньютоновой физике мы сблизим два тела до нуля, то получим такую же бесконечную силу притяжения. Только в ней мы не отвлекаемся от физических размеров тел и не допускаем их бесконечного сближения. В теории относительности пока есть ощущение, что уравнения никак не учитывают внутреннее физическое, материальное строение вещества.

«Типичные радиальные геодезические геометрии Шварцшильда, изображенные (схематически) в шварцшильдовских координатах... времениподобная геодезическая пробной частицы, которая начинает свое движение из состояния покоя при ... и падает прямо внутрь, достигая за конечное собственное время сингулярности $r = 0$ (кривая с зубцами)» [21].

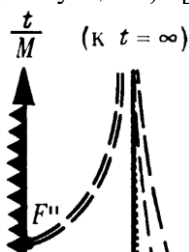


Рис.1-1. Фрагмент рисунка ФИГ.31.1 из работы [21]. Иллюстрация того, что пробное тело обязательно упадёт на сингулярность.

На приведённом фрагменте рисунка сдвоенной штриховой линией отмечена геодезическая тела, падающего на сингулярность. Здесь это отмечается как факт. Есть траектория и считается, что она определённо будет проложена до нулевой точки. Никаких иных доводов по поводу падения на сингулярность, естественно, не указывается и на диаграмме Крускала-Шекереса. Здесь, как и на предыдущем рисунке, также выделен мелкой штриховкой участок геодезической, отражающий падение пробного тела на нулевую точку, в сингулярность. В описаниях к диаграммам приводятся соответствующие уравнения движения, но никогда не указывается, почему пробное тело или поверхность звезды так безропотно уплотняется до бесконечности. Действительно, математика там весьма сложна. Самым простым для рассмотрения случаем является «звезда» с однородной плотностью и *равным нулю давлением*. Вот это указание на нулевое давление – уже может считаться обоснованием. Однако, это давление никогда не соотносится с молекулярной твердостью этой пыли.

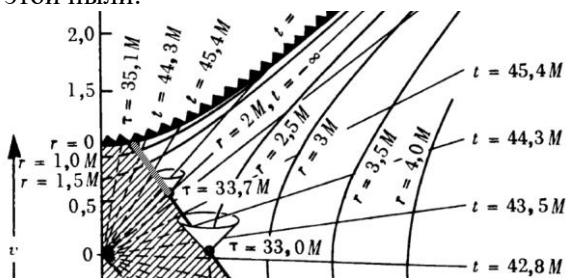


Рис.1.2. Фрагмент рисунка ФИГ.32.1 из работы [21]. Еще одна иллюстрация падения пробного тела на сингулярность.

Просто делается рекурсивная отсылка на диаграмму: вот так выглядит геодезическая.

«если звезда сжалась под свой гравитационный радиус ... то никакое внутреннее давление, каким бы сильным оно ни было, не может воспрепятствовать сжатию поверхности звезды в сингулярность» [21].

Ссылка на давление приводится во многих описаниях. Обычно говорится о давлении газо-пылевой среды. А ведь на пути к нулевой точке есть ещё и молекулярная (атомарная, кварковая) структура вещества. Почему силы сжатия этих структур, которые, оче-

видно, на много порядков сильнее гравитации, не останавливают движение к сингулярности?

«С точки зрения наблюдателя внутри звезды за короткий промежуток собственного времени ... после прохождения через горизонт достигается сингулярность (нулевой радиус, бесконечная плотность, бесконечные гравитационные приливные силы)» [21].

Следует заметить, что поведение давления при сжатии вещества выделено в самостоятельные разделы и при описании коллапса упоминаются лишь вскользь. А здесь у всех авторов почти как заклинивание — достигается. И лишь иногда небольшое сомнение:

«можно с уверенностью говорить о наличии в конце коллапса сингулярности. Но никто не знает, какая доля вещества коллапсирующей звезды и ее физических полей пройдет через эту сингулярность — все, часть или ничего» [21].

В многочисленных описаниях коллапса, образования Черной дыры трудно найти обоснования, почему нулевой объём, почему бесконечности. Представляющееся удовлетворительным определение самой сингулярности является лишь поверхностным, внешним описанием. Все геодезические (даже пути тахионов, что довольно странно) обрываются в некоторой точке и продлить её нельзя. Например, по причине бесконечной кривизны. Это, собственно, и есть сингулярность. Откуда берётся не математическая, а физическая бесконечная кривизна, мы догадываемся. Опять всё те же бесконечности и нулевые объёмы. Но откуда такая уверенность, что они эти нулевые объёмы действительно достижимы?

Теоремы Хокинга, Пенроуза о сингулярностях также опираются на эти бесконечности и фатальные обрывы геодезических по причинам, не менее загадочным, чем бесконечная кривизна. Но в теоремах тоже не указывается, каким образом реальные физические объекты позволяют тензорам и горизонтам сжимать их в бесконечно малый объём. Согласно вычислениям, слишком массивное ядро звезды будет коллапсировать, сжиматься, пока не достигнет сингулярности с нулевым радиусом. Если проследить за поверхностью звезды внутри области $r = 2m$, то мы увидим, что она с неизбежностью достигает $r = 0$. Почему? Да потому, что поверхность звезды *должна* непрерывно двигаться во временноподобном направлении, а световые конуса наклоняются все больше и больше в сторону оси $r = 0$. И подтверждают всё это опять же «скаляры кривизны, построенные из тензора Вейля». А раз они стремятся к бесконечности, то

наблюдатель, падающий на сингулярность, будет сжат в точку. Но даже и при этом, бесконечная кривизна вызывает у авторов меньше возражений, чем обрыв мировых линий. Хотя это, несомненно, взаимосвязано. Что, как не горизонт делает недоступной область сингулярности, фактически обрывая мировые линии, ушедших под него тел. Но какова *физическая* причина сингулярности?

Гипотеза о вырожденном фермионном газе

В литературе уже давно появилась, практически, традиция приписывать приоритет последних достижений науки и техники мыслителям «давних лет», а то и вообще - древности. Например, можно встретить высказывания, что первый компьютер появился в каменном веке. В некоторых древних текстах находят «упоминания» об открытиях нынешних дней. Эту традицию легко продолжить и в отношении сингулярности.

Ситуация выглядит довольно любопытно. Теория предсказывает в строгом соответствии со своими правилами, формализмом некоторое явление. И это явление вступает в противоречие с этой самой теорией. Проблема трактовок? Прямое, буквальное продолжение выводов теории за пределы области её применимости? Как не вспомнить в этой связи строки из Пушкина:

«Родила царица в ночь
Не то сына, не то дочь;
Не мышонка, не лягушку,
А неведому зверюшку» [47]

Общая теория относительности с полным правом может считаться царицей современной науки. И сингулярность, несомненно, её порождение. Вот и выходит, что задолго до Эйнштейна эту «неведому зверюшку» предсказал великий русский поэт Пушкин.

В физике известны неточные, и даже ошибочные определения, которые, тем не менее, прекрасно работают. Например, до сих пор в электротехнике за направление электрического тока в металлах принимается движение положительно заряженных частиц. И всё это позволяет получить безупречные и точные результаты. Хуже дела обстоят при расширении теории за границы её применимости. В теории относительности это уже стало правилом. Например, специальная теория относительности расширена на сверхсветовые сигналы, на тахионы. Приходится замалчивать, закрывать глаза на

возникающие при этом проблемы с причинностью, лишь бы плодить красивые уравнения и всё новые и новые мнимости.

Сингулярность в этом отношении выглядит как близкий родственник таких «заграничных вылазок». Точно так же она имеет признаки мнимости, пустого, иррационального понятия, не дающего разумного физического воплощения. Впрочем, мнимые величины и сами по себе производят впечатление великого лукавства. В той же электротехнике, в области переменных токов мнимые величины применяются очень широко и весьма успешно, упрощая многие расчеты. В квантовой информатике мнимые величины – эффективный инструмент. Но, если внимательно приглядеться к сущности таких мнимых параметров, они оказываются самыми, что ни на есть *реальными*! Не нужно обладать никаким выдающимся воображением, чтобы «повесить» мнимую величину на ортогональную координатную ось. От мнимости осталось одно лишь название. Ось вполне реальна.

Таким образом, само по себе использование сингулярности как элемента математических вычислений, по сути, не должна приводить ни к каким парадоксам. Это, несомненно, удобное понятие. Но реального физического воплощения она иметь не обязана. Как «положительный электроток в металлах», мнимые составляющие мощности или мнимая масса, мнимое время. Не надо только материализовать эти математические, но никак не физические объекты. И Черной дыре и общей теории относительности сингулярность, если и нужна, но лишь, пожалуй, как вспомогательный параметр, условное обозначение некоего явления.

Действительно, о сингулярности только-то и известно, что это бесконечно малая по (планковским?) размерам точка, имеющая бесконечно большую (планковскую?) плотность материи в ней, которая обрывает мировые линии. Пожалуй, единственным её выдающимся и реально наблюдаемым свойством является горизонт событий, затягивающий в себя всё, что его коснётся. По сути, в этом же состоит, видимо, и основная причина возникновения противоречий, проблем в общей теории относительности. Одним из основных признаков сингулярности пространства-времени является наличие в нём неполных времениподобных или нулевых геодезических, и само оно при этом не может быть вложено в большее пространство-время. Предсказание сингулярностей означает неполноту классической общей теории относительности.

«Поскольку сингулярные точки должны быть вырезаны из пространственно-временного многообразия, в них нельзя определить уравнение поля и тем самым предсказать, что произойдет с сингулярностями» [56].

Другими словами, обрывающиеся на сингулярностях геодезические означают своеобразный «конец света», апокалипсис внутри каждой Черной дыры. Надо, конечно, отметить, что отчасти эта проблема получила некоторое обнадеживающее продолжение с предсказанием излучения из Черной дыры. Это было первым нетривиальным результатом от сочетания общей теории Эйнштейна с принципом квантования. Этот результат показал, что:

«гравитационный коллапс не такой уж тупик, как казалось раньше. Частицы в Черной дыре не обязаны заканчивать свою историю в сингулярности. Вместо этого они могут вырваться из Черной дыры и продолжить свою историю снаружи» [57].

Конечно, по поводу «вырваться из Черной дыры» Хокинг несколько преувеличил. Тем не менее, современные представления о сингулярности крайне неопределённые. Даже сам факт предсказания возникновения сингулярностей в общей теории относительно крайне смутно описывается в научной литературе. Возникновение горизонта событий не очень-то связано с последующим «схлопыванием» вещества звезды при коллапсе в точку с нулевыми размерами и бесконечно большой плотностью, которое выглядит скорее как простая логическая экстраполяция движения. Во всяком случае, все популярные учебники физики подробно описывают падение в Черную дыру, но, если и упоминают, то крайне скудно причины неукротимого движения вещества в точку сингулярности. А это довольно очевидный вопрос. Например, при рассмотрении законов Ньютона такая экстраполяция пресекается «на корню». Действительно, два тела притягиваются друг к другу с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния между центрами тел. Казалось бы, что мешает заявить: при нулевом расстоянии тела притягиваются с бесконечно большой силой! Чем вам не сингулярность по Ньютону? Однако, любой физик сразу же возразит: до нуля дело не дойдёт, поскольку тела задолго до этого упрутся друг в друга своими поверхностями.

Вообще-то, это хорошая идея, правильно и вовремя учесть сменившийся характер взаимодействия. Почему бы тогда при уходе поверхности коллапсирующей звезды под горизонт ей не остано-

вится где-то посередине пути из-за того, что элементарные частицы «упрутся» друг в друга? Твердые ньютоновы тела состоят из тех же самых элементарных протонов и нейтронов, что и нейтронная звезда.

Конечно, для обычных маломассивных тел сила притяжения недостаточна, чтобы преодолеть силы отталкивания молекул и атомов друг от друга. Но откуда взялась эта идея, что при чрезмерно большой силе сдвливания нейтроны сожмутся до размеров, меньше кварков и ещё намного сильнее? Есть такое образное сравнение:

«Нейтронная звезда – это своеобразное атомное ядро поперечником в десяток километров. В такой звезде ядерные частицы – нуклоны – очень тесно прижаты друг к другу» [25].

Такие плотно прижавшиеся друг к другу нуклоны-нейтроны называют нейтронным газом. Если масса такой нейтронной звезды не превосходит примерно две массы Солнца, то нейтронный газ способен квантовыми силами воспрепятствовать дальнейшему сжатию звезды. Однако, сравнение с атомным ядром – это всего лишь образное сравнение. На самом деле это всё-таки разные объекты:

«нейтронные звезды и ядра атомов – совершенно разные физические объекты. В частности, в ядрах нуклоны притягиваются с помощью «сильного взаимодействия», а в нейтронной звезде – «силой гравитации» [24].

Но может ли гравитация сжать нейтроны в ядро меньшего диаметра, чем ядерные силы сильного взаимодействия, которые по силе превосходят гравитацию в 10^{38} раз? Возникает крамольный вопрос: а, может быть, сингулярности-то и нет? Может быть, при уходе нейтронной звезды под горизонт, она под действием ядерных сил просто образует новый, специфический элемент периодической системы Менделеева? С громадным атомным (порядковым) номером. Практически у всех авторов описание возникновения сингулярности в результате коллапса нейтронной звезды совпадают по основным признакам. Одно из наглядных описаний приводит Новиков:

«Чтобы избавиться от эффектов, не имеющих непосредственного отношения к образованию Черной дыры и только осложняющих решение, рассмотрим сжатие сферического облака вещества, лишённого давления, $p=0$ (облако пыли)» [27].

Возникновение сингулярности при таких условиях совершенно естественный процесс. Что может помешать пыли собраться в

ничтожно малый комок? Частички её имеют, как считается, нулевой объём, а суммарный объём конечного числа частиц с нулевым объёмом, разумеется, равен нулю. Кроме того, как указано, это облако пыли не оказывает никакого сопротивления сдавливанию. Однако, далее есть пояснение:

«сделанное выше предположение об отсутствии давления ничего качественно не меняет в картине образования сферической Черной дыры. В общем случае сжатия шара с давлением ($p \neq 0$) картина такая же. Когда поверхность сжимающегося шара приближается к сфере Шварцшильда, никакое давление не может предотвратить возникновение Черной дыры» [27].

Казалось бы, возникло противоречие. Но это не так. Строгие математические выкладки многих авторов подтверждают, что никакое давление не способно удержать вещество от падения на сингулярность. Хотя это и несколько странно. Получается, что сжимать упругую среду можно до сколь угодно малых размеров. Для этого, по меньшей мере, давление при сжатии не должно неограниченно возрастать.

Литературный обзор процессов возникновения сингулярности показал, что в русскоязычной литературе по космологии почти все ссылки прямо или косвенно указывают на один и тот же источник. Это учебное пособие для вузов в 10 томах Ландау и Лифшица [17, 19, 18]. Главной, если не единственной причиной возникновения сингулярности в момент коллапса указывается переход нейтронов, образующих нейтронную звезду, в состояние вырожденного фермионного газа:

«Совокупность нейтронов, из которых состоит звезда, можно считать вырожденным фермионным газом...

Таким образом, если нейтронная звезда имеет массу, большую, чем Масса солнца, то составляющие её нейтроны должны рассматриваться как вырожденный релятивистский ферми-газ» [6].

Вырожденный фермионный газ – это такой газ, на свойства которого оказывают существенное влияние квантово-механические эффекты. Вырожденный фермионный газ – ферми-газ образуется фермионами, к которым относятся и нейтроны. При некоторых условиях в него и вырождается, то есть, превращается указанный выше нейтронный газ звезды:

«Вырождение наступает в условиях, когда расстояния между частицами газа становятся соизмеримыми с длиной волны де Бройля» [7].

Очевидно, что нейтроны при сильном сжатии уже в состоянии нейтронной звезды находятся на столь близком расстоянии, что такое приближение становится очевидным:

«при достаточном сжатии вещества роль взаимодействия электронов с ядрами (и друг с другом) становится несущественной, так что можно пользоваться формулами идеального ферми-газа...

«при достаточно большой полной массе M тела можно рассматривать вещество тела как вырожденный электронный ферми-газ...» [19].

Для всякого вещества существует предельное давление, которое оно может оказать при сжатии. Со ссылкой на том 2 «Теорию поля» Ландау и Лившица уравнение для такого предельного давления приводит Садовский, отмечая, что:

«следующее отсюда давление является предельным давлением, которое может иметь какое-либо макроскопическое тело» [48].

Для определённости в терминологии примем следующие определения невырожденных газов, которые обычно называют также идеальными газами, и вырожденных газов, к которым относятся и рассматриваемые нами ферми-газы:

«Газы, подчиняющиеся законам классической механики, будем называть невырожденными. Для таких систем частиц применяется классическое распределение Максвелла-Больцмана. Газы, подчиняющиеся квантовым статистикам, называют вырожденными» [30].

Для нас особо важным и интересным является характерная особенность вырожденного газа – зависимость его давления практически только от плотности:

«Характерное свойство вырожденного газа - зависимость давления только от плотности и крайне слабая зависимость от температуры» [34].

Такое состояние вырожденности газа возникает, в частности, когда плотность достаточно велика, так что соседние частицы начинают «чувствовать» друг друга. На это обстоятельство следует обратить особое внимание. Утверждается, что плотность фактически зависит только от объема газа, поскольку принято, что количество (масса) его неизменна. А из этого прямо следует, что фактиче-

ским «источником», инициатором давления является именно объём газа, но никак не физическая структура его «молекул». Другими словами в данной формулировке априори постулируется либо бесконечно малый объём «ядра» молекулы (нейтрона), в котором, собственно, и сосредоточена вся его масса. Либо постулируется бесконечно малая средняя плотность объёма нейтрона. Если принять, что нейтрон имеет шарообразную форму, то каждый элементарный объём этого шара имеет нулевую (бесконечно малую) плотность. Всё это прямо следует из утверждения, что давление зависит только от плотности газа. Но этот постулат автоматически допускает сжатие до бесконечности, то есть уже на этом этапе заложены, постулированы основы возникновения сингулярности. Другими словами, сделано утверждение: сингулярность неизбежна, теперь осталось только описать это с помощью уравнений. Ответ известен, нужно подогнать под него решение. Поэтому естественным следствием будет вывод:

«Если тело, сжимаясь, сократилось до размеров, близких к гравитационному радиусу, то никакие силы не в состоянии остановить дальнейшее сжатие и тело будет неудержимо падать в себя – коллапсировать» [26].

По этой же причине все расчеты, естественно, приводят к результатам, в которых на этапе коллапса сила тяготения существенно превышает силы давления. А раз так, то в этом случае вполне допустимо пренебречь давлением, считать, что частицы на поверхности звезды свободно падают в ее поле тяготения.

Считается, что сжатие вещества звезды имеет характер адиабатического процесса, то есть процесса без теплового обмена с внешней средой [4], в котором давление и плотность связаны соотношением вида $p_c \sim r_c^g$ (g называется показателем адиабаты). Поскольку плотность вещества определяется размерами звезды $r_c \sim 1/R^3$, делается вывод, что при показателе адиабаты $g < 4/3$ любое случайное малое гидродинамическое сжатие будет нарастать. В этом случае никакая упругость вещества не сможет предотвратить гравитационный коллапс [12].

В приведённом описании постулат о плотности явно не просматривается, но легко выводится при анализе. Поскольку плотность вещества определяется *только* размерами звезды, нет никаких пределов для их уменьшения вплоть до нуля. Ограничением такому сжатию может препятствовать только прямо и отчетливо

постулированное свойство конечной жесткости вещества. То есть, некоторого объёма вещества, при котором указанная адиабатическая связь нарушается. Физически это может означать сжатие вещества звезды до некоторого ядерного состояния, когда для дальнейшего сжатия нейтронов требуется силы, превышающие давление газа на много порядков. Это должно напоминать процесс сближения двух магнитов (одноименными полюсами). До некоторого момента магниты «мягко» сопротивляются сближению. Но после их соприкосновения уже недостаточно никакой механической силы для дальнейшего сближения.

Поведение вырожденного ферми газа при образовании нейтронных звезд и начале гравитационного коллапса имеет достаточно качественное формальное описание. Хотя зачастую и отмечается, что в этом вопросе не всё выяснено до конца:

«Целый комплекс процессов, сопровождающих термоядерные взрывы в ядрах и гравитационный коллапс, еще не до конца ясен и требует дальнейшего изучения» [61].

При гравитационном коллапсе звезда может образовать белый карлик. При ещё большей массе звезды давление её вышележащих слоев будет так велико, что электроны «вдавливаются» в протоны, образуя нейтроны. При этом и образуется нейтронный вырожденный ферми-газ, давление которого в определённой степени препятствует сжатию вещества звезды.

«Давление нейтронного вырожденного газа препятствует дальнейшему сжатию звезды» [22].

Вырождение нейтронного газа происходит в процессе эволюции звезды, поглощения ею внешнего вещества. Плотность и температура в центре звезды при этом непрерывно возрастают, приводя к изменению состояния вещества звезды:

«При росте плотности физическое состояние вещества может кардинально измениться из-за квантово-механических эффектов (т.н. вырождение газа). Газ рассматривается как идеальный, пока взаимодействие между частицами пренебрежимо мало» [35].

Далее в цитируемой лекции отмечается, что давление газа, противодействующее сжатию, не зависит от температуры. Однако, важно не то, от чего зависит давление. Важно, что *сущность* процесса противодействия сжатию однозначно определено и исследуется поведение *только* этого процесса, то есть свойства сжатого

вырожденного нейтронного ферми-газа. То, что он не способен противостоять гравитации, ни у кого не вызывает сомнений:

«Гравитационному сжатию системы противостоит давление Ферми-газа. Если масса кора сверхновой больше удвоенной массы Солнца, гравитационные силы преодолевают давление Ферми-газа, и звезда превращается в Черную дыру» [8].

Хотя величина массы звезды, ведущая к образованию Черной дыры, установлена как предел Оппенгеймера — Волкова, вопрос о её величине и структуре звезд окончательно не решён:

«Установить, насколько это значение близко к реальному пределу, чрезвычайно сложно: астрофизики пока не определились ни с составом нейтронной звезды, ни с тем, как именно следует описывать взаимодействие её компонентов» [52].

Таким образом, выходит, что неизбежность возникновения сингулярности опирается на достаточно условный фундамент. Одних только утверждений и выкладок о свойствах вырожденных ферми-газов, всё-таки недостаточно. Рассмотрим ещё один довод в пользу сингулярности. При достижении гравитационного предела, звезда становится «невидимой». Следовательно, поверхность звезды однозначно должна быть под горизонтом. Если перед началом коллапса звезда имела существенно больший размер, чем занимает шар с гравитационным радиусом, то сжатие вещества звезды неизбежно. И напротив, если радиус звезды до начала коллапса меньше гравитационного, то нет никаких веских оснований утверждать, что звезда вдруг уменьшила свой радиус. Видимо, в этом случае в момент коллапса радиус звезды и её гравитационный радиус тождественно равны.

Процессы, происходящие сразу после коллапса

Очевидно, что у сверхмассивной Черной дыры разницу между сингулярностью и «атомным ядром» по внешним проявлениям «распознать» невозможно в принципе. Что сингулярность, что плотно сжатое нейтронное атомное ядро – всё это скрыто за горизонтом и что там находится на самом деле, не видно. Но для Черных дыр начального, минимального размера разница может оказаться заметной. Согласно пределу Оппенгеймера – Волкова коллапс нейтронной звезды и превращение её в Черную дыру происходит при её массе, превышающей примерно 2.5 массы Солнца [29].

Считается, что до этого значения массы давление вырожденного нейтронного газа ещё способно компенсировать силы гравитации [26, 27], не давая звезде коллапсировать в Черную дыру. Следовательно, для Черной дыры такая масса, наоборот, является минимальной:

«Одновременно предел Оппенгеймера – Волкова является нижним пределом массы чёрных дыр, образующихся в ходе эволюции звёзд» [36].

По современным данным нижний предел массы Черной дыры лежит в пределах 2,5—3 солнечных масс, а из известных Черных дыр самая маломассивная имеет массу около 3,8 солнечной массы. Давайте рассмотрим такую Черную дыру с предельно малой массой в 2,5 солнечных. Интересно, могут ли нейтроны с такой общей массой «поместиться» в пределах горизонта Черной дыры. Если это невозможно, то, следовательно, у сингулярности есть веские основания. Если же общий объём нейтронов окажется меньше объёма сферы с гравитационным радиусом, то принципиальных оснований привлекать сингулярность не будет. Нейтронная звезда просто увеличила свой гравитационный радиус, радиус горизонта за пределы своей физической поверхности. Нет никакого смысла утверждать, что нейтронное вещество стало сжиматься к центру, «падать на сингулярность». Даже при дальнейшем неограниченном росте массы звезды нет веских оснований «давать» нейтронам такую способность уплотнения до бесконечности. Горизонт прячет от внешнего наблюдателя тело звезды и представления о сингулярности с бесконечно малым, даже нулевым радиусом выглядят как мистический домысел. Но что интересно. От внимания почему-то ускользнуло важное обстоятельство: очевидно и согласно расчетам, в момент коллапса радиус нейтронной звезды в точности равен гравитационному радиусу образовавшейся Черной дыры. Из этого проистекают, по меньшей мере, два следствия. Согласно общей теории относительности на горизонте событий Черной дыры время останавливается [15, с.145], поэтому для внешнего наблюдателя никакого падения вещества звезды на сингулярность [50] попросту быть не может. С другой стороны, в самый момент коллапса сила гравитационного сдавливания нейтронов звезды на много порядков меньше силы их ядерного взаимодействия.

Попробуем выяснить, сможет ли в действительности сила гравитационного притяжения нейтронов на поверхности звезды

преодолеть силу их же ядерного отталкивания друг от друга? Кроме того интересно, поместятся ли нейтроны звезды в момент коллапса под её гравитационным радиусом? Ведь если объем коллапсирующей звезды больше, чем её исходный размер, то придётся признать, что "излишки" будут "затянуты" под горизонт, то есть упадут на сингулярность. И напротив, если объем звезды поместился под горизонтом, то, видимо, нет никакой необходимости ей падать на сингулярность, она и так создала горизонт событий. При этом дальнейший рост массы Черной дыры за счет поглощения внешнего вещества не вызовет увеличения её радиуса и выход из-под горизонта: гравитационный радиус растёт быстрее, чем радиус нейтронной звезды внутри горизонта событий, причем сила её гравитационного сдавливания по-прежнему будет меньше сил ядерного отталкивания нейтронов.

Вычислим объём выбранной предельной нейтронной звезды на грани её коллапса, перехода в состояние Черной дыры, исходя из следующих приблизительных данных:

Масса покоя нейтрона, m_n	2×10^{-27} кг
Радиус нейтрона, r_n	4×10^{-16} м
Гравитационная постоянная, G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$
Масса Солнца, M_c	$1,99 \times 10^{30}$ кг
Скорость света, c	$299\,792\,458$ м/с

Итак, поскольку нейтронная звезда превратилась в Черную дыру, её поверхность теперь находится под горизонтом. Гравитационный радиус в этом случае, по крайней мере, не меньше радиуса нейтронного шара. Посмотрим, как соотносятся объём образовавшейся Черной дыры и объём всех нейтронов, образовавших её при коллапсе исходной нейтронной звезды. Массу такой Черной дыры возьмем равной минимально возможной критической массе в $2,5M_c$. Для расчетов берём именно минимальную Черную дыру, поскольку очевидно, что внутри сверхмассивной Черной дыры ядро, что называется, «с головой» поместится под горизонтом:

$$M = 2,5M_c = 2,5 \times 1,99 \times 10^{30} \approx 5 \times 10^{30} \text{ кг}$$

Поскольку произошёл коллапс, понятно, что радиус шара вещества звезды должен стать меньше или равным её гравитационному радиусу, который равен:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2 \times 6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5 \times 10^{30}}{(299\,792\,458)^2} = 7\,385 \text{ м}$$

Соответственно, объём $V_{чд}$ под горизонтом возникшей при этом Черной дыры равен:

$$V_{чд} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_g^3 = \frac{4 \times 3,14159 \times (7\,385)^3}{3} = 1,7 \times 10^{12} \text{ м}^3$$

Мы предполагаем, что в момент коллапса нейтроны звезды не упали на сингулярность, а смогли за счет сил ядерного отталкивания сохранить свою форму. Поэтому в пределах горизонта событий сможет поместиться N_n нейтронов массой M_n каждый, которые и составляют массу M нейтронной звезды, равную массе образовавшейся Черной дыры:

$$N_n = \frac{M}{M_n} = \frac{5 \times 10^{30}}{2 \times 10^{-27}} = 3 \times 10^{57} \text{ шт.}$$

Поскольку мы приняли, что нейтроны не деформировались, то объём каждого из них будет равен: Объём одного нейтрона без сжатия равен:

$$V_n = \frac{4}{3} \pi \cdot r_n^3 = \frac{4 \times 3,14159 \times (4 \times 10^{-16})^3}{3} = 3,69 \times 10^{-46}$$

Все эти N_n нейтронов, как мы приняли, и составляют объём $V_{\max}$ исходной нейтронной звезды и образовавшейся Черной дыры. Должен отметить, что сведений о радиусе нейтрона в свободном доступе немного. Поэтому используем те данные, которые удалось найти [13, 23, 9]. Таким образом, максимальный объём, который займут эти N_n нейтронов, составит:

$$V_{\max} = V_n \times N_n = \frac{4}{3} \pi \cdot r_n^3 = 3,69 \times 10^{-46} \times 3 \times 10^{57} = 1,1 \times 10^{12} \text{ м}^3$$

Но это просто суммарный объем нейтронов, которые мы считаем сферическими. Для того чтобы образовать из них сферу, необходимо учесть плотность упаковки сферических объектов, которая, как известно, составляет примерно 74%. Понятно, что за счет пустот между шарикам-нейтронами вычисленное число нейтронов в форме сферы займет несколько больший объем: Однако, этот объем не учитывает плотности упаковки сферических объектов. Известно, что при наиболее плотной упаковке шаров, они занимают в ней

около 74% [51], следовательно, указанное число нейтронов займут несколько больший объем:

$$V_{\max} = \frac{V_n \times N_n}{0,74} \approx \frac{4}{3} \times \frac{4}{3} \times \pi \cdot r_n^3 \approx 1,5 \times 10^{12} m^3$$

Это весьма примечательный результат. Как видим, даже не-сжатые, свободно упакованные нейтроны, имеющие такую же массу, как и Черная дыра, свободно помещаются под её горизонтом:

$$V_{\text{чд}} = 1,7 \times 10^{12} > V_{\max} = 1,5 \times 10^{12}$$

Более того, это удивительный результат: такое невероятное совпадение объёмов – с точностью почти в 10 процентов! Для радиусов нейтронной звезды и её гравитационного радиуса это совпадение ещё меньше – около 4 процентов! Такое, видимо, не случайное совпадение позволяет предположить, что предел Оппенгеймера-Волкова имеет вполне конкретное точное числовое значение. Используем полученные выше уравнения. В момент коллапса объём Черной дыры равен:

$$V_{\text{чд}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_g^3 = \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{2GM}{c^2} \right)^3$$

Объём исходной нейтронной звезды в момент коллапса равен:

$$V_{\max} = \frac{V_n \times N_n}{k_{nl}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_n^3 \times \frac{M}{M_n} \times \frac{1}{k_{nl}} = \frac{4\pi M r_n^3}{3M_n k_{nl}}$$

В момент «ухода» поверхности нейтронной звезды под горизонт Черной дыр объёмы их, очевидно, равны. Совпадение объёмов и радиусов коллапсирующей нейтронной звезды и её гравитационного радиуса происходит при её массе, которую можно найти из равенства:

$$V_{\text{чд}} = \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{2GM}{c^2} \right)^3 = V_{\max} = \frac{4}{3} \pi \cdot r_n^3 \times \frac{M}{M_n} \times \frac{1}{k_{nl}}$$

После преобразований получаем:

$$M = c^3 \sqrt{\frac{r_n^3}{8G^3 M_n k_{nl}}}$$

Подставляем значения величин и вычисляем:

$$M = c^3 \sqrt{\frac{r_n^3}{8G^3 M_n k_{nl}}} \approx 4.66 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Отношение массы Черной дыры к массе Солнца:

$$\frac{M}{M_c} = \frac{4,66 \times 10^{30}}{1,99 \times 10^{30}} = 2,3419$$

Таким образом, предел Оппенгеймера-Волкова равен не диапазону, а конкретной величине - 2,34Мс. При такой величине массы нейтронной звезды происходит коллапс.

В свою очередь, всё это означает, что представления о сингулярности, как и предполагалось, чрезмерны, плохо обоснованы. Нейтроны при коллапсе нейтронной звезды в Черную дыру лишь ненамного плотнее «смыкают ряды». При этом не достигается даже плотность атомного ядра. Нужна ли в таком случае Черной дыре сингулярность?

Рассмотренный процесс позволяет сделать еще один примечательный вывод. Следует ожидать, что момент коллапса является, по сути, ничем не примечательным событием в жизни нейтронной звезды. Составляющие её нейтроны лишь немного плотнее "смыкают свои ряды". При этом можно заметить, что плотность нейтронной звезды на этом этапе весьма далека от плотности атомного ядра. То есть, появление сингулярности в этом случае заметно надуманно.

Вычислим это соотношение для ядерной плотности. Как известно, сила гравитации на много порядков слабее сильного ядерного взаимодействия, почти в 10^{38} раз. Посмотрим, каковы будут силы, сжимающие звезду, силы, притягивающие нейтроны на её поверхности к центру звезды, когда радиус нейтронной звезды приблизится к её гравитационному радиусу. Мы определили, что масса Черной дыры равна 5×10^{30} кг. Нейтрон на поверхности звезды удалён от её центра на величину гравитационного радиуса, то есть, на $r_g = 7\,385$ метров. Следовательно, сила, с которой звезда притягивает нейтрон на своей поверхности, равна:

$$F_g = \frac{G M m_n}{r_g^2} = \frac{2 \times 6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5 \times 10^{30} \times 2 \times 10^{-27}}{(7\,385)^2} \approx 10^{-14} \text{ kg}$$

Именно эта сила прижимает каждый нейтрон на её поверхности к нижележащим нейтронам, именно эта сила, как ожидается, и

должна "вдавить" нейтрон в тело звезды, уменьшая её радиус, стягивая её в сингулярность. Нейтрон лежит на поверхности и прижимается к ней, к следующему слою нейтронов. Но прежде чем нейтрон сможет деформировать нижележащие слои, он должен пройти этап ядерного взаимодействия. Чтобы вырвать нейтрон из атомного ядра, нужно приложить силу, значение которой, как указано, в 10^{38} раз больше, чем сила гравитационного притяжения.

Два нейтрона находятся друг от друга на расстоянии не ближе, чем расстояние сильного взаимодействия между нуклонами в атомном ядре $r_{св} \sim 10^{-15}$ м. Следовательно, сила их притяжения — условная «гравитационная сила сильного взаимодействия» $F_{св}$ равна:

$$F_{св} = \frac{GMnMn}{r_{св}^2} \approx 8 \times 10^{-18} kg$$

Разумеется, это несколько условная сила гравитационного притяжения. Это сила, с которой нуклоны могли бы *гравитационно* притягиваться. Ядерные силы сильного взаимодействия сильнее гравитационной в 10^{38} раз. То есть, нуклоны в ядре должны притягиваться с большей силой, чем гравитационное притяжение, силой ядерного сильного взаимодействия $F_{св}$:

$$F_{св} = F_{св} \times 10^{38} \approx 10^{21} kg \gg F_g \approx 10^{-14} kg$$

Это такая сила $F_{св}$, с которой нейтрон на поверхности звезды мог бы притягиваться к следующему слою, если бы звезда представляла собой атомное ядро в обычном смысле.

И вновь мы приходим к очень показательному итогу. Выходит, что согласно гипотезе о сингулярности, крошечная сила гравитационного притяжения преодолевает намного превосходящие её силы ядерного взаимодействия. Нейтроны в атомном ядре притягиваются с огромной силой $F_{св}$, но стоило появиться крошечному гравитационному усилию $F_{св}$, как нейтроны сразу же превратились в эфемерный фермионный газ.

Можно ли представить себе картину, когда на двух сцепившихся тяжеловесов борцов сумо подул легкий ветерок и, что называется, "смял их в лепёшку"? Но для нейтронной звезды утверждается именно такая картина. Сжатие в сингулярность происходит потому, что "твердые как камень" нейтроны вдруг превратились в вырожденный фермионный газ [6], не способный оказать сопротивление даже ничтожно малому, как показано, гравитационному

внешнему давлению. Сингулярность, как видим, базируется на очень зыбком фундаменте, на самом деле для образования горизонта событий Черной дыры в ней нет никакой необходимости.

Другими словами, гравитационного притяжения нейтронов звездой F_g на много порядков не хватает даже для того, чтобы они вступили в сильное ядерное взаимодействие, то есть, образовали бы в действительности огромное атомное ядро. «Перепрыгивание» в сингулярное падение, минуя состояния атомного ядра, выглядит как довольно-таки фантастический вариант. Но это «перепрыгивание», как утверждает гипотеза сингулярности, происходит чуть ли не одномоментно. Только что, до коллапса нейтроны на поверхности притягивались к центру звезды с относительно малой силой гравитации, и тут же, в одно мгновение притяжение возросло не просто в 10^{38} раз, а многократно больше. Похоже на цирковой фокус, когда из пустой коробки вынимают кролика.

Как следует из проведенного выше обзора, сжатие до сингулярного состояния следует лишь из единственного, не очень убедительного постулата, что «жесткие» нейтроны с некоторым определённым радиусом превратились в пылинки с бесконечно малым объёмом и массой нейтрона, но с некоторой упругой сферической оболочкой, оказывающей давление при сжатии, - вырожденный фермионный газ.

Представьте себе два обычных воздушных шара диаметром по 30 сантиметров, которые прижаты друг к другу с силой в 1 тонну, аналогом силы ядерного взаимодействия. Что в этом случае считать расстоянием между шарами? Разумеется, эти шары можно сжать до размеров горошины. Но изначально расстояние между их центрами при таком взаимодействии, очевидно, будет равно нулю. Куда и как приложить силу в одну тонну к этим шарам, чтобы разъединить их? Невозможно представить, чтобы такие эфемерные объекты могли притягиваться со столь непропорциональной силой.

Нуклоны могут притягиваться с силой в 10^{38} раз превосходящей силу гравитации. Для «газовой модели» расстояние между их центрами должно быть, как и в случае с шарами, близко к нулю. Но это явно противоречит экспериментам, поскольку атомные ядра разных веществ имеют разные размеры.

Выглядит довольно условной гипотеза о вырожденном фермионном газе, которая явно сводится к модели, в которой каждый элемент газа – молекула или пылинка – имеют массу, сосредото-

ченную «массивном ядре» нулевого объёма, и окружены упругой сферой, которая, собственно, и создаёт давление при сжатии.

Сингулярность, возникающая на таком зыбком фундаменте, не может рассматриваться как физическая реальность. Так как же быть в таком случае с предсказаниями сингулярности общей теорией относительности? Можно поступить просто. Во-первых, это предсказание – результат не очень хорошо обоснованной экстраполяции движения. Во-вторых, может быть, не следует требовать от *геометрической* теории – геометродинамики Эйнштейна, общей теории относительности, теории гравитации, которая рассматривает звёзды, галактики и даже их скопления как пыль, описания «химического» состава или свойств материала нейтронов и его поведения при сверхплотном сжатии?

Если исходить из этих предположений, то можно прийти к выводу, что внутри Черной дыры плотность вещества не является бесконечно большой, поскольку его объём не стремится к нулю. Напротив, давления плотно сжатого вещества, а это уже, очевидно, не вырожденный фермионный газ, вполне достаточно, чтобы удерживать его от дальнейшего сжатия. То есть, можно использовать обычные физические законы для описания этого вещества. С другой стороны, отвергается главная «страшилка» теории относительности – обрыв геодезических, мировых линий. Проблема предсказания будущего и причинности внутри Черной дыры связана лишь с недоступностью этой области для *внешнего* наблюдателя. Но в жизни мы по этому поводу не очень-то сокрушаемся. Если мы потеряли связи с нашими знакомыми, это не значит, что они уехали в Чернодырск (ироничное – от Черной дыры – название города). Или горизонт Вселенной, принципиально недоступный для наблюдений? К тому же обнаружена гипотетическая возможность проникнуть под горизонт сверхмассивной Черной дыры и затем вернуться во внешнюю область [43].

Но тогда как поступить с сингулярностью Большого Взрыва? Ведь общепризнанно и с этим согласился даже Ватикан, что наша Реальность, Бытие возникли в результате взрыва сингулярности. В начале этой статьи я привёл трактовку этого события как рождение Вселенной из «Ничто, Нигде и Никогда». И хотя все космологи и физики по-прежнему вслух говорят о сингулярности, но тайком, негласно, каждый раз, тем не менее, протаскивают в свои теории нечто, существовавшее до сингулярности: то ли инфлатоны, то ли

скалярные поля, то ли квантовые флуктуации чего-то квантового. И это не удивительно, логика-то противится: «Из ничего может возникнуть только ничто».

Вместе с тем, более реалистичной выглядит возникновение Вселенной из классической вечной и бесконечной Материи в результате изменения её состояния, как торжество материалистической философии. В процессе, напоминающем, например, конденсацию перегретого пара, и который я условно называю веществолизацией материи, Материя приняла одну из бесчисленных своих форм – вещественную. Как произошел этот переход, сейчас не особо важно. Может быть, была всё-таки точка начала веществолизации-конденсации. Тогда по всему объёму Вселенной пробежала своеобразная волна, как при обычном взрыве. Может быть, Материя, обладающая бесчисленными неизвестными нам свойствами, перешла в новое состояние одномоментно, как это и выглядит при конденсации пара, замерзании переохлажденной воды или взрыве перегретой жидкости [42]. В конце этого, видимо, крайне быстрого процесса образовалась та самая ранняя сильно разогретая Вселенная. В дальнейшем все процессы можно рассматривать в рамках существующих представлений: образование частиц и всего остального. Граница Вселенной в этом случае ничем не ограничена и может простираться до бесконечности, как бесконечна сама Материя. Проблема изотропии также не возникает: состояние материи перед её веществолизацией полностью однородно, изотропно, поэтому нет никаких оснований вещественной форме иметь разные свойства на бесконечных удалениях друг от друга. Это же объясняет и плоскостность Вселенной: бесконечно протяженное пространство по определению – плоское, радиус кривизны равен бесконечности. Главное, что из теории изгоняется мистика сотворения.

Иное объяснение получает и темная энергия. Поскольку процесс веществолизации может быть вечным, то в отдельных точках Вселенной равномерно в пространстве, появляются дополнительные «атомы пространства» - элементы вещественного физического вакуума [45]. Гравитационно связанные области не расширяются, потому что обилие вещества в них, видимо, препятствуют образованию новых «атомов пространства». Трудно пробиться через толпу. Также это объясняет и возможность сверхсветового разбегания галактик. Они не движутся под действием сил, они не движутся по инерции – таких скоростей не допускает теория относительности.

Но расстояние между ними увеличивается – за счет появления новых «атомов пространства».

Загадочная темная материя тоже может иметь под собой материальную основу. Неизвестные ныне формы проявления Материи могут обладать гравитационными свойствами. Впрочем, феномен тёмной материи сам по себе крайне противоречив и непоследователен [44].

Как выглядит рождение Черной дыры на анимации

В заключение, для большей наглядности покажем процесс коллапса нейтронной звезды в Черную дыру в виде кадров анимации:

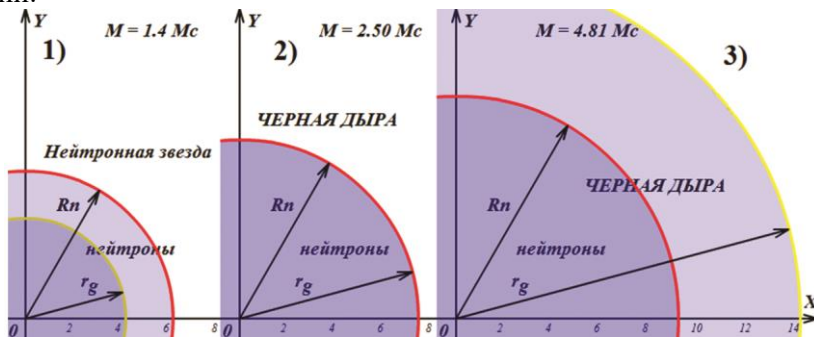


Рис.1.3. Процесс коллапса нейтронной звезды в Черную дыру. Нейтронный шар просто уходит под горизонт, не меняя своих размеров (не падая на сингулярность). Анимации [2]

Изначально нейтронная звезда имеет массу $1,4M_{\odot}$ – масс Солнца (кадр 1). В процессе эволюции она поглощает внешнее вещество порциями (для определенности) по $0,01M_{\odot}$. Масса звезды $M=kM_{\odot}$ увеличивается, как показано на рисунке. При увеличении её массы соответственно возрастают также её объем V и радиус R_{nz} (шкала X на рисунке - в километрах) – это внешний красный контур на рисунке. С учетом плотной упаковки шаров $k_{пл}$:

$$V = V_n \times \frac{M}{M_n} \times \frac{1}{k_{пл}} = V_n \times \frac{M_{\odot}}{M_n} \times \frac{1}{k_{пл}} = 5,9 \times 10^{11} \times k$$

$$R_{nz} = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 5,9 \times 10^{11} \times k}{4\pi}} = 5 \cdot 210 \sqrt[3]{k}$$

Объем звезды вычислен по совокупному объёму, занимаемому нейтронами с учетом плотности упаковки, имеющими массу M_n и объем V_n каждый, образующими все вместе такую же общую массу, как и звезда. Вычисления показали, что Черная дыра имеет заведомо больший объем, и нейтроны помещаются в ней целиком. Это несколько нарушает логику картины, поскольку с использованным допущением в некоторые моменты времени гравитационный радиус окажется больше, чем радиус нейтронного ядра, хотя коллапс ещё не наступил. Поэтому для графических построений введём искусственную величину – коэффициент пористости. Он компенсирует тот факт, что плотно упакованные нейтроны на самом деле занимают меньший объём, чем соответствующий этой массе гравитационный радиус. Коэффициент подбираем по очевидному условию, что радиус нейтронного шара равен гравитационному при массе, когда начинается коллапс, и которая, соответственно, равна минимальной массе Черной дыры – 2,5 M_c .

$$k = 2,5$$

$$R_{nz} \times K_{por} = 5 \cdot 210^3 \sqrt[3]{k} \times K_{por} = r_g = 2'954 \times k$$

Из чего вычисляем коэффициент пористости:

$$K_{por} = \frac{2'954 \times 2,5}{5 \cdot 210^3 \sqrt[3]{2,5}} = 1,044$$

С его учетом уравнение для радиуса звезды на анимации примет вид:

$$R_{nz} = K_{por} \times \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = 1,044 \times \sqrt[3]{\frac{3 \times 5,9 \times 10^{11} \times k}{4\pi}} = 5'441 \times \sqrt[3]{k}$$

Поскольку рисунок симметричный, для компактности показана только четвертая часть нейтронной звезды. Внутренний желтый контур – это гравитационный радиус (на рисунке - в километрах), соответствующий текущей массе звезды, в метрах равный:

$$r_g = \frac{2GM_c \times k}{c^2} = \frac{2 \times 6,67384 \cdot 10^{-11} \times 1,99 \times 10^{30}}{(299'792'458)^2} \times k = 2'954 \times k$$

Начальные значения радиусов при $k=1,4$ равны:

$$R_{nz} = 1,044 \times 5 \cdot 210^3 \sqrt[3]{1,4} = 6'087 m$$

$$r_g = 2'954 \times 1,4 = 4'136 m$$

Вычисленные радиусы в масштабе использованы для построения на анимации соответствующих контуров горизонта и нейтронного ядра. Видно, как при увеличении массы звезды гравитационный радиус «поглощает» звезду, превращая её в Черную дыру (кадр 2). Никакого коллапса в сингулярность для этого не потребовалось. Для удобства начальный момент, момент коллапса и последний момент на анимации выделены паузами в 3 секунды.

Главное, что показывает анимация, — для образования горизонта Черной дыры совершенно не нужна никакая сингулярность (кадр 3). Обычный, нормальный объём нейтронов, даже не сжатых до плотности атомного ядра, создаёт тот же самый эффект горизонта. Нужна ли здесь лишняя сущность?

2. Как убежать из-под горизонта Черной дыры

Существование Черной дыры было предсказано очень давно, задолго до появления общей теории относительности. Однако, затем долгие годы ученые не были уверены в том, что они существуют. Многие попытки их обнаружения были безуспешными. И лишь в последние годы появились четкие, бесспорные доказательства их существования. В первую очередь известны и популярны Черные дыры как объекты, способные удержать на своей поверхности даже свет. Ничто, попав в Черную дыру, не может покинуть её:

«Черной дырой называют область пространства-времени, в которой гравитационное поле настолько сильно, что не позволяет даже свету покинуть эту область и уйти в бесконечность...

Поскольку сигналы не могут выйти из Черной дыры, а физические тела и излучение могут в нее падать, поверхность Черной дыры играет роль своеобразной мембраны, а граница Черной дыры в пространстве-времени, называемая горизонтом событий, является световой поверхностью...» [27]

Столь жесткие ограничения на взаимодействие с Черными дырами, кажется, делает невозможным или крайне сложными вопросы как их изучения, так и практического использования. Тем не менее, ученые нашли лазейку и здесь. Даже у такой непреступной системы можно отобрать и использовать энергию:

«Напомним, что хотя по определению Черная дыра — это область, откуда никакие тела и световые лучи не могут выйти наружу,

существуют ситуации, когда с помощью определенных физических процессов можно извлекать из Черной дыры энергию» [27].

Более того, теоретические исследования приводят к совершенно фантастическим выводам:

«Поскольку Черные дыры, скорее всего, существуют, путешествие во времени принципиально возможно. Отправившись на космическом корабле внутрь сверхмассивной Черной дыры в ядре галактики, отважный космонавт увидит будущее». [59]

Правда, у таких «путешествий», мягко говоря, есть серьёзный изъян:

«Но при этом он не сможет вернуться назад и не сможет передать нам какую-либо информацию об увиденном им будущем. Сделать это ему мешает горизонт событий Черной дыры». [59]

Тут уже речь может идти не о туристической поездке, а о сохранении самой жизни:

«Таким образом, решившись путешествовать во времени внутри сверхмассивной Черной дыры, космонавт обрекает себя на самоубийство — он никогда не вернется назад, в нашу Вселенную, а при приближении к центральной сингулярности будет разорван приливными силами. [59]

Такой фатальный исход от «посещения» внутренней области Черной дыры признают практически все исследователи:

«Следовательно, любой безрассудный специалист по ракетной технике, рискнувший попасть под гравитационный радиус $r = 2M$ внешнего гравитационного поля, обречен на гибель». [21]

И хотя в исследованиях свойств этих сверхмассивных объектов не всегда прямо указывается фатальный исход таких путешествий, смысл обычно очевиден: это путешествие без возврата. А наличие в Черных дырах плотно сжатого вещества явно предсказывает судьбу путешественника:

«В идеализированном сферически симметричном случае поверхность звезды сжимается под свой гравитационный радиус («горизонт»; прекращение связи с внешним миром; точка, из которой нет возврата). [21]

Слабой надеждой остаётся даже другой вывод из теории относительности. Считается, что она предсказывает существование так называемых «котовых нор» - особых переходов между удалёнными частями Вселенной. Вроде бы, это должно обнадежить, хотя норы эти довольно замысловатые:

«Частицы, упавшие в одну Черную дыру, покажутся частицами, выпущенными из другой, и наоборот.

Звучит так, будто именно это и требуется, чтобы позволить космические путешествия через Черные дыры. Вы просто направляете свой космический корабль в подходящую Черную дыру. Впрочем, лучше в дыру побольше, а то гравитационные силы разорвут вас на части, превратив в спагетти, прежде чем вы проникнете внутрь. Потом вам останется надеяться, что вы появитесь вновь из какой-то другой дыры, но где — вы выбрать не сможете». [57]

Получается почти как в сказке: пойдешь туда, не знаю куда. А то и «направо пойдёшь — коня потеряешь». Не говоря уже о кошельке и даже собственной жизни. Ничто и никогда из Черной дыры не вернется:

«Конечное состояние Черной дыры В предыдущем разделе мы принимали, что в удалении от коллапсирующей звезды можно предсказать будущее. Как было показано, из этого предположения следует, что звезда уходит за горизонт событий, который скрывает сингулярность от внешнего наблюдателя. Материя и энергия, пересекающие горизонт событий, будут навсегда потеряны для внешнего мира». [58]

Довольно печальная ситуация. Хотя, если задуматься, все эти изыскания носят скорее исследовательский интерес, нежели стремление найти им практическое применение. Впрочем, многие когда-то непонятные явления не сразу были приняты к использованию. А научные объяснения их очень часто оказывались ошибочными и с течением времени отбрасывались.

С горизонтом событий Черных дыр в рассматриваемом случае имеется довольно необычное решение, идущее вразрез со строго доказанными и общепринятыми выводами. Прямо или косвенно признаётся всеми: выйти из под горизонта Черной дыры нельзя.

Однако, это справедливо для одиночной Черной дыры. Механику Ньютона пока никто не отменял и многие её положения должны быть справедливы и в отношении Черных дыр. Например, известна точка Лагранжа. Почему бы ей не быть и внутри системы из двух Черных дыр?

«Точки Лагранжа, точки либрации (лат. *librātiō* — раскачивание) или L-точки — точки в системе из двух массивных тел, в которых третье тело с пренебрежимо малой массой, на которое не действуют никакие другие силы, кроме гравитационных сил со сторо-

ны двух первых тел, может оставаться неподвижным относительно этих тел». [53]

На каком расстоянии от двух Черных дыр должен находиться космический корабль, чтобы его не затянуло под горизонты? А если дыры сблизятся настолько, что их горизонты пересекутся? В этом случае, очевидно, корабль окажется одновременно под горизонтами обеих Черных дыр. Правда, вопрос остаётся в силе: сможет ли он вырваться из этих двух горизонтов? Пока даже и неважно, что именно увидит исследователь на этом корабле, если он не сможет рассказать об увиденном тем, кто остался снаружи.

И расчеты показывают: есть несколько странное решение задачи, из которого следует вывод о возможности выйти из под горизонта Черной дыры. Оказывается, что выход из точки Лагранжа перпендикулярно к оси, соединяющей центры Черных дыр, возможен, по крайней мере, с позиций ньютоновской механики. Из истории известно, что Черные дыры были предсказаны без использования теории относительности. Конечно, эти предсказания умаляются утверждениями, что ошибки тут, ошибки там в целом компенсировали друг друга, вследствие чего получился результат полностью совпадающий с результатами, полученными с помощью уравнений общей теории относительности. Пусть так. Полученный здесь с помощью ньютоновской физики результат и в этом случае вполне интересен.

Первые, прикидочные расчеты показали, что при сближении двух одинаковых Черных дыр между ними образуется линзообразная полость. Однако, не было видно, есть ли у этой линзы открытые края или они также замыкают горизонты двух дыр, щель не образуется и ускользнуть не удастся. Рассмотрим эти выкладки подробнее.

Две одинаковые сверхмассивные Черные дыры сближаются и в некоторый момент времени находятся на таком расстоянии, что их гравитационные радиусы сначала касаются друг друга, затем немного перекрываются. То есть, горизонт одной дыры оказывается под горизонтом другой.

Очевидно, что на середине оси, соединяющей центры двух дыр, обе дыры притягивают пробное тело, масса которого равна единице, с одинаковой силой. Поэтому, находясь формально под горизонтами обеих дыр, тело, тем не менее, не падает на сингулярности этих дыр. В случае же отклонения по перпендикуляру от этой точки, тело испытывает совсем не те усилия, что при обычном по-

падании под горизонт. Изобразим ситуацию на рисунке. Ввиду симметрии возьмём только верхние половины гравитационных радиусов этих Черных дыр.

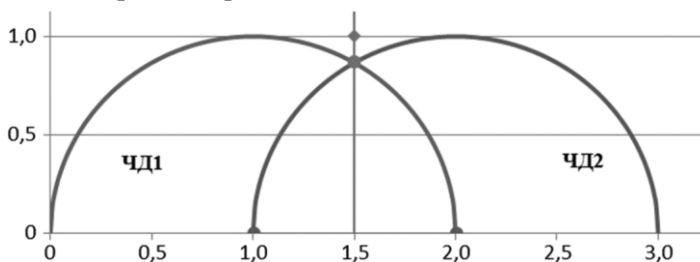


Рис.2.1. Полуокружности – условное изображение горизонтов двух Черных дыр.

На рисунке изображены две Черные дыры в виде своих горизонтов. Центры дыр имеют координаты в величинах гравитационных радиусов 1 и 2, соответственно. Это значит, что расстояние между дырами в точности равно r_g – одному гравитационному радиусу. Центры также изображены половинками точек. На половине расстояния между центрами изображена вертикальная линия предполагаемого пути (коридора, тоннеля) убегания из под гравитационных радиусов двух Черных дыр. Ромбик на этой линии – предельная точка, в которой сила притяжения корабля такая же, как и на горизонте Черной дыры. Это своеобразный «совместный» горизонт двух Черных дыр. Предварительные расчеты и анализ показывают его интересные особенности.

Этот горизонт, по сути, является фантомным. Он имеет форму тонкого кольца с «обратными» гравитационными свойствами. Если при пересечении классического горизонта дыры по направлению к её центру тело движется ускоренно, то внутрь этого фантомного горизонта-кольца тело движется замедленно. Чем ближе к его центру, тем меньшее усилие действует на тело. А это означает, что в принципе есть возможность с помощью двигателей космического корабля удержаться вблизи этого кольца.

Однако, преодолеть его своими силами он не может. Эта уклончивая фраза, как легко догадаться, означает, что с помощью других сил он, видимо, преодолеть эту границу может. Что это могут быть за силы? Самое очевидно – гравитационные. Действительно, если с внешней стороны к космическому кораблю приблизить, например, достаточно массивную нейтронную звезду, то её притя-

жения может оказаться достаточным, чтобы корабль вырвался из под фантомного кольцевого горизонта.

Разумеется, это лишь умозрительные предположения. Нейтронная звезда достаточно мала, чтобы самой не попасть под влияние Черных дыр. Попробуем поместить рядом с кораблем нейтронную звезду с массой в 10^6 раз меньше, чем массы наших сверхмассивных Черных дыр. Оценим вертикальную силу притяжения в точке фантомного горизонта:

$$F_v = \frac{GM}{10^6 \times x_v^2}$$

Убеганию пробного тела от Черных дыр препятствует вертикальная сила (на рисунке):

$$F_0 = \frac{GM}{r_g^2}$$

Для того, чтобы «вытянуть» пробное тело из-под фантомного горизонта, притяжение нейтронной звезды должно быть больше или равно этой силе:

$$F_v = \frac{GM}{10^6 \times x_v^2} \geq F_0 = \frac{GM}{r_g^2}$$

Откуда после сокращений и преобразований получаем:

$$x_v = 10^{-3} \times r_g$$

Это означает, что если расстояние от нейтронной звезды до пробного тела будет в тысячу раз меньше гравитационного радиуса, то пробное тело окажется в точке Лагранжа. Если ещё немного приблизить нейтронную звезду, то пробное тело покинет горизонт двух Черных дыр.

Но можно предположить, что в процессе сближения Черные дыры образуют своеобразный тоннель между своими горизонтами. Через этот тоннель фантомного горизонта корабль мог бы уйти и без посторонней помощи. Оценим параметры тоннеля, образующегося между горизонтами Черных дыр в зоне Лагранжа.

Обозначим координаты корабля (пробного тела) в «тоннеле убегания» – x_{vi} . Единицей измерения, как указано, берём гравитационный радиус (радиус горизонта звёзд). Расстояния R_1 и R_2 от пробного тела до гравитирующих центров x_1 и x_2 каждой звезды равны, соответственно:

$$R_1 = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + y_i^2}$$

$$R_2 = \sqrt{(x_i - x_2)^2 + y_i^2}$$

Здесь мы учли, что центры дыр лежат на оси X. Согласно ньютоновскому закону гравитационного притяжения пробное тело притягивается к каждой из них с силами F_1 и F_2 :

$$F_1 = \frac{GM}{R_1^2} = \frac{GM}{(x - x_1)^2 + y^2}$$

$$F_2 = \frac{GM}{R_2^2} = \frac{GM}{(x_2 - x)^2 + y^2}$$

Ясно, что обе эти силы не коллинеарны, поэтому для вычисления результирующей силы нам необходимо разложить их на ортогональные составляющие. Для этого вычисляем углы векторов этих сил, образуемые ими с осью X:

$$\cos \varphi_1 = \frac{x - x_1}{\sqrt{(x - x_1)^2 + y^2}}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{x - x_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + y^2}}$$

Поскольку нам известны модули двух сил (векторов) и их углы, мы можем найти модуль суммарной силы (вектора). Находим проекции сил на оси. Проекция на ось y (вертикальная сила) равна:

$$F_{1y} = \frac{GM}{(x - x_1)^2 + y^2} \times \sin \varphi_1 = \frac{GMy}{[(x - x_1)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}}$$

$$F_{2y} = \frac{GM}{(x - x_2)^2 + y^2} \times \sin \varphi_2 = \frac{GMy}{[(x - x_2)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}}$$

И, соответственно, проекции сил на ось x (горизонтальная сила):

$$F_{1x} = \frac{GM}{(x-x_1)^2 + y^2} \times \cos \varphi_1 = \frac{GM(x-x_1)}{\left[(x-x_1)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$F_{2x} = \frac{GM}{(x-x_2)^2 + y^2} \times \cos \varphi_2 = \frac{GM(x-x_2)}{\left[(x-x_2)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

Модуль полной силы равен корню из суммы квадратов:

$$F = \sqrt{(F_{1x} + F_{2x})^2 + (F_{1y} + F_{2y})^2}$$

Подставляем найденные проекции сил и получаем:

$$F = \sqrt{\left\{ \frac{GM(x-x_1)}{\left[(x-x_1)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} + \frac{GM(x-x_2)}{\left[(x-x_2)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} \right\}^2 + \left\{ \frac{GM y}{\left[(x-x_1)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} + \frac{GM y}{\left[(x-x_2)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} \right\}^2}$$

Здесь неявно учтены два обстоятельства. Проекции вертикальных сил всегда суммируются, поскольку они действуют в одном направлении. Проекции горизонтальных сил автоматически от суммирования переходят к вычитанию, поскольку это определяется знаком разницы координат во внутренних круглых скобках. Вынесем за знак корня общий множитель GM:

$$F = GM \sqrt{\left\{ \frac{(x-x_1)}{\left[(x-x_1)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} + \frac{(x-x_2)}{\left[(x-x_2)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} \right\}^2 + \left\{ \frac{y}{\left[(x-x_1)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} + \frac{y}{\left[(x-x_2)^2 + y^2\right]^{\frac{3}{2}}} \right\}^2}$$

Итак, мы получили модуль результирующей силы, действующей на пробное тело со стороны двух Черных дыр. Первое, что бросается в глаза, - это уравнение неприводимое. Не видно никаких разумно сложных преобразований, чтобы выделить одну из переменных как функцию от другой. Пока что мы можем сделать только основную, необходимую процедуру. Нам необходимо выяснить,

чему равна эта сила в точке нахождения пробного тела в сравнении с гравитационной силой на горизонтах наших Черных дыр. По меньшей мере, она должна быть не больше, иначе наше пробное тело не сможет удалиться на бесконечность. То есть, должно обеспечиваться условие:

$$F \leq F_0 = \frac{GM}{r_g^2}$$

Что хорошо, так это то, что собственно величины этих сил нас не интересуют. Интересует только точка в пространстве, где они равны и является ли эта точка доступной для нашего пробного тела. Последнее простое преобразование, которое мы можем сделать, это упростить выражение, исключив квадратный корень:

$$\frac{GM}{r_g^2} \leq GM \sqrt{\left\{ \frac{(x-x_1)}{[(x-x_1)^2 + y^2]^{3/2}} + \frac{(x-x_2)}{[(x-x_2)^2 + y^2]^{3/2}} \right\}^2 + \left\{ \frac{y}{[(x-x_1)^2 + y^2]^{3/2}} + \frac{y}{[(x-x_2)^2 + y^2]^{3/2}} \right\}^2}$$

Как видим, из уравнений уходят помимо квадратного корня и последние чисто физические параметры – гравитационная постоянная и масса Черных дыр:

$$\frac{1}{r_g^4} \leq \left\{ \frac{(x-x_1)}{[(x-x_1)^2 + y^2]^{3/2}} + \frac{(x-x_2)}{[(x-x_2)^2 + y^2]^{3/2}} \right\}^2 + \left\{ \frac{y}{[(x-x_1)^2 + y^2]^{3/2}} + \frac{y}{[(x-x_2)^2 + y^2]^{3/2}} \right\}^2$$

Выше мы указали, что при построении графиков использовалась единица измерения – гравитационный радиус. Поэтому условием возможности ухода из под фантомного гравитационного кольца является:

$$1 \leq \left\{ \frac{(x - x_1)}{[(x - x_1)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} + \frac{(x - x_2)}{[(x - x_2)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} \right\}^2 + \left\{ \frac{y}{[(x - x_1)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} + \frac{y}{[(x - x_2)^2 + y^2]^{\frac{3}{2}}} \right\}^2$$

Другими словами, пробное тело должно находиться в такой точке пространства, в которой выполняется полученное соотношение. Очевидно, что эта точка однозначно находится на середине между центрами Черных дыр, то есть нам известно значение x . Подставив его, мы сможем найти и вторую координату, хотя и с некоторым трудом, поскольку уравнение в дробных степенях. Можно попробовать вычислить y итерационным методом, поскольку видим, что эта координата для итераций легко выделяется. Проверка показала, что итерации сходятся достаточно быстро и на компьютере задача легко разрешима.

Однако, условия задачи наталкивают на мысль о возможности сканирования всего пространства вокруг двух Черных дыр, позволяя построить полный горизонт двух Черных дыр. Это хорошее решение, поскольку сразу же станет видно: есть ли в этом горизонте тоннель, каковы его размеры и форма.

Но эта задача аналитически существенно сложнее, хотя и настолько же проще для компьютерных вычислений. Нам необходимо найти все координаты точек в пространстве вокруг двух Черных дыр, в которых выполняется полученное соотношение. Для этого просто необходимо задавать последовательно все точки пространства и вычислять в них это соотношение, отобрав затем только те координаты, в которых оно выполняется. Эта задача легко программируется. Есть два способа: сканирование, в точности как обычный оптический офисный сканер или копир, и сканирование «радарное», наподобие авиационных или военных радаров в полярных координатах. Принципиальной разницы не видно, но есть очевидное геометрическое преимущество у радарного сканирования.

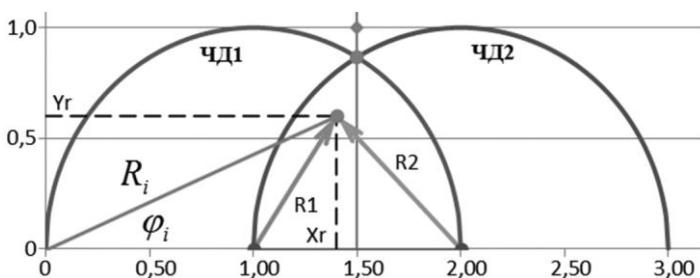


Рис.2.2. Радарное сканирование пространства вокруг Черных дыр для нахождения фантомного горизонта

Поскольку Черные дыры имеют на рисунке вид окружностей, а ожидаемая форма горизонта, скорее всего, будет иметь форму, близкую к окружности, то радарное сканирование позволит обследовать меньшую площадь и задать границы изменения параметров легче.

На рисунке стрелками изображены два радиус-вектора сил притяжения пробного тела Черными дырами R_1 и R_2 . Линия из начала координат с точкой на конце – это и есть радарный радиус-вектор. Искомые координаты текущей точки изображены штриховыми линиями. Эти искомые координаты для выведенного соотношения получаем из полярных координат в виде:

$$x = R_i \sin \varphi_i$$

$$y = R_i \cos \varphi_i$$

Диапазоны изменения величин радиус-вектора и полярного угла необходимо выбрать такими, чтобы заведомо перекрыть предполагаемые зоны фантомного горизонта (на рисунке). Понятно также, что выбор центра полярных координат произволен. Можно предположить, что в изображенном на рисунке варианте в некотором диапазоне углов могут появиться два решения, поскольку после пересечения линии центра между дырами радиус-вектор будет пересекать оба фантомных горизонта. Поэтому, наверное, центр радиус-вектора целесообразно взять внутри горизонта первой дыры, ведь мы ожидаем, что форма кривой фантомного горизонта будет иметь обратные изгибы и, как следствие, двойные пересечения её радиус-вектором.

Выполненные на компьютере вычисления позволили получить массивы данных координат искомого фантомного горизонта

двух сближающихся Черных дыр. На рисунке показаны последовательные 8 этапов сближения Черных дыр.

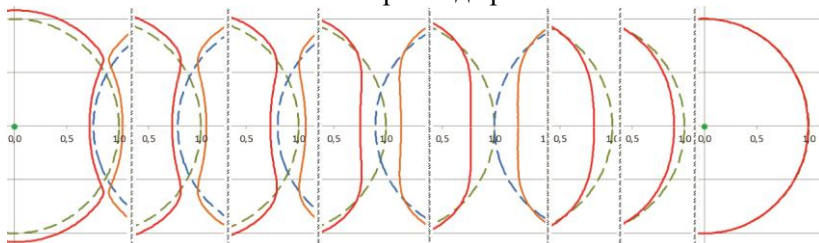


Рис.2.3. Образование тоннеля фантомного горизонта двух сближающихся Черных дыр. Кадры из анимации [2] разделены тонкими штриховыми линиями.

Исходные, собственные горизонты Черных дыр показаны синей и зелёной штриховыми линиями, а вновь образованные горизонты – красной и горчичной сплошными линиями, соответственно. Крайний справа кадр (начало сближения) соответствует удалённости дыр друг от друга порядка 10 гравитационных радиусов. Крайний левый кадр (завершение сближения) соответствует сближению приблизительно на 1,7 гравитационных радиуса. Видно, как образуется тоннель фантомного горизонта и затем неизбежно закрывается. На расстоянии 1,756 гравитационных радиусов в принятых условиях задачи гравитационный тоннель закрывается.

Линзообразная внутренняя полость с точкой Лагранжа при дальнейшем сближении смыкается и две Черные дыры сливаются в одну. Наглядно процесс сближения показан на gif-анимации:

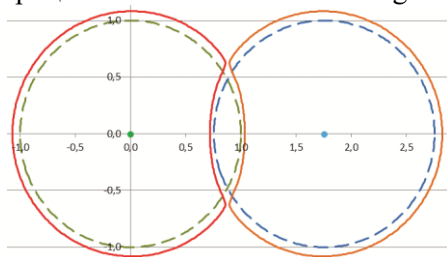


Рис.2.4. Анимированное изображение сближения двух Черных дыр с образованием тоннеля фантомного горизонта. Анимации [2]

На анимации хорошо заметно, как «раздуваются» и деформируются горизонты обеих Черных дыр. Это должно быть понятно. Приближение к Черной дыре «помощницы» позволяет ей захватывать своим "боковым" и "задним" горизонтом более удалённые объекты. Очевидно, что наблюдатель, находящийся между Черными дырами может рассматриваться как находящийся под горизонтом лишь с некоторыми оговорками. Как видно на рисунке, горизонты деформировались, сместились к центрам собственных дыр. Образовавшаяся линзообразная полость может и не рассматриваться как находящаяся под горизонтом. Тем не менее, согласно расчетам общей теории относительности, эта точка явно находится в пределах гравитационного радиуса звезды, поэтому придётся либо признать, что точка – под горизонтом, либо внести интерпретационные корректировки в расчеты ОТО, признающие возможность такой «деформации» горизонта и уменьшения гравитационного радиуса от расчетного. В этом случае у Черной дыры если и не отросли волосы, то уж что-то напоминающее ямочку на подбородке явно просматривается.

В заключение можно отметить, что проверить на практике возможность «посещения с возвратом» внутренней области Черной дыры в принципе, гипотетически возможно. К нам, как известно, приближается галактика Андромеда. Когда-то сверхмассивные Черные дыры в центрах галактик Млечный Путь и Андромеда встретятся. Конечно, массы их не одинаковые, но суть явления меняется не сильно.

3. Путешествие под горизонт Черной дыры с возвратом

Известно, что Черные дыры была предсказана задолго до появления общей теории относительности как объекты, способные удержать на своей поверхности даже свет. Ничто, попав в Черную дыру, не может покинуть её:

«Черной дырой называют область пространства-времени, в которой гравитационное поле настолько сильно, что не позволяет даже свету покинуть эту область и уйти в бесконечность...

Поскольку сигналы не могут выйти из Черной дыры, а физические тела и излучение могут в нее падать, поверхность Черной дыры играет роль своеобразной мембраны, а граница Черной дыры

в пространстве-времени, называемая горизонтом событий, является световой поверхностью...» [27 1].

Однако, в предыдущем разделе показано, что существуют некоторые особые условия [39], при которых космический корабль может попасть, а затем покинуть область под горизонтом сверхмассивной Черной дыры. Действительно, можно задаться простым "буридановым" вопросом: какой горизонт «затащит» космолет к себе, если они находятся по обе стороны от него? Если, как в рассмотренном случае, дыры сблизятся настолько, что их горизонты пересекутся, корабль окажется одновременно под горизонтами обеих Черных дыр и сможет при определенных условиях покинуть их. Следует отметить, что ситуация несколько отличается от той, что рассмотрена в научно-популярном фильме, который можно было бы назвать "Десять способов уничтожить Землю". Две Черные дыры разрывают Землю за счет приливных сил. В нашем случае сверхмассивных дыр принято, что приливные силы имеют достаточно малую величину.

Однако, полученный в общем виде результат не учитывались ни скорость сближения дыр, ни скорость корабля. Тоннель между Черными дырами может закрыться раньше, чем корабль сможет его пересечь. Но, с другой стороны, в случае Черных дыр, вращающихся вокруг общего центра масс, их сближение может быть сколько угодно долгим и у космического корабля будет больше шансов покинуть горизонт.

Вместе с тем, внутреннюю область, которая образуется пересечением горизонтов двух дыр, называть горизонтом, может быть, не вполне корректно. Действительно, на кадрах анимации хорошо заметно, что реальные, фактические, в отсутствие поблизости других массивных тел, горизонты сближающихся Черных дыр деформируются, сжимаются. Хотя математически космолёт и находится в пределах гравитационного радиуса каждой дыры, но напряженность гравитационного поля в этой области существенно меньше, чем под «чистым горизонтом».

Тем не менее, гипотетическая возможность проникнуть под горизонт Черной дыры и затем покинуть его, всё-таки остаётся. Например, можно сначала переместить космолёт под горизонт Черной дыры, затем «деформировать» горизонт таким образом, что космолёт окажется вне него. По всей видимости, это возможно, поскольку время на космолёте и под горизонтом дыры для внешнего

наблюдателя будет остановлено и для «деформации» горизонта дыры извне есть неограниченное время. По часам на космолёте пройдет совсем немного времени, почти мгновение.

Для указанной «деформации» горизонта необходимо, чтобы другая сверхмассивная дыра прошла «параллельным курсом» или по дуге, но касательно, с небольшим перекрытием задевая исходную Черную дыру. Здесь нужно отметить парадоксальность очевидного общепринятого допущения, что под горизонтом Черных дыр находится пустое пространство, а вся масс Черной дыры сосредоточена в её центре, в сингулярности. Выведенные в упомянутой работе [39] уравнения позволяют построить динамическую математическую модель (анимацию) процесса формирования доступных зон внутри горизонта и на достаточно близком расстоянии от центра Черной дыры, её сингулярности:

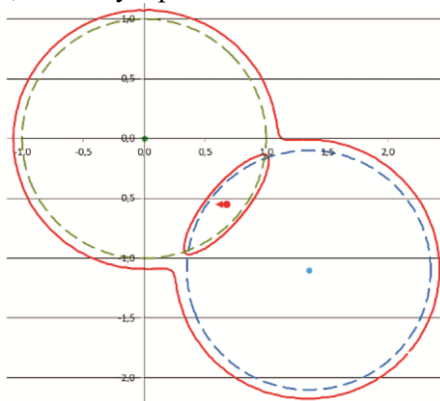


Рис.3.1. Вхождение космолета под горизонт двух сверхмассивных Черных дыр и его последующий уход из-под горизонта. Космолёт всегда должен находиться внутри области Лагранжа (тоннеля убегания). Анимация [2]

На рисунке штриховыми линиями изображены горизонты неподвижной Черной дыры (зеленая линия) и дыры, движущейся мимо неё на расстоянии $1,1r_g$ (синяя линия). Все расстояния на рисунке указаны в гравитационных радиусах r_g , поэтому диаметры дыр равны 2. На расстоянии $0,55$ гравитационных радиуса от неподвижной дыры движется космолёт (красная стрелка с точкой). Красными линиями изображены окружности фантомных горизонтов Черных дыр. Фантомными они названа по причине их не вполне ясной сущ-

ности. Вроде бы они в определённых условиях совпадают с горизонтами Черных дыр $r_g=2M$, но в других условиях существенно от них отклоняются и даже образуют своеобразные эллипсоидальные полости. Вместе с тем, это всё-таки горизонты, то есть границы, при пересечении которой всякое тело и даже свет неизбежно упадут на сингулярность Черной дыры.

Алгоритм построения горизонтов основан на вычислении суммарной силы, действующей на тело со стороны Черных дыр. Вкратце опишем его. Согласно закону Ньютона сила притяжения зависит от расстояния между телами. В процессе движения расстояние между космолётом и каждой из Черных дыр непрерывно изменяется. Если обозначить координаты корабля через $x_i y_i$, а расстояния от него до каждой из Черных дыр как R_1 и R_2 , причём координаты их центров равны, соответственно, $x_1 y_1$ и $x_2 y_2$, соответственно, то в некоторый момент времени t_i эти расстояний будут равны:

$$R_1 = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2}$$

$$R_2 = \sqrt{(x_i - x_2)^2 + (y_i - y_2)^2}$$

Массу космолёта принимаем равной единице. Следовательно, силы притяжения космолёта к двум Черным дырам, каждая из которых имеет массу M , будут равны:

$$F_1 = \frac{GM}{R_1^2} = \frac{GM}{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2}$$

$$F_2 = \frac{GM}{R_2^2} = \frac{GM}{(x_i - x_2)^2 + (y_i - y_2)^2}$$

Суммарная сила определяется путём векторного сложения этих сил, поскольку они действуют не по одной линии, не коллинеарны. В этом случае модуль суммарной силы определяется с помощью проекций частных сил на оси координат:

$$F = \sqrt{(F_{1x} + F_{2x})^2 + (F_{1y} + F_{2y})^2}$$

Главным условием образования суммарного горизонта двух Черных дыр является равенство результирующей силы той силе, которая удержит космолёт от убегания на бесконечность. Результирующая сила притяжения двух Черных дыр на общем горизонте должна быть равна ей:

$$F = F_0 = \frac{GM}{r_g^2}$$

Это и есть условие образования суммарного горизонта. Этот суммарный горизонт двух Черных дыр отличается по расположению в пространстве от их математических горизонтов, поэтому они и названы фантомными. Для космолёта не имеет значения, сколько массивных тел его притягивают. Важно, чтобы эта результирующая сила была точно такой же, как и сила на горизонте одной Черной дыры с массой M . Другими словами результирующая сила в пространстве вокруг двух Черных дыр образует новую поверхность сложной формы, отличающуюся от обычной, сферической - фантомный горизонт. В каждой точке этой поверхности на тело действует сила F_0 , не дающая ему улететь на бесконечность.

Для построения этой поверхности использован метод радарного сканирования. То есть, перебором всех точек пространства вокруг дыр и определения силы притяжения в них. Координаты точек, в которых обнаружена сила, равная или меньшая, чем F_0 , нанесены на схему рис.3.1. Как и ожидалось, форма фантомного горизонта имеет замысловатую форму и изменяется в зависимости от расстояния между дырами. При некоторых расстояниях образуется помимо внешнего горизонта ещё и внутренний горизонт - замкнутая линзообразная область.

Для проверки правильности построений рассмотрены два граничных случая. Когда расстояние между дырами равно бесконечности (на рисунке это 10 гравитационных радиусов), фантомный горизонт сливается с математическим. Это видно на первом кадре анимации. Второй случай – слияние двух дыр. В этом случае фантомный горизонт оказался равным 1,4...1,5 гравитационных радиусов, то есть в $\sqrt{2}$ раз больше математического. Это верный результат, поскольку при увеличении массы Черной дыры в два раза, её горизонт увеличивается именно $\sqrt{2}$ раз.

Итак, как показано на рисунке в начальный момент эксперимента, космический корабль, космолёт, прибыл издалека и находится на достаточно безопасном расстоянии от Черной дыры. В любое время он может включить свои реактивные двигатели и удалиться от неё на бесконечность. Но его задача иная, для выполнения которой он всегда находится точно в середине линии, соединяющей центры Черных дыр, в точке Лагранжа.

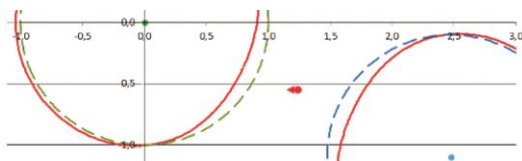


Рис.3.2. При сближении двух сверхмассивных Черных дыр космолёт всегда должен находиться внутри области Лагранжа (в тоннеле убегания)

Издали к неподвижной Черной дыре приближается движущаяся Черная дыра такой же массы. Анализ движения начинаем с её удалённости в 10 гравитационных радиусов, - это первый кадр анимации. В момент, когда дыра приблизилась до 6, появляется (становится видимым) космолёт. В дальнейшем при сближении дыр космолёт корректирует своё положение в пространстве, стремясь всегда находиться в точке (области) Лагранжа.

На рисунке видно, что фантомные горизонты Черных дыр деформировались, «вдавились» внутрь горизонта математического. Это означает, что любое тело, оказавшись под исходным, математическим горизонтом, уже не будет затянута Черной дыры, тело сможет покинуть эту область. Новым, фактическим горизонтом становится фантомный. В случае попадания под этот горизонт ни тело, ни свет уже не смогут вырваться. При дальнейшем сближении Черных дыр, деформация горизонтов усиливается и, наконец, образует особую полость внутри горизонтов Черных дыр:

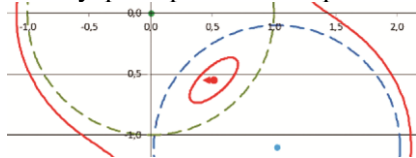


Рис.3.3. При сближении двух сверхмассивных Черных дыр образуется полость внутреннего горизонта

Эллипсообразная или сплюснутая сферическая полость горизонта (красный овал на рисунке) – это весьма интересное явление в «жизни» Черных дыр. Эта полость – тоже пространство, ограниченное горизонтом событий, только это довольно странный горизонт. Горизонты Черных дыр поглощают вещество и направляют его внутрь, к своей сингулярности. Полость горизонта событий между

двумя Черными дырами делает всё с точностью до наоборот, стремясь выбросить своё содержимое наружу.

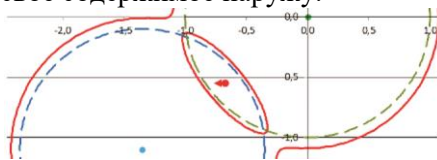


Рис.3.4. Через некоторое время движения двух сверхмассивных Черных дыр полость внутреннего горизонта перемещается на другую сторону

В центре такой полости тело не испытывает никаких усилий, это точка Лагранжа. А вот, если пересечь эту границу, то одна из Черных дыр тут же захватит тело и отправит его в свою сингулярность. Поэтому наш космолёт стремится двигаться таким образом, чтобы не приближаться к границам этой полости, стараясь всегда находиться в её центре. Через некоторое время, двигаясь, полость повернётся вокруг центра неподвижной Черной дыры и окажется на противоположной стороне по ходу движения.

Космолёт вместе с полостью переместился на другой край неподвижной Черной дыры. Процесс зеркальным образом повторяет то, что было вначале. Поэтому не является неожиданным раскрытие полости и образование тоннеля убегания, то есть, своеобразного коридора, через который космолёт может уйти, убежать от воздействия сил притяжения Черной дыры. Теперь уже ничто не мешает космолёту покинуть промежуточное пространство между дырами:

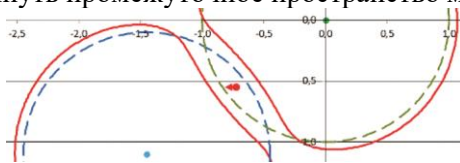


Рис.3.5. Две сверхмассивные Черные дыры разошлись и образовали тоннель убегания

То, что космолёт всё ещё находится внутри математических горизонтов обеих Черных дыр, ничего не значит. Это всего лишь пустое пространство, в котором каждая из Черных дыр, будучи одной, захватила бы космолёт. Но здесь этому мешает её напарница. Вдвоём они «тянут» космолёт в разные стороны, оставляя ему право самому решать с помощью своих двигателей, куда двигаться.

Реально действующие, фактические горизонты дыр, имеющие название фантомных, теперь уже находятся далеко и не могут помешать космолёту двигаться. Ему нужно лишь одно: покинуть область математических горизонтов Черных дыр, очерченную штриховыми линиями, после того, как дыры разойдутся достаточно далеко.

Итак, мы видели картину, как космолёт приблизился к центрам Черных дыр на расстояние почти в половину их гравитационных радиусов. Как это возможно? Ведь теория относительности не допускает возможности пересечь горизонт изнутри, а тело, попавшее под него, с неизбежностью упадёт на сингулярность. Здесь, в описанном мысленном эксперименте, такого падения не происходит.

Конечно, можно утверждать, что расчеты содержат ошибки. Но это не имеет особого смысла и легко проверяется. Сама же логика эксперимента говорит: всё должно происходить так, как описано. И, как это часто бывает, этот эксперимент не столько даёт ответы, сколько ставит новые вопросы.

Тогда, может быть, теория относительности неверна? Ну, это плохой вопрос, мало что проясняющий. Действительно, считается, что сингулярность – это свидетельство ошибочности теории или, по крайней мере, свидетельство её неполноты. Но эту тему здесь обсуждать мы не будем. Было бы лучше выполнить все расчеты по данному эксперименту более корректно, в рамках общей теории относительности. Вполне возможно, что решение окажется иным и космолёту не выжить внутри горизонтов. Хотя такой исход крайне маловероятен. Пришлось бы отправить в утиль и вполне действующие физические законы, лишь бы получить релятивистское опровержение этого эксперимента.

Но, если этот мысленный эксперимент справедлив, тогда возникают другие вопросы. При коллапсе звезды в Черную дыру, согласно общей теории относительности, время на её горизонте замедляется настолько, что для внешнего наблюдателя движение полностью прекращается. Это означает, что вещество звезды с его точки зрения практически *никогда* не достигнет сингулярности и даже самой поверхности горизонта. Другими словами, для стороннего наблюдателя *сингулярности не существует*. Всё вещество звезды, её поверхность останутся на своих местах, местах, где их видели в последний раз. То есть, условно говоря, пространство под

горизонтом Черной дыры – это не эфемерное пустое, хотя и гравитирующее пространство. Это вполне твёрдая, из спрессованных нейтронов поверхность, сквозь которую не провалишься – хоть на танке проезжай. А танк будет весить многие миллионы тонн!

И при этом, наш космолёт свободно прошёл через эту «нейтронно-бетонную» стену! Так прошёл или же всмятку? Вот это уже хороший вопрос. Считается, что астронавт, падающий в сверхмассивную Черную дыру, не испытает никаких воздействий. Он даже не заметит момента, когда пересечёт горизонт. Только позади у него, как говорится, станет «небо в копейчку», копейчку, пылающую как множество Солнц. Это возможно, поскольку за время его падения на сингулярность, снаружи пройдёт вечность, и весь свет, падающий на Черную дыру с его стороны, превратится в один мощнейший луч фотонов, копившихся вечность, но прилетевших в один момент.

Вторая Черная дыра из нашего эксперимента, пролетевшая мимо и лишь частично коснувшаяся горизонта, пролетит мимо него в один краткий миг. И полость фантомного горизонта – тоже. Что произойдёт в этом случае? В полости время течёт как снаружи, ведь в ней нет такого сильного искривления пространства-времени. Коснувшись этой полости, оказавшись в ней, свободно падающий астронавт окажется вдруг во времени внешнего наблюдателя. И все скорости движения и темп времени у него станут такими же. А это, видимо означает одно: спасение. Ему только-то и нужно, что попасть в дрейфующий с полостью космолёт.

Всё это произойдёт спустя мгновение после перехода астронавта под горизонт Черной дыры. Более того, он даже и не заметит, что был в остановленном времени. При этом у внешних наблюдателей для такого спасения есть тысячи лет. Здесь явно видна машина времени. Но только для астронавта и только для движения в будущее.

Но вопрос о составе вещества вблизи, под горизонтом остался без ответа. Можно предположить, что в области перекрытия горизонтов вещество мгновенно упадёт к центру. То есть, фантомный горизонт «утрамбует» нейтроны там, где пройдёт. Пока это неясно.

4. Минимальный размер Черной дыры с сингулярностью

Следует отметить, что полученные выше выводы, строго говоря, неполны. Сингулярность, как видим, базируется на очень зыбком фундаменте, на самом деле для образования горизонта событий Черной дыры в ней нет никакой необходимости. Картина сингулярности, что называется, нарисована с одной, минимальной, так сказать, стороны. Для образования минимальной Черной дыры, как оказалось, понятие сингулярности и противоречиво и излишне. Но, может быть, сингулярность всё-таки образуется при дальнейшем росте массы Черной дыры?

В самом деле, чему должен быть равен диаметр внутреннего нейтронного "ядра" сверхмассивной Черной дыры, при котором сила гравитации на его поверхности превысит силу сильного ядерного взаимодействия? То есть, мы предполагаем, что вещество Черной дыры сразу после коллапса не схлопывается в сингулярность, а всё вновь захваченное ею вещество равномерно ложится на поверхность исходной Черной дыры, её нейтронное "ядро". Конечно, все это можно увидеть только с точки зрения внутреннего наблюдателя.

Для такого наблюдателя всё вещество будет неизбежно падать на поверхность сколлапсировавшей нейтронной звезды, увеличивая на её поверхности силу притяжения, ускорение свободного падения. Следовательно, можно ожидать, что рано или поздно для этого наблюдателя сила гравитационного притяжения нейтрона на поверхности такой сверхмассивной нейтронной звезды превысит силу сильного ядерного взаимодействия.

В этом случае возникает новое подобие громадного "атомного ядра", вырвать из которого нейтрон будет существенно труднее, чем из обычного ядра. Если сильное взаимодействие удерживает нейтроны в составе ядра, то возникшее ещё более сильное гравитационное взаимодействие, видимо, деформирует ядро вплоть до сингулярности, поскольку с уменьшением такого ядра сила сдвливания будет только увеличиваться. Поэтому так и будем считать, что у сил ядерного отталкивания есть предел и гравитация способна его преодолеть.

В этом случае для того, чтобы возникла сингулярность, необходимо, очевидно, чтобы сила притяжения нейтрона на поверхности нейтронной звезды, по меньшей мере, превышала силу сильного

ядерного взаимодействия $F_{яв}$. Величину этой силы мы выше уже оценили по их соотношению и получили, что $F_{яв} \sim 8 \times 10^{20}$ kg. Такую силу гравитационного притяжения F_{φ} может обеспечить только звезда общей массой, которую определяем из уравнения:

$$F_{\varphi} = \frac{GM_{нз}M_n}{R_{нз}^2} \geq F_{яв}$$

Объем $V_{нз}$ исходной, до сингулярности звезды и объем V_n одного нейтрона без сжатия

$$V_{нз} = \frac{4}{3}\pi R_{нз}^3, \quad V_n = \frac{4}{3}\pi \cdot r_n^3$$

Поскольку между считающимися сферическими нейтронами в нейтронной звезде остается незанятое пространство, то общее число нейтронов будет немного меньше. Строго говоря, коэффициент уплотнения взят из предположения, что нейтроны являются твердыми, недеформирующимися шариками. На самом деле более правдоподобным было бы предположение, что нейтроны все-таки слегка сжимаются, то есть их сферическая поверхность немного "мягче", тем ближняя к его центру. То есть, коэффициент уплотнения может быть несколько больше. Но это лишь предположение. Следовательно, в объеме звезды поместится N_n нейтронов с учетом коэффициента уплотнения $k_{нл}=0,74$.

$$N_n = \frac{V_{нз}}{V_n} k_{нл}$$

Это количество нейтронов создаст массу искомой нейтронной звезды

$$M_{нз} = M_n N_n = \frac{M_n k_{нл}}{\frac{4}{3}\pi \cdot r_n^3} \frac{4}{3}\pi R_{нз}^3 = \frac{M_n R_{нз}^3 k_{нл}}{r_n^3}$$

Используя это выражение, находим

$$F_{\varphi} = \frac{M_n R_{нз}^3 k_{нл}}{r_n^3} \times \frac{GM_n}{R_{нз}^2}$$

Откуда

$$F_{\varphi} = \frac{GR_{нз}M_n^2 k_{нл}}{r_n^3}$$

Подставляем значения величин и находим

$$F_{\varepsilon} = R_{нз} \frac{GM_n^2 k_{нл}}{r_n^3} = R_{нз} \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 4 \cdot 10^{-54} \times 0,74}{64 \cdot 10^{-48}} \geq F_{я6} = 8 \times 10^{20} \text{ kg}$$

Отсюда вычисляем радиус "исходной нейтронной звезды" до сжатия в сингулярность, своеобразного "атомного ядра" в центре Черной дыры

$$R_{нз} \geq \frac{8 \times 10^{20}}{3 \times 10^{-18}} = 2,3 \times 10^{38} \text{ m} \approx 2,3 \times 10^{22} \text{ св.лет}$$

Сразу же возникает вопрос, насколько вероятно увеличение Черной дыры до таких размеров, если радиус наблюдаемой Вселенной составляет $13,7 \times 10^{12}$ лет? Кроме этого, такой радиус лишь обеспечивает равенство гравитационного притяжения на поверхности звезды силе сильного ядерного взаимодействия. Утверждение, что если сила гравитационного сдавливания будет больше, то нейтроны начнут бесконечно сжиматься – это все-таки плохо обоснованное утверждение. Кроме этого, для внешнего наблюдателя такая сила притяжения вообще недостижима на бесконечном интервале времени, поскольку самый сильно притягиваемый нейтрон всегда будет оставаться на поверхности исходной нейтронной звезды, и по мере роста Черной дыры это притяжение будет только уменьшаться. Для справки оценим массу полученной Черной дыры

$$M_{инз} = \frac{R_{нз}^3 M_n k_{нл}}{r_n^3} = \frac{(2,3 \times 10^{38})^3 \times 4 \times 10^{-54} \times 0,74}{64 \times 10^{-48}} \approx 10^{78} M_c$$

и величину её гравитационного радиуса

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 10^{108}}{9 \times 10^{16}} \approx 10^{81} \text{ m} \approx 10^{65} \text{ св.лет}$$

Кстати, согласно стандартной модели теории Большого взрыва, полная масса вещества перед рождением Вселенной должна была превосходить всего лишь 10^{80} т, то есть в 10 раз меньше. Кроме этого, согласно литературным данным, предельная масса сверхмассивной Черной дыры равна всего лишь $5 \times 10^{10} M_c$.

Также для справки оценим вес единичной массы на горизонте событий

$$F_{ed} = \frac{GM_{чд}}{\left(\frac{2GM_{чд}}{c^2}\right)^2} = \frac{c^4}{4GM_{чд}}$$

Это известное обстоятельство. Вес любого тела на горизонте событий Черной дыры тем меньше, чем больше масса этой дыры. Что особенно интересно: при бесконечно большой массе Черной дыры на её горизонте событий будет фактически невесомость. Для вычисленной Черной дыры вес гири массой в 1 кг на горизонте событий составит

$$F_{ed} = \frac{c^4}{4GM_{чд}} = \frac{81 \times 10^{32}}{4 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 10^{108}} \approx 3 \frac{10^{32}}{10^{97}} \approx 3 \times 10^{-66} \text{ кг}$$

Особого удивления это не должно вызывать, поскольку гравитационный радиус растет быстрее, чем её масса. При этом первая космическая скорость будет равна

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM_{чд}}{r_g}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 10^{108}}{10^{81}}} \approx \sqrt{7 \frac{10^{108}}{10^{92}}} \approx 3 \times 10^8 \text{ м/сек} \approx c$$

Как видим, все основные положения для Черной дыры выполняются, хотя, конечно, выглядит все это довольно странно. Известно, что космический корабль и даже свет не могут покинуть такой горизонт событий и избежать падения на сингулярность. Но на самом горизонте событий при этом наблюдается невесомость. Конечно, улететь на бесконечность невозможно, но что может помешать вылететь из-под горизонта Черной дыры в радиальном направлении, если гиря массой в один килограмм весит там меньше электрона? Для сравнения найдем вес единичной массы на горизонте стандартной (минимальной) Черной дыры

$$F_{ed} = \frac{c^4}{4GM_{чд}} = \frac{81 \times 10^{32}}{4 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 2,5 \times 10^{30}} \approx \frac{10^{32}}{10^{19}} \approx 10^{13} \text{ кг}$$

Также интересно выяснить, чему равны размеры и масса Черной дыры, на горизонте событий которой гиря массой 1 кг весит в точности 1 кг, как на Земле, то есть

$$F_{ed} = \frac{c^4}{4GM_{чд}} = 1$$

В данном случае вес в ньютонах. Поэтому

$$M_{\text{чд}} = \frac{c^4}{4G} = \frac{81 \times 10^{32}}{4 \times 6,67 \cdot 10^{-11}} \approx 3 \times 10^{43} \approx 3 \times 10^{13} M_c$$

Гравитационный радиус (размеры) такой Черной дыры

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 3 \times 10^{43}}{9 \times 10^{16}} \approx 4 \times 10^{15} \text{ м} \approx 0,4 \text{ св.лет}$$

Вновь мы получили сверх сверхмассивную Черную дыру, масса которой почти в 1000 раз больше массы максимально возможной Черной дыры [3].

Вращение Черной дыры для внешнего наблюдателя

Как известно, любая Черная дыра "не имеет волос" и характеризуется тремя параметрами – массой, моментом импульса и зарядом. Можно заметить, что момент импульса для внешнего наблюдателя выглядит несколько противоречиво. Для такого наблюдателя течение времени в Черной дыре остановлено, поэтому для него любое перемещение внутренних частей выглядит абсурдно. Действительно, рассмотрим падение на Черную дыру некоторого материального объекта. Приближаясь к горизонту событий, движение этого объекта для внешнего наблюдателя замедляется и полностью прекращается, когда объект "касается" горизонта. Но что это означает? Прекращается движение объекта в радиальном направлении, к центру Черной дыры. Время остановлено, поэтому по отношению к центру Черной дыры объект не перемещается. Но точно то же самое должно произойти и с его перемещением вдоль поверхности Черной дыры! Иначе нам следует признать, что в один и тот же момент по показаниям часов объекта он одновременно находится в двух (условно) местах. Такие же выводы следуют согласно формализму ОТО и для сингулярности: с точки зрения внешней системы отсчета никаких сингулярностей внутри Черных дыр не может быть по определению. Поскольку темп времени внутри таких Черных дыр для нас остановлен, следовательно, с нашей точки зрения внутри них ничто, никакое вещество не может двигаться. Всякое движение внутри Черной дыры прекращается сразу же после коллапса, поэтому возникнуть сингулярность просто не может.

Наконец, для сверхмассивных Черных дыр можно сделать ещё один вывод. Объем таких Черных дыр может непрерывно с нашей же точки зрения увеличивается. Но всё падающее на неё вещество, согласно выводам ОТО, должно останавливается в той точке пространства, в которой мы его "видели в последний раз". То есть, всё падающее на Черную дыру вещество, в конечном счёте, по мере увеличения её горизонта оказывается "размазанным" по её объёму. Структура такой Черной дыры должна напоминать многослойную луковицу или кочан капусты.

Считается, что в каждой внутренней точке сверхмассивной Черной дыры плотность вещества ничтожно мала. Только в центре этой дыры плотность вещества может быть равна плотности находящейся там исходной нейтронной звезды. Налицо абсурд.

Еще один способ убежать из-под горизонта Черной дыры

Если присмотреться, то можно обнаружить еще одну интересную картину. Если на горизонте событий сверхмассивной Черной дыры сила притяжения крайне мала, то присутствие массивного тела за пределами горизонта событий может помочь космолету "пересилить" притяжение сингулярности и вырваться из-под горизонта.

Рассмотрим возможность вытянуть гирию массой 1 кг из-под горизонта сверхмассивной Черной дыры в центре галактики Млечный Путь. Масса этой Черной дыры равна приблизительно $7,4 \times 10^{37}$ кг, а гравитационный радиус – ок.6 световых часов. Следовательно, сила притяжения гири на этом горизонте равна

$$F_{kg} = \frac{c^4}{4GM_{MW}} = \frac{81 \times 10^{32}}{4 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 7 \times 10^{37}} \approx 4 \times 10^5 \text{ кГ}$$

Пусть мимо этой гири вне горизонта событий движется нейтронная звезда с массой, равной двум массам Солнца. Для того, чтобы "вырвать" гирию из-под горизонта событий, сила притяжения её к звезде должна быть больше силы притяжения к сингулярности

$$F_{eo} = \frac{2GM_c}{R_c^2} \geq 4 \times 10^5 \text{ кГ}$$

Следовательно, нейтронная звезда должна находиться от груза и горизонта на расстоянии

$$R_c \leq \sqrt{\frac{GM_c}{4 \times 10^5}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 4 \times 10^{30}}{4 \times 10^5}} \approx 30'000 \text{ km}$$

Считается, что типичный радиус нейтронной звезды составляет около 10-20 км, следовательно, сама по себе она не попадает под горизонт и не касается его. Получается, что гипотетически, в принципе уйти из-под горизонта Черной дыры можно, то есть попадание под горизонт Черной дыры не является фатальным, необратимым.

Испарение Черной дыры

Согласно выводам Хокинга Черные дыры вследствие квантовых эффектов излучают тепловую энергию. Следовательно, уменьшают свою массу, то есть испаряются. Согласно литературным данным, на испарение Черной дыры может потребоваться время порядка 10^{100} лет. Хотя это очень длительный срок, однако, по сравнению с вечностью по часам на горизонте дыры это просто одно мгновение. Получается, что Черная дыра должна испариться раньше, чем её вещество упадет на сингулярность, и гипотеза об испарении Черной дыры тем самым делает сингулярность вообще сомнительным явлением.

С другой стороны, следует задуматься и над вопросом, а что именно испаряется в Черной дыре? Если Черная дыра содержит в своем центре сингулярность, то испаряется, видимо, эта сингулярность. Но некоторые физики, пусть очень мягко, невнятно, но признают, что из-за остановки часов на горизонте, вещество никогда для внешнего наблюдателя не упадет на сингулярность. Для него, следовательно, вся масса только что возникшей Черной дыры сосредоточена в исходной нейтронной звезде, ушедшей под горизонт событий, сингулярность может образоваться лишь в бесконечно далекой перспективе. Поэтому, очевидно, должна испаряться именно эта исходная нейтронная звезда.

Понятно, что смысл, суть испарения чего-либо означает, в конечном счете, уменьшение массы испаряющегося объекта, то есть, в данном случае, исходной нейтронной звезды. Для простоты примем, что вокруг этой Черной дыры отсутствуют всякие источники материи, способные увеличить её массу. Следовательно, рано или поздно в процессе испарения масса "подгоризонтной" нейтронной

звезды, то есть, масса соответствующей ей Черной дыры уменьшится.

Согласно гипотезе о хокинговском излучении полностью Черная дыра испарится за весьма длительный период времени, причём со взрывом. Однако, не дожидаясь полного испарения дыры и её взрыва, предположим, что в ходе такого испарения её масса уменьшилась, скажем, на 15 процентов. К чему это должно привести? Считается, что масса самой большой нейтронной звезды не может быть больше массы порядка 2,5 масс Солнца и, соответственно, меньше этой же величины не может быть масса самой маленькой Черной дыры. Следовательно, возникает противоречие: либо это ограничение неверно, либо испарившая часть своей массы Черная дыра должна перестать быть Черной дырой. Исходная нейтронная звезда словно "всплывает" из-под горизонта событий. Без взрыва.

5. О некоторых особенностях горизонта событий

Если ознакомиться с темой сингулярности на форумах в интернете, в научно-популярной литературе, в научно-популярных документальных фильмах и учебниках, то можно увидеть единодушное мнение о том, что на расстоянии гравитационного радиуса от Черной дыры время останавливается, скорость падающего на Черную дыру тела приближается к скорости света, а разрывающая сила, приливная сила, действующая на него, приближается к бесконечности. Однако, можно заметить и упоминаемые вскользь отклонения: фактически ни одна из наблюдаемых Черных дыр в принципе не может иметь внутри сингулярности, а падение на сверхмассивную Черную дыру, вообще-то, вполне безопасно для астронавта. Рассмотрим в качестве примера задачу о падении некоторого астрофизика под горизонт событий Черной дыры, приведенную в учебнике:

"В ходе коллапса к $R = 0$ различные части тела астрофизика испытывают разные гравитационные силы. Его ноги, находящиеся на поверхности звезды, притягиваются к центру нарастающей до бесконечности гравитационной силой, в то время как его голова, находящаяся на большем расстоянии от центра, ускоряется вниз несколько меньшей силой. Разность этих двух ускорений (приливная сила) в ходе коллапса все более нарастает, становясь в конце

концов бесконечной, когда R достигает нуля. Тело астрофизика не может выдержать такие огромные силы; оно испытывает беспредельно нарастающее растяжение между головой и ногами" [21].

В ходе рассуждений авторами получено выражение (32.25б) для компонент напряжения T в центре масс, в котором масса Черной дыры M принята равной массе Солнца M_C :

$$T = \frac{1}{2} \frac{mM}{hr^3} \approx 0,7 \cdot 10^{13} \frac{M/M_C}{r^3} = \frac{0,7 \cdot 10^{13}}{r^3} \approx 10^8 \text{ дин/см}^2$$

Здесь $m = 75$ кг, $h = 1,8$ м – вес и рост астрофизика, r – его удаленность от центра ЧД. Судя по всему, в решении задачи допущена вычислительная ошибка. Человеческое тело, как указано, не может выдержать давления или натяжения, превосходящего 10^8 дин/см², что соответствует 100 атмосферам. Подставив это значение в уравнение, мы получаем:

$$r = \sqrt[3]{\frac{0,7 \cdot 10^{13}}{10^8}} = \sqrt[3]{0,7 \times 10^5} = 10 \times \sqrt[3]{70} \approx 41 \text{ км}$$

Авторы получили значение около 200 км. Хотя оба результата соответствуют неравенству $R \gg 2M \sim 3 \text{ км}$, но, в общем, этот вывод не совсем верен. Утверждается, что астрофизик, расположенный на свободно падающей поверхности звезды с массой, равной массе Солнца, будет убит приливными силами при вычисленном радиусе звезды. Неточность заключается в том, что согласно пределу Оппенгеймера-Волкова звезда такой массы не может сколлапсировать.

Данная ситуация, надо признать, достаточно очевидна. На наш взгляд, более интересной можно считать задачу с другими начальными условиями, при которых человек безболезненно попадает под горизонт Черной дыры. Считается, что такая ситуация наблюдается при падении под горизонт сверхмассивной Черной дыры. Применим полученное выражение к сверхмассивной Черной дыре в центре нашей галактики Млечный Путь:

$$T = 0,7 \cdot 10^{13} \frac{M/M_C}{r^3} = \frac{3,7 \cdot 10^6 \times 0,7 \cdot 10^{13}}{(6,75 \cdot 10^9)^3} \approx 8,4 \cdot 10^{-11} \text{ дин/см}^2$$

Здесь принято, что ЧД имеет массу, равную $3,7 \times 10^6$ масс Солнца, а гравитационный радиус равен 6,25 световых часа или $6,75 \times 10^9$ километров. В данном случае принято некоторое отклонение от условия задачи, поскольку в данном случае падение проис-

ходит не в процессе коллапса, астрофизик не находится на поверхности коллапсирующей звезды, а свободно падает под её горизонт событий, гравитационный радиус. Поэтому произведём сравнение результата с классическим. На астрофизика, находящегося на расстоянии гравитационного радиуса от центра ЧД действует сила притяжения:

$$F = \frac{G\mu M}{r^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 75 \times 7,4 \cdot 10^{36}}{(6,75 \cdot 10^9)^2} = 8 \cdot 10^8 \text{ кГ}$$

Как видим, усилие огромное, но оно возникает, только если тело неподвижно. Однако, для свободно падающего тела (лифт Эйнштейна) это усилие исчезает, а вместо неё возникает приливная сила. Если посчитать вторую силу притяжения, приложенную к телу на высоте роста человека, то разность этих усилий (приливная сила) будет равна:

$$F = \frac{G\mu M}{r^2} - \frac{G\mu M}{(r + \ell)^2} \approx 0,0004 \text{ кГ}$$

Как видим, действительно, при падении под гравитационный радиус сверхмассивной Черной дыры, в данном случае Млечного Пути, на астрофизика будет действовать приливная сила ничтожной величины, не представляющая для него никакой опасности. Фактически астрофизик находится в состоянии невесомости!

Это довольно интересное обстоятельство – невесомость на гравитационном радиусе Черной дыры. И здесь следует обратить внимание ещё на один интересный факт. Как известно, гравитационный радиус сверхмассивной Черной дыры растет пропорционально её массе. Следовательно, сила притяжения некоторого тела к Черной дыре на расстоянии гравитационного радиуса будет тем меньше, больше масса этой дыры.

Действительно, очень интересное обстоятельство. Получается, что при некоторой массе такой дыры на тело будет действовать сила притяжения меньше, чем, например, на поверхности Земли. Величина гравитационного радиуса равна

$$r_g = \frac{2GM_{\text{ЧД}}}{c^2}$$

Сила притяжения, например, единичного груза массой в 1 кг равна

$$F_{ed} = \frac{GM_{чд}}{r_g^2}$$

Подставим в это уравнение значение гравитационного радиуса из уравнения предыдущего

$$F_{ed} = \frac{GM_{чд}}{\left(\frac{2GM_{чд}}{c^2}\right)^2} = \frac{c^4}{4GM_{чд}}$$

Как ожидалось, сила притяжения обратно пропорциональна массе сверхмассивной Черной дыры. Для того чтобы груз массой в 1 кг весил на горизонте Черной дыры 1 кГ, масса Черной дыры должна соответствовать выражению

$$F_{ed} = \frac{c^4}{4GM_{чд}} = 1$$

Преобразуем, подставляем известные величины и находим:

$$M_{чд} = \frac{c^4}{4G} = \frac{81 \times 10^{32}}{4 \times 6,67 \cdot 10^{-11}} \approx 3 \times 10^{43} \text{ kg} \approx 3 \times 10^{13} M_{\odot}$$

Это почти в 1000 раз больше массы известного кандидата на сверхмассивную Черную дыру. Считается, что Черные дыры в квазарах, имеющих аккреционные диски, не могут иметь массу, больше чем $5 \times 10^{10} M_{\odot}$. [3] Если это относится только к указанным сверхмассивным дырам, то возникает ещё одно интересное следствие. Существует общепризнанное мнение, что из-под горизонта Черной дыры невозможно ни уйти, ни подать какой-либо сигнал. Судя по всему, для вычисленной Черной дыры это не совсем верно. Рассмотрим следующую гипотетическую ситуацию.

Некий космолет попадает под горизонт такой сверхмассивной Черной дыры. Согласно уравнениям теории относительности, величина первой космической скорости будет равна скорости света, поэтому, как утверждается, он не может ни улететь, ни послать световой сигнал наружу. Однако, это утверждение имеет несколько иные основания, чем традиционно подразумеваемые. На гравитационном радиусе Черной дыры невозможна стационарная орбита спутника, поскольку тангенциальная скорость, равная скорости света, для него недостижима. Обращаем внимание: скорость тангенциальная, то

есть, перпендикулярная радиусу. В этом, собственно, и состоит смысл первой космической скорости, из которой и определяют гравитационный радиус. Но попробуем задать такой вот странный вопрос: с какой скоростью должен лететь космолёт, чтобы улететь, например, с Земли? Ответ – со второй космической скоростью – неверный. Правильный ответ: с любой ненулевой скоростью. По определению скорость обозначает изменение расстояния между объектами за некоторое время. Если космолёт движется от Земли по радиусу со скоростью 4 км/час, то, очевидно, он рано или поздно покинет не только Землю, но и Солнечную систему. Конечно, очень не скоро и топлива на это ему понадобится безумно много. Ну, или потребуется очень длинный трос.

Это прямо означает, что первая космическая скорость задает условие инерционного (без двигателей) движения по некоторой орбите. Но она не имеет никакого отношения к активному движению – с включенными двигателями – по радиусу. В нашем конкретном случае сверхмассивной Черной дыры на космолет действует сила притяжения, в точности равная таковой на поверхности Земли. Весит он ровно столько, сколько и на Земле. Возникает естественный вопрос: что может помешать звездолету, включив двигатели, подняться вверх, удалиться от центра Черной дыры? Тяга двигателей, очевидно, обеспечит существенно большее усилие, чем притяжение Черной дыры в этой точке.

А как же тогда быть с первой космической скоростью? А никак! Этот космолет с выключенными двигателями, действительно, не сможет остаться на стационарной орбите и очень скоро упадёт на сингулярность. Хотя и уйти на бесконечность ему будет непросто: потребуется очень много топлива. Но главное – уйти из-под горизонта такой Черной дыры ему ничто не мешает. И здесь появляется ряд возможностей. Например, уйдя из-под горизонта, космолёт может быть подхвачен спасательным кораблём. Но и находясь под горизонтом, космолёт может спокойно обмениваться радиосигналами с кораблём, находящимся вне горизонта. Описанные в литературе эксперименты с падением на сингулярность приобретают весьма реальные очертания для осуществления. На довольно большом расстоянии под горизонтом сверхмассивной Черной дыры какой-либо зонд может передавать сигналы наружу.

6. О количестве информации на горизонте Черной дыры

Такова уж натура человека: пресытившись чем-либо, он начинает желать чего-то большего. Сытный обед завершается сладким или мучным десертом. Интересная книга быстро забывается и требуется ещё более интересная. Тяга к прекрасному самым невероятным образом переходит в тягу к ужастикам. А без Гарри Поттера и прочей мистики жизнь современного человека вообще невообразима. Наука, как оказывается, тоже не обошла этих метаморфоз. Казалось бы, строго логичная, доказательная и последовательная составляющая интеллектуального существования человека не нуждается в подобных отклонениях. Тем не менее, научная фантастика и так называемая популяризация науки всё чаще грешит против самой науки. Достигнув определенных успехов, ведущие ученые переходят к сочинительству. Всё это, конечно, было бы неплохо, если бы такие отклонения не облачались в научную форму, выдаваясь за популярное изложение научных знаний, и не вводили в заблуждение читателя.

Одной из таких плодородных земель является космология и тесно связанные с ней разделы физики. Например, гипотеза о голографической Вселенной преподносится как прямое следствие научных открытий [49]. Споры нет, идея красивая, хотя и относительно не новая. Давно уже придуманы сценарии как от искусственного происхождения человеческой цивилизации трудами инопланетян, так и до виртуальности всего нашего мира в виде некоего подобия компьютерной программы, такой, которая изображена в фильме "Матрица".

Собственно, проблема не велика, скорее можно посчитать забавным, когда серьёзные (казалось бы) ученые делают такие несерьезные выводы. И, похоже, верят в них. Известный ученый Бекенштейн однажды получил интересные выводы, исследуя космологические объекты – Черные дыры. Сасскинд приводит их в следующей формулировке:

"Энтропия Черной дыры, измеренная в битах, пропорциональна площади ее горизонта, измеренной в планковских единицах".[49]

Все это крайне интересно, поскольку весьма странно: информация в Черной дыре хранится на её поверхности и, соответственно,

отсутствует внутри. Ясно, что площадь горизонта прямо связана с объемом Черной дыры. Почему же информация "выдавливается" на её поверхность? Что вообще это означает?

В сущности, горизонт событий Черной дыры - это материально ничем не примечательное место в пространстве, главной особенностью которого является лишь некоторое специфическое значение гравитационного потенциала. Действительно, пространства чуть выше или чуть ниже горизонта различаются только этим, и свободно падающий наблюдатель никак не сможет увидеть, почувствовать разницу между ними.

Если бы остановиться на этом, то не было бы заметно никаких противоречий. Но энтропия системы имеет непосредственную связь с информацией, содержащейся в этой системе, поэтому закономерно появилось несколько расширенное толкование тезиса Бенкштейна:

"Информация равна площади" [49]

Другими словами, более развернуто, информация, содержащаяся в Черной дыре, *равна* количественно площади её горизонта событий, измеренной в планковских единицах. Это довольно-таки загадочная связь между площадью и информацией:

"Каким-то образом в принципах квантовой механики и общей теории относительности скрыта загадочная связь между невидимыми битами информации и кусочками площади планковского размера" [49].

Другими словами, информация, содержащаяся в Чёрной дыре, измеряется площадью поверхности её горизонта событий, энтропия Чёрной дыры определяется этой площадью, а сам её горизонт является местом их хранения. Из этого следует, что, собственно в материальном, вещественном объёме Черной дыры информация не содержится. Все это крайне интересно, поскольку весьма странно, учитывая условность самого понятия горизонта. Понятно, что площадь горизонта напрямую связана с объемом Черной дыры. Почему же тогда информация, так сказать, "выдавливается" на её поверхность? И вообще, что это означает? Известно, что горизонт событий Черной дыры - это материально ничем не примечательное место в пространстве, главной особенностью которого является лишь некоторое специфическое значение гравитационного потенциала. Действительно, пространства чуть выше или чуть ниже горизонта различаются только этим потенциалом, и свободно падающий наблю-

датель никак не сможет увидеть, почувствовать разницу между ними.

Чтобы подтвердить приведенный тезис, Сасскинд приводит несложные, выглядящие корректными, вычисления:

"если взять Черную дыру земной массы (размером с клюкви-ну) или Черную дыру в миллиард раз массивнее Солнца? Попробуйте — с числами или с формулами. Каков бы ни был исходный размер Черной дыры, всегда выполняется правило" [49].

Что ж, давайте попробуем. Автор предлагает вычислить, насколько увеличится площадь горизонта Черной дыры при добавлении к ней одного бита информации. Сначала вычисляется увеличение энергии Черной дыры от добавления этого бита, затем по формуле Эйнштейна определяется увеличение её энергии, которая после этого переводится в массу. По изменившейся массе Черной дыры определяется новый гравитационный (шварцшильдовский) радиус Черной дыры и по его величине определяется прирост площади горизонта дыры.

Описание явления можно легко найти в интернете. Но Сасскинд в своей книге на 155 странице приводит его весьма простое и развернутое доказательство [49]. Конечно, оно не является строгим научным описанием, однако, выводы все-таки сформулированы достаточно четко и однозначно. Авторитет автора не вызывает никаких сомнений — это один из ведущих физиков современности. И здесь возникла интересная ситуация. Простая попытка уточнить, почему же все-таки объем Черной дыры не содержит информации, привела к неожиданному результату. По сути, выяснилось, что утверждение Сасскинда неверное. Во-первых, тезис о равенстве информации в Черной дыре площади её горизонта не подтверждается. Разница почти в 8 раз. Во-вторых, объем Черной дыры явно связан с объемом содержащейся в ней информации. Как-то это странно выглядит: при добавлении информации объем Черной дыры возрастает по строгой функциональной зависимости. Связь имеется, но почему отрицается наличие в этой связи информации?

Вкратце структура доказательства Сасскинда выглядит следующим образом. Автор предлагает вычислить, насколько увеличится площадь горизонта Черной дыры при добавлении к ней одного бита информации. Сначала вычисляется увеличение энергии Черной дыры от добавления этого бита, затем по формуле Эйнштейна определяется увеличение её энергии, которая после этого

переводится в массу. По изменившейся массе Черной дыры определяется новый гравитационный (шварцшильдовский) радиус Черной дыры и по его величине определяется прирост площади горизонта дыры.

Опустим все предварительные рассуждения и сразу перейдем к основному исходному выражению. После добавления Черной дыре одного бита информации её масса увеличилась на величину:

$$\Delta m = \frac{\hbar}{R_s c}$$

Здесь Δm – увеличение массы Черной дыры, R_s – её исходный гравитационный радиус, c – скорость света, а $\hbar$ – постоянная Планка. Продолжим выкладки, не сильно отклоняясь от рассуждений автора, и вычислим новую массу ЧД:

$$M = \frac{R_s c^2}{2G}$$

$$M_{\Delta} = M + \Delta m = \frac{R_s c^2}{2G} + \frac{\hbar}{R_s c}$$

По этой массе, равной исходной массе плюс её приросту, найдем новый гравитационный радиус ЧД:

$$R_{s\Delta} = \frac{2M_{\Delta}G}{c^2} = 2G \left(\frac{R_s c^2}{2G} + \frac{\hbar}{R_s c} \right) / c^2 = \frac{2GR_s c^2}{2Gc^2} + \frac{2G\hbar}{R_s c^3}$$

$$R_{s\Delta} = R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3} = R_s + \Delta R_s$$

Здесь ΔR_s и есть прирост гравитационного радиуса. Можно сравнить, у нас получилось такое же выражение [41], как и у Сасскинда [49]:

$$\Delta R_s = \frac{2G\hbar}{R_s c^3}$$

Однако, как мы предположили выше, есть хитрость, которая состоит в том, что объем и радиус сферы однозначно взаимосвязаны. А, поскольку объем информации пропорционален площади сферы, то, выходит, он также должен быть пропорционален и её объему. Новый объем сферы Черной дыры после поглощения бита

информации равен сумме исходного объема и его прироста за счет увеличения радиуса:

$$V_{\Delta} = \frac{4}{3} \pi R_{s\Delta}^3 = \frac{4}{3} \pi \left(R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^3$$

И её площадь

$$S_{\Delta} = 4\pi R_{s\Delta}^2 = 4\pi \left(R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^2$$

Исходные объем и площадь сферы равны:

$$V = \frac{4}{3} \pi R_s^3$$

$$S = 4\pi R_s^2$$

Пропорции увеличения объема и площади заметно не равны. Площадь увеличилась в:

$$k_s = \frac{S_{\Delta}}{S} = \left(\frac{R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3}}{R_s} \right)^2 = \left(1 + \frac{2G\hbar}{R_s^2 c^3} \right)^2 = \mathfrak{I}^2$$

Объем увеличился в:

$$k_v = \frac{V_{\Delta}}{V} = \frac{\frac{4}{3} \pi \left(R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^3}{\frac{4}{3} \pi R_s^3} = \left(1 + \frac{2G\hbar}{R_s^2 c^3} \right)^3 = \mathfrak{I}^3$$

Самое интересное и вместе с тем опасное – это трактовки полученных результатов. Как видим, при увеличении информации на 1 бит площадь возрастает как квадрат, а объем - как куб некоторой величины. Пока неясно, что это означает. Рассмотрим два параметра сферы:

$$V = \frac{4}{3} \pi R_s^3$$

$$S = 4\pi R_s^2$$

Пусть радиус сферы увеличится в k раз, тогда:

$$R_k = Rk^1$$

$$S_k = 4\pi R^2 k^2 = Sk^2$$

$$V_k = \frac{4}{3}\pi R^3 k^3 = Vk^3$$

Первая очевидность, бросающаяся в глаза, это степенная пропорциональность. При увеличении информации в Черной дыре её площадь и объем увеличиваются согласно соответствующим степеням увеличения радиуса. Но почему возникает такая интересная связь – пропорциональность между информацией и площадью поверхности Черной дыры (горизонта)? На каком основании сформулировано правило:

"Добавление одного бита информации увеличивает площадь горизонта любой Черной дыры на одну планковскую единицу площади, или на одну квадратную планковскую единицу". [49]

Выше мы (и автор книги) нашли, что прирост радиуса Черной дыры от добавления к ней 1-го бита составил:

$$\Delta R_s = \frac{2G\hbar}{R_s c^3}$$

И, как утверждается, эта величина приводит к увеличению площади горизонта, равной, в сущности, константе, поскольку правило имеет вид универсальной формулировки. Однако, это не совсем очевидное утверждение. Действительно, R_s – это радиус некоторой Черной дыры. Но эта величина определённо не является константой. Поэтому на один бит информации прирост площади горизонта вследствие прироста радиуса Черной дыры, вполне может быть в каждом случае *разным*! Попробуем вычислить его, найдя разницу исходной площади и увеличившейся:

$$\Delta S = S_A - S = 4\pi \left(R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^2 - 4\pi R_s^2$$

Раскрываем скобки и производим тривиальные преобразования

$$\Delta S = 4\pi \left(R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^2 - 4\pi R_s^2 = 8\pi R_s \times \frac{2G\hbar}{R_s c^3} + 4\pi \left(\frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^2$$

$$\Delta S = \frac{16\pi G\hbar}{c^3} + \frac{16\pi G^2\hbar^2}{R_s^2 c^6}$$

Согласно сформулированному правилу, это уравнение показывает, что при увеличении информации в Черной дыре, её площадь увеличивается на величину, все-таки зависящую от размеров Черной дыры. Вынесем константы за скобку:

$$\Delta S = \frac{16\pi G\hbar}{c^3} \left(1 + \frac{G\hbar}{R_s^2 c^3} \right)$$

Оценим значение правого слагаемого в скобках, оставив только их порядок:

$$\frac{G\hbar}{R_s^2 c^3} = \frac{10^{-10} \times 10^{-33}}{10^7 \times 10^{25}} \approx 10^{-75}$$

К нашей радости, одна из неудобных величин в скобках оказалась очень малой по сравнению с единицей. Учитывая порядок малости, отбрасываем это слагаемое, поэтому:

$$\Delta S = \frac{16\pi G\hbar}{c^3}$$

Выражение предельно упростилось, с подавляющей точностью превратившись в константу. Оценим и её величину:

$$\Delta S = \frac{16\pi G\hbar}{c^3} = \frac{16 \times 3 \times 10^{-12} \times 10^{-34}}{27 \times 10^{24}} \approx 20,12 \times 10^{-70}$$

Это и есть прирост площади горизонта при добавлении к Черной дыре одного бита информации. Для сравнения с ним вычислим квадрат планковской величины:

$$S_h = 1,6 \times 10^{-35} \times 1,6 \times 10^{-35} \approx 2,612 \times 10^{-70}$$

Конечно, как видим, в смысле пропорциональности правило выполняется с удовлетворительной точностью, поскольку все-таки 2,6 заметно не равно 20. Различаются они почти в 8 раз. Поэтому тезис Бекенштейна о пропорциональности, а не равенстве является более точным [49].

При этом коэффициент пропорциональности является константой, равной 7,7:

$$\Delta S = 7,7 S_h$$

Как видим, краткое утверждение автора книги об их равенстве явно неточное. Правильнее было бы сказать, что информация в 8 раз больше площади. Однако, задачу нельзя считать решенной окончательно, не рассмотрев все эти же выкладки теперь уже в отношении объема Черной дыры. Для этого сравним исходный и конечный объемы:

$$\Delta V = V_A - V = \frac{4}{3}\pi \left(R_s + \frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^3 - \frac{4}{3}\pi R_s^3$$

$$\Delta V = \frac{4}{3}\pi \left(3R_s^2 \frac{2G\hbar}{R_s c^3} + 3R_s \left(\frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^2 + \left(\frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^3 \right)$$

Вынесем, какие возможно, константы (дробь) за скобку:

$$\Delta V = \frac{4}{3}\pi \frac{2G\hbar}{R_s c^3} \left(3R_s^2 + 3R_s \frac{2G\hbar}{R_s c^3} + \left(\frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^2 \right)$$

Упростим выражение:

$$\Delta V = \frac{8\pi G\hbar}{3R_s c^3} \left(3R_s^2 + \frac{6G\hbar}{c^3} + \left(\frac{2G\hbar}{R_s c^3} \right)^2 \right)$$

Вспомним вновь о порядке малости и удалим лишние слагаемые во внешних скобках:

$$\Delta V = \frac{8\pi G\hbar}{R_s c^3} R_s^2 = \frac{8\pi G\hbar}{c^3} R_s$$

Оценим величину полученного выражения и сравним его с планковской площадью:

$$\Delta V = \frac{8\pi G\hbar}{c^3} R_s = \frac{8 \times 3 \times 10^{-12} \times 10^{-34}}{27 \times 10^{24}} R_s \approx$$

$$\approx 10,06 \times 10^{-70} \times R_s \approx 3,85 \times S_h \times R_s$$

Этому выражению можно дать весьма простую, наглядную трактовку. Как видим, это параллелепипед с площадью основания, равной планковской площади и высотой, равной примерно 4 радиусам Черной дыры. Другими словами, добавление одного бита к Черной дыре увеличивает её объем пропорционально её радиусу, умноженному на планковскую площадь. В сущности, это должно

быть понятно, ведь с ростом радиуса объем сферы растет медленнее площади её поверхности ровно в треть радиуса раз:

$$S = 4\pi R_s^2$$

$$V = \frac{4}{3}\pi R_s^3$$

Откуда:

$$V = S \times \frac{R_s}{3}$$

В нашем случае подобное же правило выполняется и для приращений этих величин вследствие добавления к Черной дыре одного бита информации:

$$\Delta S = \frac{16\pi G\hbar}{c^3}$$

$$\Delta V = \frac{8\pi G\hbar}{c^3} R_s$$

Откуда:

$$\Delta V = \Delta S \times \frac{R_s}{2}$$

Получилось, что и площадь горизонта Черной дыры и её объём при добавлении одного бита информации строго синхронно и с четко определенной пропорциональной зависимостью. Другими словами можно сказать, что в этом случае увеличение площади Черной дыры и её объема пропорциональны планковской площади с коэффициентами 7,7 и 3,85 R_s , соответственно. Конечно, можно было бы сказать, что главный ответ по-прежнему неясен: почему площадь дыры пропорциональна информации в единицах планковской площади, что же это за связь такая загадочная в принципах квантовой механики и общей теории относительности. С учетом приведенных вычислений правильнее было бы задать вопрос в более развернутом виде: почему они различаются в 7,7034 раза. Поскольку все-таки она ей не равна, в математическом смысле полученный весьма абстрактный коэффициент несколько меняет интригу: уж не новая ли это мировая космологическая или информационная константа?

В приведенных вычислениях использованы следующие значения величин:

Постоянная Планка, $h = 6,6162 \times 10^{-34}$

Шварцшильдовский радиус Черной дыры, $R_s = 3000$ м

Скорость света, $c = 299'792'458$ м/сек

Гравитационная постоянная, $G = 6,67384 \times 10^{-11}$

7. Информационный парадокс горизонта событий

И все-таки выполненные выше вычисления оставляют ощущение незавершенности. При всей корректности найденных соотношений вопрос об их источнике, той самой загадочной связи остался без ответа. Попробуем повторить последнюю часть приведенных выше вычислений более формально. Мы получили окончательное выражения, совпавшие с результатом Сасскинда, для прироста радиуса Черной дыры и прироста площади её горизонта событий. То, что планковская площадь оказалась почти в 8 раз меньше прироста площади горизонта мы нашли, сравнивая их числовые значения. Теперь же мы сравним их в исходном виде, в уравнениях, найдем безразмерный коэффициент:

$$\Delta S = nS_h = \frac{16\pi G\hbar/c^3}{S_h} \times S_h = \frac{16\pi G\hbar/c^3}{\hbar G/c^3} \times S_h = 16\pi \times S_h$$

И результат оказался невероятно интересным. Увеличение площади горизонта событий при добавлении к Черной дыре одного бита информации равно в точности 16π планковских площадей. Как видим, в лучшем случае количество бит пропорционально площади горизонта событий, причем коэффициент достаточно большой. Расхождение (в 6 раз) с приведенными выше вычислениями связано, очевидно, с округлением.

По какой причине Сасскинд получил иной результат, судить сложно. Это либо небрежность в вычислениях, либо намеренная или не намеренная подгонка под желаемый результат. Но в любом случае мы имеем право заявить, что приведенные им выкладки ошибочны: площадь поверхности горизонта событий *не только не равна информации, но даже и не пропорциональна ей*. Это означает, что полученный нами только что коэффициент пропорциональности 16π тоже ошибочен! И причина его ошибочности довольно банальна: отбрасывание бесконечно малой величины и игнорирование того факта, что каждый новый добавляемый бит добавляется к новой, изменившейся Черной дыре. Такой конечный результат при

этом нам был уже известен, но для наглядности в приведенных выкладках мы его пока не раскрывали. В принципах квантовой механики и общей теории относительности нет никакой *загадочной связи* между невидимыми битами информации и кусочками площади планковского размера. Есть небрежные вычисления и сильное желание выдать эту идею за реальность.

Для простоты и удобства в дальнейших рассуждениях введем новую информационную величину: количество информации, содержащейся в Черной дыре, которую назовем для краткости *чернобит* или *blackbit* (bhbit), и которое равно количеству информации, содержащейся в Черной дыре минимального размера. Такой размер имеет нейтронная звезда максимальной массы в момент её коллапса в Черную дыру. Как известно [40], масса такой звезды равна приблизительно 2,3 масс Солнца. Принимая, что количество информации такой Черной дыры равно количеству планковских площадей её горизонта событий, находим, что 1 чернобит информации в битах равен:

$$B_{BH} = \frac{4\pi R_s^2}{S_h} = \frac{4\pi}{\ell_h^2} \left(\frac{4,6 \cdot GM_C}{c^2} \right)^2 = 2,27 \cdot 10^{74} bit \approx 2^{222} bit = 1 bhbit$$

где

M_C - масса Солнца

B_{BH} – количество информации, содержащейся в Черной дыре;

S_h – планковская площадь;

ℓ_h – планковская длина.

Теперь возьмём две такие Черные дыры. Очевидно, что каждая из них содержит один и тот же объём информации, поскольку в противном случае любые рассуждения о её количестве просто теряют смысл. Также очевидно, что обе Черные дыры имеют одинаковую площадь горизонта событий просто потому, что это две *одинаковые* Черные дыры. Соединим эти две Черные дыры в одну. Суммарный объём информации при этом должен остаться прежним, иначе нам следовало бы объяснить, куда исчезла или откуда появилась дополнительная информация. Никаких разумных объяснений такому изменению информации, видимо, не существует:

$$B_{\Sigma} = \frac{8\pi}{\ell_h^2} \left(\frac{4,6 \cdot GM_C}{c^2} \right)^2 = 4,53 \cdot 10^{74} bit$$

Масса суммарной Черной дыры также удвоится, но площадь горизонта событий увеличится не в два раза, и, соответственно, суммарный объем информации в планковских площадях:

$$B_{\Sigma g} = \frac{4\pi}{\ell_h^2} \left(\frac{2 \times 4,6 \cdot GM_C}{c^2} \right)^2$$

Мы получили два выражения для суммарного количества информации в Черной дыре: как сумму информационных двух одинаковых Черных дыр и как количество информации Черной дыры удвоенной массы. Как видим, эти две величины не равны:

$$\frac{B_{\Sigma}}{B_{\Sigma g}} = \frac{8\pi}{\ell_h^2} \left(\frac{4,6 \cdot GM_C}{c^2} \right)^2 \cdot \frac{4\pi}{\ell_h^2} \left(\frac{2 \times 4,6 \cdot GM_C}{c^2} \right)^2 = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^2 = \frac{1}{2}$$

Получилось, что объем информации в битах, содержащейся в двух одинаковых Черных дырах в 2 раза меньше, чем объем информации, содержащейся в Черной дыре удвоенной массы. Откуда взялся дополнительный объем информации, такой, будто к суммарной Черной дыре добавлена информация из ещё двух таких же дыр?

Для сравнения вычислим объем "материальной информации" Черной дыры, содержащейся в её составляющих – нейтронах. Масса M возникшей первичной (минимальной) Черной дыры равна:

$$M = c^3 \sqrt{\frac{r_n^3}{8G^3 M_n k_{nl}}} \approx 5 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Количество нейтронов, образовавших эту Черную дыру, равно:

$$N_n = \frac{M}{M_n} = \frac{5 \times 10^{30}}{2 \times 10^{-27}} = 3 \times 10^{57} \text{ шт.}$$

Количество информации, измеренное в планковских площадях, равно:

$$B_{BH} = \frac{4\pi}{\ell_h^2} \left(\frac{4,6 \cdot GM_C}{c^2} \right)^2 \approx 2,3 \cdot 10^{74} \text{ bit}$$

Получается, что на каждый нейтрон, вошедший в Черную дыру, приходится порядка 10^{20} бит информации. Много это или мало? Для описания массы и размера нейтрона необходимы, по меньшей мере, два числа, каждое из которых представляет собой число порядка 10^{16} - 10^{30} бит. Даже если директивно принять, что все

нейтроны тождественны друг другу, то даже в этом случае мы не можем не признать, что каждый из них находится во взаимодействии с каждым из остальных. Другими словами, достаточно ли информации в 10^{80} бит, чтобы описать состояние системы из 10^{60} элементов? Вопрос риторический, но один из явно напрашивающихся ответов – недостаточно, причем на много порядков. Другими словами, количество планковских элементарных площадей, ячеек на поверхности горизонта событий на много порядков меньше, чем количество информационных бит, содержащихся в составляющих Черную дыру нейтронов. Если же исходить из того, что нейтроны исчезли в сингулярности, то неизбежно следует неприятный для квантовой механики вывод: Черная дыра уничтожает информацию.

В заключение следует все процитированные рассуждения о количестве информации на горизонте Черной дыры признать схоластикой из того же ряда, что и вопрос о количестве ангелов, танцующих на кончике иглы. Соответственно, идея о голографической Вселенной – это прекрасная идея для научно-фантастического рассказа, но пародия на гипотезу научную. Конечно, доводы Сасскинда не являются строгим научным описанием, хотя они все-таки сформулированы достаточно четко и однозначно. Авторитет автора не вызывает никаких сомнений – это один из ведущих физиков современности, но выводы его оказались ошибочными.

Кстати, просто к сведению пара цитат из интернета:

"... 10^{90} бит, содержащимися в видимой Вселенной" [16]

"в пределах чувствительности «Хаббла» мы видим 130 миллиардов галактик со всей Вселенной" [60]

Простой подсчет дает для них суммарное количество информации: $10^{74} \cdot 10^{14} = 10^{88}$. То есть, на пределе точности практически вся информация видимой Вселенной оказывается сосредоточенной *только* в Черных дырах, причем все они имеют минимальный размер, а звезды и межзвездное вещество (газ) информации не содержат. На самом деле таких минимальных Черных дыр не наблюдается, а в центре *каждой* галактики, как считается, находится сверхмассивная Черная дыра, горизонт событий и информация в которых на много порядков больше.

8. Динамические диаграммы Пенроуза для Черной дыры

Каждый, кто читал научные и научно-популярные статьи по физике, космологии, мог заметить, что авторы часто при иллюстрации своих выкладок, доводов используют довольно хитрый трюк. На приводимых иллюстрациях отсутствуют обозначения, поясняющие назначение или смысл изображенных на них элементов.

В науке по молчаливому или редко озвучиваемому соглашению принято каждый член приводимых уравнений расшифровывать сразу же после уравнения, если, конечно, эта расшифровка не была сделана недалеко выше. Или же смысл этого члена уравнения, его обозначение является либо не новым или редко встречающимся, либо общепринятым и полностью соответствует контексту уравнения. Понятно, что для автора всё и так ясно и "общепринято". Но при публикации автор, очевидно, рассчитывает, что его книгу, статью будут читать не только равные ему по уровню подготовки, но и те, кто просто изучает новый материал.

Очевидно, что такое же молчаливое соглашение должно существовать и при оформлении иллюстраций. Тем не менее, и в научной и научно-популярной литературе нередко это "соглашение" нарушается. Поэтому при чтении возникает множество вопросов по ним: то ли иллюстрация что-то поясняет, то ли пытается затемнить, затуманить ситуацию. Под видом глубокомысленного изложения просто прячутся сомнительные моменты. В качестве ироничной иллюстрации можно привести такой пример:

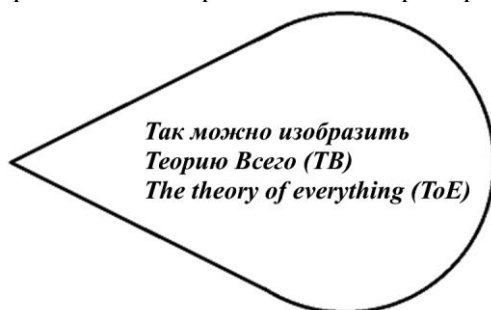


Рис.8.1. Так можно было бы изобразить графически- иронично знаменитую Теорию Всего.

Никаких пояснений к изображению, кроме названия, не приводится, и читатель может на свой вкус трактовать его смысл. Скорее всего, эти трактовки будут отличаться от трактовок автора. Примерно такую же иронию можно разглядеть и в некоторых иллюстрациях к научным работам. Здесь будут рассмотрены диаграммы Пенроуза, приводимые им и Хокингом в своих статьях, книгах, и которые в некоторых деталях содержат такие элементы, чрезмерно опирающиеся на догадливость читателя. Но это, в сущности, не главное. Главное состоит в том, что "на догадку" зачастую отправляются довольно сомнительные идеи. Идеи, которые при внимательном рассмотрении оказываются недостаточно обоснованными, а то и ошибочными.

Так называемые диаграммы Картера-Пенроуза конформно отображают пространственно- и времениподобные бесконечности на конечные расстояния. В последние годы при описании космологических явлений, гипотез или решения тех или иных задач общей теории относительности чаще всего используются именно они. В исходном, базовом варианте пустые, то есть, не содержащие никакой информации, диаграммы имеют следующий вид:

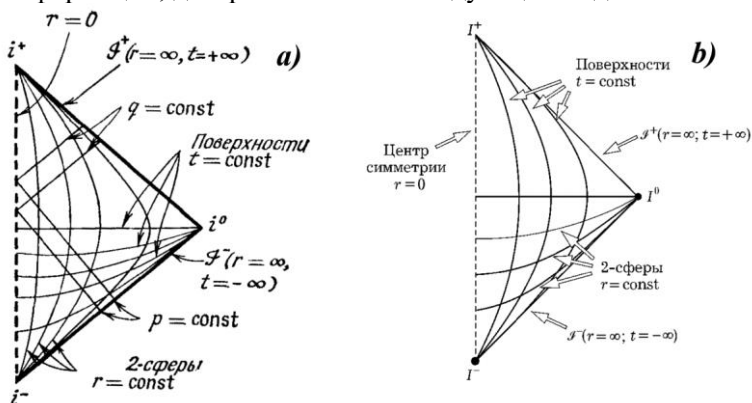


Рис.8.2. Диаграмма Пенроуза пространства-времени Минковского. Каждая точка изображает 2-сферу. Точки i^+ , i^0 , i^- - единственные точки, точки сингулярности полярных координат образуют линию $r = 0$. Варианты рисунка а) [58, с.139], б) [56, с.53].

Следует отметить, что на рисунке диаграммы представлены в полярных координатах, поэтому они выглядят как половинки другой, ромбовидной диаграммы. Здесь радиус-вектор изменяется от 0

до бесконечности. На ромбовидных диаграммах – от минус до плюс бесконечности. На рисунках приведены, следует признать, практически все необходимые для понимания обозначения. Отнесем к досадным опечаткам обозначения на правой части рисунка: обозначения поверхности $t = \text{const}$ и 2-сферы нужно поменять местами. Ну и, разве что, p и q могут вызвать некоторые сомнения. Но это нулевые, светоподобные геодезические, другими словами, линии света. Обозначения r , t очевидны, а i^0 , i^- , i^+ обычно поясняются (но не здесь), да и в пояснениях чаще всего не используются. Однако, пометка 2-сферы вызывает некоторые возражения. Диаграммы Пенроуза иногда отождествляют с традиционными диаграммами Минковского, которые, вообще-то выполнены в декартовых координатах. Здесь диаграммы Пенроуза тождественны классическим полярным координатам. Не принципиальное отличие состоит в своеобразной конформной "компрессии", сжатии координатных осей на диаграммах Пенроуза. Иначе, без сжатия эту диаграмму можно изобразить в таком виде:

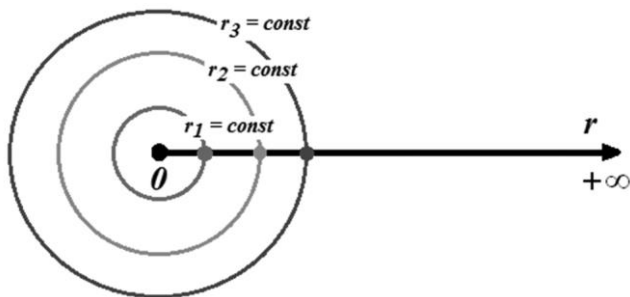


Рис.8.3. Эквивалентное изображение диаграммы Пенроуза в виде полярных координат

Фактически диаграммы Пенроуза, как и диаграммы Минковского, и полярные координаты для пары переменных t , r отображают одномерное пространство. На рисунке ось t не показана, система рассматривается в один момент времени $t = 0$. Рисунок поясняет смысл надписи на диаграмме рис.8.1 "2-сферы". Здесь три окружности изображают три разные сферы, которые и называются 2-сферами. Добавим, что на всех диаграммах Пенроуза мировые линии условны, поскольку они отображают лишь последовательность положений в пространстве-времени точек (событий). В основном

описание к диаграммам относится к космологическим объектам – Черным дырам или коллапсирующим нейтронным звездам.

Такое описание в смысле 2-сфер как-то незаметно, ненавязчиво прячет главный смысл диаграмм Пенроуза: они описывают поведение только отдельных точек тел, вещества только вдоль одной единственной оси. Эти точки для полых сфер на рис.8.3 выделены. При этом поведение всех других точек таких сфер на поверхности, внутри нейтронной звезды или Черной дыры, вокруг них – тождественно поведению этой единственной точки данной сферической поверхности. То есть, все точки поверхности такой сферы отождествляются, поэтому правильнее называть эти точки на диаграмме точками 2-сфер в одном направлении радиуса.

Можно предположить, что конформное преобразование координат, сохраняющее при преобразовании углы, имеет целью сохранить углы между нулевыми геодезическими. Действительно, и на диаграммах Минковского и на диаграммах Пенроуза эти линии имеет угол наклона 45 градусов в любой точке диаграммы. Как следствие, сохраняется форма световых конусов. Однако, при этом никакие другие углы не сохраняются, не смотря на конформность.

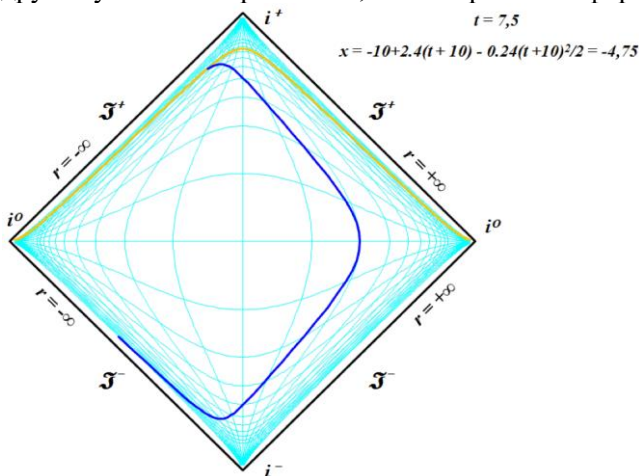


Рис.8.4. Полная диаграмма Пенроуза для всего пространства-времени. На диаграмме в качестве примера изображена мировая линия, описываемая уравнением справа сверху диаграммы [38].

Если изобразить мировые линии двух неподвижных в пространстве тел, то на диаграмме Минковского это две вертикальные

параллельные линии. На диаграмме Пенроуза эти линии будут иметь форму вертикальных дуговых линий, наподобие линий сетки $r = \text{const}$. Как-то странно говорить об угле между кривыми линиями. Например, на диаграмме Минковского угол между двумя мировыми линиями неподвижных событий и светоподобной геодезической везде и всегда равен 45 градусам. На диаграмме Пенроуза – только на линии g .

Другим вариантом диаграммы Пенроуза, изображенной на рис.8.2, является диаграмма в декартовых координатах рис.84. На этой диаграмме использованы традиционные обозначения:

J^+ -светоподобная (или нулевая) бесконечность будущего; $r = +\infty$;

J^- - светоподобная (или нулевая) бесконечность прошлого; $r = -\infty$;

i^+ - времениподобная бесконечность будущего;

i^0 - пространственноподобная бесконечность;

i^- - времениподобная бесконечность прошлого [54, рис.2].

Как и в полярных координатах, на этой диаграмме изображено всё существующее пространство-время: и видимая Вселенная, и вся Вселенная за видимым горизонтом, от Большого Взрыва и до конца нашей реальности, ничто не может быть изображено вне диаграммы. Искривленными линиями ярко-бирюзового цвета на диаграмме изображена координатная сетка. Горизонтальные дуговые линии – это сетка $t = \text{const}$, вертикальные дуговые линии – $r = \text{const}$. Горизонтальная дуговая линия горчичного (оранжевого) цвета – это линия настоящего, то есть $t = t_{\text{настоящее}}$. Очевидно, что мировые линии всех без исключения событий, изображаемые на такой диаграмме, могут иметь начало в любом месте ниже этой линии настоящего (момент появления объекта), а заканчиваться могут либо до этой линии (тело исчезло, уничтожено в прошлом), либо на этой линии. Выше линии настоящего никаких событий быть не может, это время ещё не наступило.

Помимо них на диаграмме синим цветом изображена мировая линия события, уравнение которой приведено в правом верхнем углу диаграммы. Можно заметить, что это уравнение схоже с уравнением движения тела, брошенного вверх. Значение уравнения вычислено для момента времени $t = 1,75$. Можно заметить, что на некоторых отрезках траектории тело движется по пространственноподобной траектории, то есть, со сверхсветовой скоростью, как тахихон. Это значит, что проверку на корректность уравнения движения для построения диаграммы должен производить автор, отслеживая

скорость тела. Разумеется, "отсекать" недопустимые значения траекторий может и алгоритм автоматизированного, компьютерного построения диаграмм. Такой алгоритм используется для создания анимированных диаграмм, на которых все процессы изображены в динамике, в виде фильма.

При внимательном рассмотрении диаграммы, может возникнуть наивный вопрос по обозначениям $r = -\infty$ и $r = +\infty$. Они нанесены рядом с пересекающимися линиями. Если обозначение относится ко всей линии, то чему равно значение в точке из пересечения? Видимо, правильный ответ: в зависимости от направления движения. То есть, например, в точке i^+ значение координаты будет $r = +\infty$, если событие двигалось на диаграмме вечно слева направо.

Принципиальных геометрических различий у декартовых и полярных диаграмм Пенроуза нет. Есть только, так сказать, эстетические расхождения. На декартовых диаграммах Пенроуза мировые линии не имеют изломов, при движении с постоянной скоростью от минус бесконечности к плюс бесконечности через нулевую точку их мировая линия просто соединяет плавной кривой точки времениподобных бесконечностей. В случае полярных координат такая мировая линия в момент пересечения нулевой точки ($r=0$) зеркально отражается от центра симметрии, имеет в этом месте излом по правилу "угол падения равен углу отражения". Где-то внутри математического формализма при этом должен быть учтен поворот полярного угла на 180 градусов.

Конечно, проблема легко решается допущением диапазона изменения полярного радиуса от минус до плюс бесконечности. Но тогда всякие различия между полярными и декартовыми координатами на диаграммах исчезают, и диаграмма становится симметричной, ромбовидной. Однако, есть одна глубинная особенность полярных координат. В них по определению заложен "потусторонний мир". Переход через линию симметрии трактуется не как поворот на 180 градусов и движение в обратном направлении, а как переход в другую Вселенную. Эта особенность использована при исследовании коллапса нейтронной звезды и сингулярности.

Диаграммы Пенроуза для коллапса Черной дыры

Итак, базовый вариант диаграмм Пенроуза конформно отображает всё существующее пространство-время. Здесь мы не будем

затрагивать такие версии реальности как мультиверс, альтерверс и прочие пенные квантовые и различные параллельные миры. Также пока обойдем молчанием и возникновение реальности из ничего в результате Большого взрыва. Рассмотрим, как изображается на диаграммах Пенроуза "деформация" реальности вблизи Черных дыр.

Следующий рисунок – оба фрагмента равноценны – кочует с различными вариациями из публикации в публикацию, фактически став эталоном графического изображения коллапса нейтронной звезды в Черную дыру:

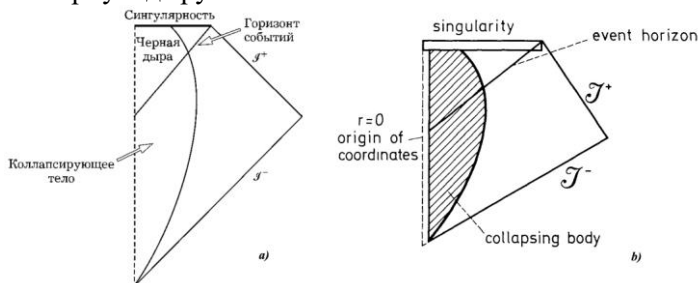


Рис.8.5. Две версии диаграммы Картера-Пенроуза для звезды, коллапсирующей в Черную дыру а) [56, Рис.3.3], б) [1, fig.3]

На первый взгляд, казалось бы, все верно и понятно. Тем не менее, при детальном, внимательном рассмотрении диаграммы начинают появляться вопросы. Конечно, следует признать, что после длительного изучения диаграммы и связанной с ней литературы ответы на некоторые вопросы находятся "сами по себе". Но некоторые из этих ответов гласят: диаграмма изображена с нарушениями. По меньшей мере, изображение чрезмерно условно, упрощенно, а по большому счету - безграмотно.

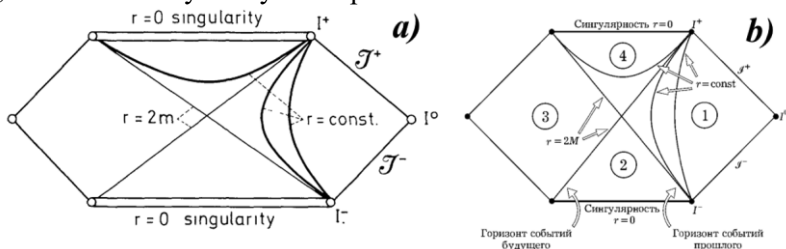


Рис.8.6. Две версии полной диаграммы Пенроуза для расширенного аналитического решения Шварцшильда ("вечной Черной дыры"); а) [1, fig.1], б) [56, рис.3.4]

Для того чтобы разобраться с этими возражениями, нужно рассмотреть полный вариант диаграммы. С одной стороны можно сказать, что, как и на рис.8.2, здесь диаграмм изображена в усеченном виде, только её правая половина. С другой – можно посчитать, что двухсторонняя диаграмма сама является компиляцией двух зеркальных частей рисунка 8.2. Однако, полная и половинная диаграммы друг с другом плохо сочетаются, не стыкуются. Допустим, что половинная диаграмма рис.8.2 получена из полной версии диаграммы у тех же авторов рис.8.6. Видим, что диаграммы рис.8.5 получены из полных диаграмм рис.8.6 путем отрезания почти двух третей. Но найти приемлемую линию "отреза" не удастся. Где бы она ни проходила, оставшаяся после разреза часть оказывается заметно деформированной. Хорошо видно, что никакой вертикальной линией отреза нельзя получить из диаграмм рис.8.6 диаграммы рис.8.5. При правильном отрезании рисунков мы должны были получить примерно такие базовые диаграммы для нанесения мировой линии коллапса:

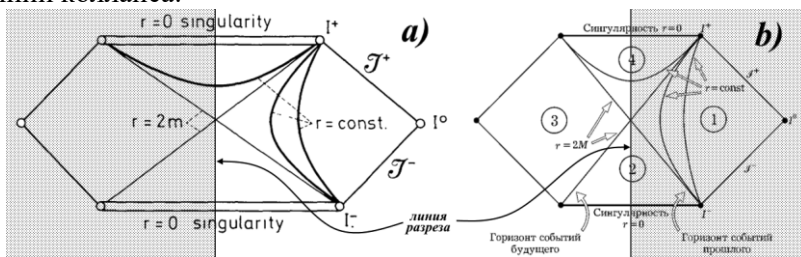


Рис.8.7 Правильные линии отреза для получения диаграмм Картера-Пенроуза рис.8.5. Отбрасываются отрезанные части, помеченные желтым фоном. Источники: а) [56, Рис.3.3], б) [1, fig.3]. На правой части рисунка надпись "Горизонт событий будущего" ошибочна. Это горизонт событий прошлого. Горизонты событий будущего находятся выше центра диаграммы.

Как видим, в этом случае, после отрезания левой части диаграммы имеют несколько иной вид. Во-первых, точки i^+ и i^- теперь оказались там, где и должны быть – на одной вертикали. Во-вторых, на них появляются потерянные нижние горизонты - линии $r = 2M$. В-третьих, как следствие, появляются и фрагменты нижней сингулярности из области 2. Наконец, становится видно, что линия верхнего горизонта событий $r = 2M$ должна быть параллельна линии J^+ и, следовательно, иметь наклон 45 градусов, то есть, быть светопо-

добной. Нарушение последнего обстоятельства на рис.8.5, вероятно, можно отнести на анти-конформные дефекты типографии.

Конечно, вряд ли причиной деформации диаграмм на рис.8.5 явилось отсутствие обозначений, хотя и это нельзя исключить. Здесь, видимо, использован хорошо известный у нас принцип "и так сойдет". К сожалению, такие небрежности стали обыденным явлением. Мы не ставим под сомнение авторитеты величайших математических физиков (или физических математиков) современности – Пенроуза и Хокинга. Но подобные графические небрежности заметно осложняют изучение предмета и вызывают некоторые сомнения в точности изложения самого материала. Диаграммы рис.8.5 выполнены с грубыми ошибками.

В заключение нужно добавить, что диаграммы рис.8.5 изображают картину в системе отсчета наблюдателя, падающего на сингулярность, поскольку наблюдатель на бесконечности, неподвижный наблюдатель никогда не смог бы увидеть пересечения поверхностью коллапсирующей звезды горизонта событий.

Критика "потустороннего мира" на диаграммах Пенроуза

Рассмотренные дефекты на диаграмме Пенроуза для шварцшильдовской Черной дыры невольно наталкивают на мысль: насколько вообще такая диаграмма корректна? Проведённый анализ уже сделал заметными некоторые её сомнительные места. Выше на рис.8.6 и рис.8.7 мы видели варианты таких диаграмм. Но для дальнейшего анализа лучше использовать более наглядные их варианты. Например, такой, как на рис.8.8.

Мы не будем наносить на эту диаграмму отсутствующие обозначения, а лишь отметим красочность и точность имеющихся обозначений и пояснительных надписей. В частности, упоминание параллельной Вселенной и Белой дыры. Можно предположить, что понятие Белой дыры появилось именно вследствие разработки различных специфических систем координат: Крускала-Шекереса, Картера-Пенроуза. Непосредственно из общей теории относительности это понятие, видимо, не возникает.



Рис.8.8 Диаграмма Пенроуза для Черной дыры [28]. Диаграмма соответствует традиционному изображению диаграммы шварцшильдовской Черной дыры.

Для дальнейшего анализа воспользуемся максимально полной в смысле обозначений диаграммой, приведенной в одной из лекции по общей теории относительности:

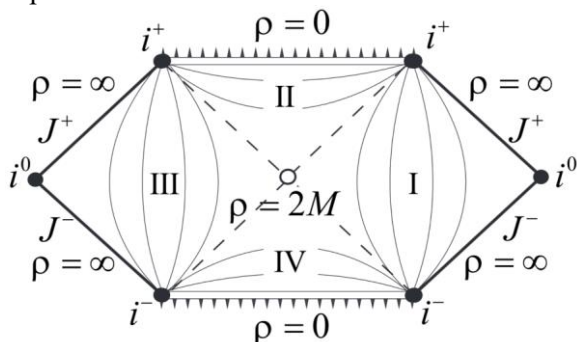


Рис.8.9. Диаграмма Картера–Пенроуза для решения Шварцшильда [14, рис.1.2].

На диаграмме пространственная координата обозначена буквой ρ , в остальном она полностью совпадает с рассмотренными ранее, при этом по обозначениям является наиболее полной. В дальнейшем, чтобы различать диаграммы разных видов, диаграммы с горизонтом событий $2M$ будем называть $2M$ -диаграммами Пенроуза. В лекции отмечено, что в блоках II и IV пространственная координата времениподобна. И здесь мы вынуждены обратить внима-

ние на явное противоречие двух цитируемых авторов [54] и [14]. Приведём для сопоставления их описания переменных:

Первый автор дает такое описание:

i^0 - пространственноподобная бесконечность; [54, рис.2]

Второй автор (в лекции) такое:

i^0 - времениподобные пространственные бесконечности [14].

Но никакая величина не может быть одновременно и времениподобной и пространственноподобной (визуально на диаграмме это линии с уклоном меньше 45 градусов к горизонтали). Отсюда мы должны сделать вывод, что в лекции допущена ошибка.

Далее первый автор дает такие определения:

i^+ - времениподобная бесконечность будущего;

i^- - времениподобная бесконечность прошлого [54, рис.2].

Второй автор (в лекции) – такие:

i^+ - пространственноподобные бесконечности будущего;

i^- - пространственноподобные бесконечности прошлого [56].

И вновь мы видим противоположные трактовки. Смотрим на диаграмму и приходим к выводу, что все-таки прав первый автор, а в лекции - ошибка. Конечно, это довольно неприятное наблюдение. Но при анализе ошибки недопустимы. В лекции находим ещё одно примечательное определение, которое часто используют при описании процесса падения на сингулярность Черной дыры. Некоторые говорят примерно так:

"...пространство и время поменялись местами" [28]

Мы не будем выяснять справедливость такого утверждения, а просто обратим внимание на то, что на рассматриваемой диаграмме пространство в области II, действительно, изображается таким же образом, как время в области I. В описании к диаграмме мы видим, что в области II радиальная координата ρ или r стала пространственноподобной, а время (на диаграмме не изображено), соответственно стало времениподобным. В области I, наоборот, радиальная координата привычно времениподобна, а координата времени – пространственноподобна. Действительно, картина выглядит так, будто в области II время и пространство поменялись местами.

Кроме этого, обращаем внимание ещё на одну деталь. В самых общих изображениях диаграмм указываются два класса линий – $r=\text{const}$ и $t=\text{const}$. Здесь же на нескольких диаграммах мы видим только обозначение $r=\text{const}$. Другая группа линий $t=\text{const}$ отсутствует. В статье [46] мы обнаружили, что на диаграммах Пенроуза с ле-

вым горизонтом событий $r=2M$ линии времени $t=\text{const}$ невозможны. Вероятно, авторы этих диаграмм имеют такое же мнение.

Однако, на диаграмме нас должно заинтересовать нечто иное. Это соотношение областей I и III. Как видно по обозначениям, область I занимает пространство от $2M$ до плюс бесконечности. Понятно, что это не все пространство-время. Но где же остальная его часть? Смотрим на область III. Там пространственная координата изменяется от тех же $2M$ до плюс бесконечности. В лекции эта ситуация описана весьма красочно:

"Максимально продолженное решение Шварцшильда описывает две вселенные: I и III. Мы находимся либо во вселенной I, либо в III. Эти вселенные между собой не связаны причинно: никакой наблюдатель из вселенной I не может попасть во вселенную III и наоборот, т.к. никакие их точки нельзя соединить времени- или светоподобной кривой. При этом у наблюдателя из вселенной I есть две возможности: либо жить вечно, чему соответствуют времениподобные кривые, уходящие в пространственноподобную бесконечность будущего i^+ (она изображена закрашенным кружком в верхнем правом углу диаграммы), либо за конечное собственное время угодить в Черную дыру $\rho = 0$ после пересечения горизонта" [14].

Оставим без внимания ошибочное название времениподобной бесконечности i^+ , а рассмотрим обоснованность рождение "параллельной Вселенной". Максимально продолженное решение Шварцшильда опирается на исходные полярные координаты диаграммы. Слева у них никогда не было и не могло быть отрицательных значений радиуса. Поэтому зеркальное изображение как бы неизбежно должно иметь тот же положительный знак радиуса. Допустим. Но на каком основании этот мир "назначен" параллельным, некоей второй Вселенной? Ведь это просто зеркальное отражение правой половины.

Формально несогласие заключается в том, что потусторонний мир, вторая Вселенная назначены постулятивно. В этом случае, при гипотетическом переходе сквозь сингулярность, мы можем двигаться только в обратном направлении на этой же правой половине диаграммы. На ней никак не будет отражено, что мы вышли с противоположной стороны Черной дыры, поскольку этот выход на диаграмме означает, что мы попали во вторую Вселенную. Куда более разумно и осмысленно было бы изобразить движение по-прежнему

вперед, то есть, по левой части диаграммы, и лучше, если теперь уже в минусовую бесконечность. То есть, правой стороне соответствует полярный угол 0, а левой – 180 градусов.

В сущности, в этом нет никаких математических проблем. Поэтому можно заявить, что вторая Вселенная - это хорошо завуалированная подмена понятий. Волевым решением, без всякой необходимости дорисовывается левая часть диаграммы. На самом деле в этом нет никакой необходимости, кроме эстетической. Кроме того, для этой эстетической добавки есть вполне приемлемая математическая трактовка без мистики параллельных миров.

Например, почему бы на исходной диаграмме рис.8.2 точно также не дорисовать такую же вторую половину? Исключительно из эстетических соображений? Получится, в общем-то, красивая диаграмма:

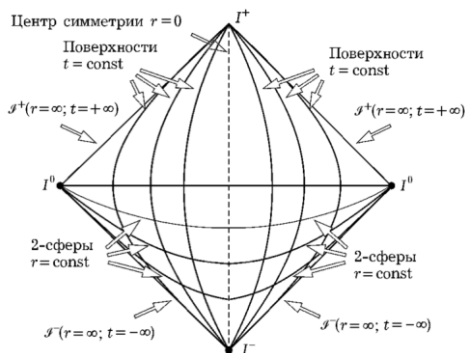


Рис.8.10. "Максимально продолженная" диаграмма Картера-Пенроуза, сформированная из диаграммы [56]. Ошибочные обозначения $t=\text{const}$ и $r=\text{const}$ исправлены

Что может нам логически запретить такое соединение? Но дальше мы можем заняться произвольной трактовкой смысла добавленной части. Казалось бы, отсутствие горизонта событий 2М не мешает нам перейти из нашей Вселенной справа во вторую Вселенную в левой части диаграммы. Любая светоподобная геодезическая и множество времениподобных могут спокойно (геометрически) попасть в левую часть диаграммы. Однако, возникает вопрос: если раньше такие геодезические "отражались" от центра симметрии, то почему они не должны делать этого и теперь? Двойные стандарты? Если же сохранить прежний подход, то вот она, вторая Вселенная и

Фундаментальной причиной такого рождения "потустороннего мира" является подмена понятий. Если исходная полярная система координат занимает всю плоскость, то здесь заменой всей области пространства лишь однонаправленным отрезком (линией), мы оставляем простор для фантазий. А ведь мы ещё не рассматривали трехмерные полярные координаты. Легко догадаться, что в этом случае рождается ещё пара "параллельных миров" – один перпендикулярно к чертежу в нашу сторону и один от нас.

Рис.8.11 "Сверх максимально продолженная" диаграмма Картера–Пенроуза, сформированная из диаграммы [56].

Чем такое "продолжение" принципиально отличается от "максимального продолжения" [14, рис.1.2]? Ничем! Можно сколько угодно добавлять "продолжений" и объявлять их третьей, четвертой и прочими Вселенными, в одной из которых находимся мы. Понятно, что перейти из одной такой Вселенной в другую невозможно, как ни сближай диаграммы друг с другом.

Давайте взглянем на диаграмму [14, рис.1.2] со стороны верхней сингулярности. Диаграмма эта – плоский чертеж, изображающий трехмерную реальность с её 2-сферами. Как известно, изобразить четырехмерное пространство довольно проблематично. Но здесь мы имеем плоское изображение, и ничто не мешает добавить третью координату, посмотрев на это изображение на чертеже сверху, с торца листа. Так, как принято в машиностроительных чертежах, добавляется пометка "Вид сверху". Итак, делаем эту пометку и смотрим на рис.8.12. Горизонтальная линия – это то, как выглядит

диаграмма [14, рис.1.2] на виде сверху. Поскольку добавленная Вселенная названа второй, то нашу Вселенную, видимо, мы пронумеруем первой. В центре рисунка показана седловая точка. Через неё мы провели еще несколько таких же диаграмм, как и рассматриваемая. Понятно, что вновь добавленные Вселенные имеют собственные номера. Добавить, по понятной причине, мы можем вообще бесконечное число Вселенных. Попасть из одной Вселенной в любую другую невозможно, как это показано на использованной диаграмме-оригинале.

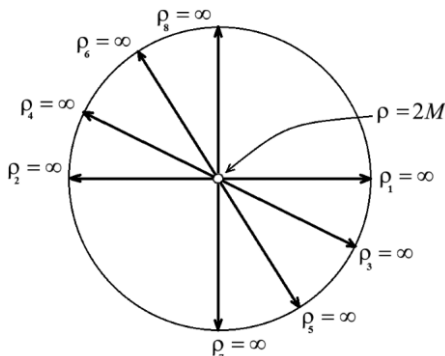


Рис.8.12. Вид сверху на "максимально продолженную" диаграмму Пенроуза из [14, рис.1.2].

Но всё это – всего лишь геометрические придумки "двойного назначения". Дорисовав "максимально продолженную" левую сторону диаграммы, мы без всяких обоснований назвали её второй Вселенной. Однако, есть и более прозаичная, но корректная трактовка. Эта левая половина – просто расширение (впрочем, как и дублирование) правой с куда более очевидным и логичным преобразованием: радиус вектор получил возможность изменяться от минус до плюс бесконечности, а угловой параметр – в диапазоне от нуля до 180 градусов. Кстати, ширина диапазона изменения этого углового параметра равна диапазону изменения конформных переменных в диаграммах Пенроуза – от минус $\pi/2$ до плюс $\pi/2$.

Конечно, вторая Вселенная, параллельный мир – это поинтереснее, чем прозаичная математика или геометрия. Её можно населить и нашими более удачливыми двойниками, и Гарри Поттерами, и вампирами, монстрами, машинами времени и всем-всем-всем, чего только душа пожелает. Но такое рождение второй Вселенной не

имеет никакого научного обоснования и смысла. Это всего лишь личный выбор типа "мне так нравится". И на этой основе можно много чего ещё научно - нафантазировать.

В этой связи отметим и главную, по сути, причину отказа от декартовых координат при создании подобных диаграмм Пенроуза. Там такой трюк с удвоением Вселенных, как говорится, не проходит. В этом случае "максимальное продолжение" невозможно по определению, поскольку левая часть, та, что "максимально продолжена", присутствует изначально, без всяких продолжений. Некуда диаграмму расширять. Правда, с помощью "вида сверху" и в этом случае можно плодить новые реальности. Но у этого "плодородия" уже нет такого хитрого фундамента, как у полярных "миров".

Ясно, что никакая замена координат не должна давать несовместимые результаты. В декартовых диаграммах Пенроуза нет и быть не может странных вторых Вселенных, возникающих при "максимальном продолжении". Поскольку при таком расширении полярных диаграмм Пенроуза получился другой результат, следует поискать ошибку. И ошибка это однозначна: это неверная трактовка такого расширения, а более точно – просто ошибочность такого "максимального продолжения". Либо придется ввести новый "диаграммно-координатный принцип относительности" – количество миров зависит от того, какую координатную систему мы используем. Так что, джинны и волшебные палочки могут запросто ожить, если просто изобрести подходящую систему координат. Правда, нам в этот мир попасть не удастся.

Итак, проблема перехода из первой Вселенной во вторую является следствием неправильных, некорректных обозначений на левой стороне диаграммы. Если ввести корректные обозначения на этой половине, то все становится на свои места.

Действительно, нужно просто вспомнить о рис.8.3 выше. Любая диаграмм Картера-Пенроуза описывает одномерный мир, мир, расположенный вдоль одной линии, даже если это отождествленные точки какой либо сферы. Поэтому утверждения о невозможности перехода из одного мира в другой, из области I в область III справедливо только для случая перехода по этой единственной координате. И на самом деле - ни на диаграмме, ни в реальном мире мы не сможем перейти на другую сторону через центр Черной дыры, через её горизонт событий 2М и её сингулярность. Но в отличие от такой однобокой, неполной трактовки диаграмм Пенроуза, мы

должны четко осознавать, что Черная дыра – это не одномерное пространство и мы всегда можем обойти её по другим координатам, а не сквозь неё. На полярной диаграмме это исключено. Она не отражает верно, полно всю реальность.

Также на полярной диаграмме показано, что два полумира "соприкасаются" точкой $2M$, названной в цитированной лекции седловой. Выглядит это немного странно. Так, будто интервал от $-2M$ до $+2M$ исчез. Ведь в реальном мире мы четко осознаём, что радиус горизонта с нашей стороны Черной дыры в точности равен радиусу горизонта с её противоположной стороны. Только математически его знак противоположный. Даже осознавая, что в полярных координатах нет отрицательных значений радиуса, мы прекрасно понимаем, что на одном и том же расстоянии от центра Черной дыры, но с разных сторон могут находиться два разных объекта. Каков физический смысл такой диаграммы, если эти два объекта – две огромные звезды? Конечно, на диаграмме изобразить совмещенными их мировые точки несложно. Но как быть с физическим смыслом такого совмещения? Пользоваться всяческими "подразумеваниями"? Невозможно осмысленно объяснить, почему два тела, находящиеся на радиально противоположных сторонах от Черной дыры, на диаграмме изображаются как одна точка.

Это очевидная, неизбежная и неустраняемая проблема полярных координат, которая отсутствует у координат декартовых. Отбрасывать эти величины для двух противоположных сторон от Черной дыры нет никаких разумных оснований, как и фактически отбрасывать на том же основании и всё пространство позади Черной дыры.

Кроме всего прочего, наличие горизонта никак не влияет на существование геометрического центра Черной дыры. Очевидно, что полярная диаграмма в этом случае вновь предлагает довольно сомнительное решение, перенося этот центр – сингулярность вверх от оси расстояний. Допустим. Но сингулярностей две и получается, что нулевая точка одновременно находится в двух местах на диаграмме. отождествить их вряд ли можно, ведь это сингулярности двух принципиально разных объектов – Черной и Белой дыр.

Понятно, что расстояние между двумя событиями в декартовых координатах по обе стороны от Черной дыры заведомо больше $4M$. Эти "два мира" отстоят друг от друга именно на это расстояние, если считать их "границами" горизонты $2M$. Но это расстояние на

полярной диаграмме показать без дополнительных пояснений, геометрически, вряд ли возможно. По этой причине продолжения линий 2М в перекрестье (седловой точке) быть не должно. Как говорится, верните геометрический центр Черной дыры на место! Но тогда левые горизонты автоматически приобретают отрицательные значения, неприемлемые для полярной диаграммы. Из всего сказанного следует, что полярная диаграмма неполна, на ней невозможно отобразить некоторые важные детали, а полумиры I и III на самом деле являются одним целым, единым миром. На физически полной диаграмме никаких параллельных, вторых Вселенных. Поэтому любые геодезические на полной диаграмме Пенроуза вида рис.8.9 можно и нужно изображать с синхронным изменением линий времени на обеих половинах. Изменение расстояний в этом случае, разумеется, зависит от соответствующих уравнений этих геодезических.

Какой же вывод можно сделать из всего сказанного? Очень простой: полярные координаты недопустимо искажают реальность, а взамен выдвигаются мистические трактовки о второй Вселенной и Белых дырах. Но чем их можно заменить? Полярные координаты приводят к неоднозначным и даже неприемлемым выводам, но свободны ли от этих проблем диаграммы Пенроуза в декартовых координатах?

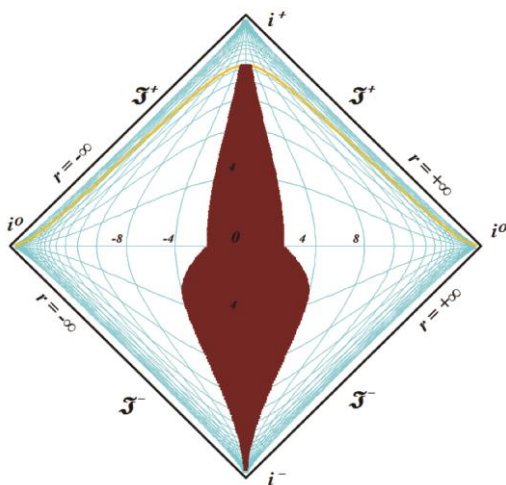


Рис.8.13 Коллапс нейтронной звезды в Черную дыру на полной диаграмме Пенроуза. Анимация [2]

Наконец, если просто отказаться от условия светоподобности горизонтов событий Черной дыры, то на обычной, полноразмерной диаграмме Пенроуза эти условно разделенные точки времениподобной бесконечности прошлого станут одной точкой. Горизонты событий $2M$ теперь будут уже времениподобными, как и у любого вещественного события. В этом случае захват события горизонтом должен быть описан в уравнениях движения такого события. С учетом сил гравитации, искривления пространства-времени и так далее. Захват теперь не будет иметь геометрической видимости. Сама же диаграмма будет иметь вид рис.8.13.

Историю изображенного коллапса можно описать следующим образом. Из отдаленного прошлого движутся две времениподобные геодезические, описывающие две точки на противоположных сторонах нейтронной звезды. Для наглядности пространство между этими геодезическими на диаграмме закрашено. Впрочем, это соответствует множеству геодезических всех точек звезды, расположенных на диаметре, соединяющем две крайние точки, и которые просто слились в одну сплошную фигуру.

До некоторого момента времени звезда имеет неизменный диаметр, на диаграмме это $8M$. Захватив внешнее вещество, звезда начала стремительно сжиматься, коллапсировать. По завершению коллапса возникает горизонт событий диаметром $4M$, который сохраняется на протяжении продолжительного времени. Это и изображено на диаграмме.

В заключение зададимся вопросом: а как на модифицированной диаграмме можно увидеть, что "пространство и время поменялись местами"? Теперь во всех четырех областях сетке времени соответствуют пространственноподобные линии, а расстояниям – времениподобные. Вопрос является, строго говоря, довольно спорным. То, что в уравнениях общей теории относительности координата времени ведёт себя как пространственная координата, вряд ли отражается на диаграмме непосредственно. Как мы выдели выше, построение диаграммы является самодостаточным, никакие уравнения для их построения не нужны. Они опираются на собственные, чисто геометрические положения. Но мы не вольны трактовать времениподобные и пространственно подобные линии сетки диаграммы по своему усмотрению. Поскольку линия сингулярности на диаграммах для максимально продолженного решения Шварцшильда весьма произвольно сделана горизонтальной, то и

координата времени повернулась вертикально. Но сингулярность – это параметр $\rho=2M$, то есть, расстояние. Поэтому и линии сетки являются линиями расстояния. То, что они формально ортогональны таким же линиям в областях I и III, не делает их временем. Это отдельная область, просто повернутая на 90 градусов. Поэтому правильнее говорить, что не "поменялись местами", поскольку они, вообще-то, не поменялись, а говорить, что фрагмент диаграммы, области II и IV изображены с поворотом на 90 градусов.

С другой стороны, все рассуждения о таком обмене местами, выглядят весьма искусственными. Особенно впечатляют рассуждения о том, что по пространственной координате можно двигаться только вперед, падая на сингулярность, что и делает её как бы координатой времени. И, напротив, по координатам времени можно двигаться и вперед и назад. Подобные рассуждения, конечно же, как-то обосновываются. Но из них прямо следует, что координат времени должно быть три, ведь пространство трехмерно, другими словами, необходимо вводить понятие $2t$ -сферы. Но главное то, что движение по времени назад – это прямая дорога к акаузальным парадоксам. В спорах о них сломано немало копий, но следует решительно отвергнуть любую возможность движения в прошлое. Никакие отговорки, дополнительные условия не могут решить проблему движения в прошлое. Вопрос открыт лишь в том смысле, что сторонники машин времени слишком верят в придуманные ими модели движения обратно во времени. Мы же решительно отвергаем любую такую возможность и, как следствие, даже гипотетическую возможность поведения координаты времени как координаты пространства. То есть, движения в обоих направлениях. Это ещё нелепее, чем "вторая Вселенная".

Заключение и выводы

Распространенное мнение о невозможности уйти из-под горизонта событий Черной дыры в общем случае является ошибочным.

Остановка хода часов на горизонте событий сверхмассивной Черной дыры, мягко говоря, выглядит неправдоподобно.

Приведенные выкладки, несомненно, вызовут резкие возражения, утверждения, что они противоречат общей теории относительности. Но ведь главное противоречие заключается в том, что на горизонте сверхмассивной Черной дыры гравитационный потенци-

ал, сила гравитационного притяжения может быть чрезвычайно малой. И это прямое следствие закона всемирного тяготения Ньютона, который является прямым следствием общей теории относительности.

Приведённые выкладки не являются ни опровержением общей теории относительности, ни критикой её противоречий. Правильнее говорить, что критике подвергнуты ошибочные, некорректные трактовки её положений физиками.

Сингулярность является плохо обоснованной абстракцией, которая не нужна для возникновения и объяснения горизонта событий Черной дыры.

Догмы квантовой механики: миф о неравенствах Белла

Математический формализм настолько глубоко проник в теоретическую физику, что с большой уверенностью можно заявить: любое самое замысловатое математическое выражение обязательно имеет проявление в каком-либо физическом явлении. Любая математическая формула, уравнение обязательно описывает что-то в окружающем нас мире, нужно лишь поискать. Возможные недоразумения и проблемы в таких описаниях всегда связаны с их трактовкой или, как часто говорят квантовые физики, интерпретацией. Одним из наиболее ярких примеров такой проблемной интерпретации, описания являются неравенства Белла [42]. Кратко их можно сформулировать следующим образом: взаимная связь между двумя запутанными частицами не может быть описана как вероятностная. Другими словами, более развернуто это может, очевидно, звучать так: если мы наблюдаем поведение двух событий, которые явно, очевидно зависят друг от друга, то мы можем уверенно заявить, что, да, одно из событий зависит от другого, эта зависимость не является вероятностной, случайными совпадениями. Скажем, если при каждом нажатии на кнопку загорается лампа, то мы можем уверенно заявить: нажатие на кнопку и загорание лампы – зависимые события, это не простое случайное совпадение. Понятно, что совпадение тоже может приводить к видимости такой зависимости, но существует много способов проверить, зависимость это или нет. Например, нажимать кнопку в случайной последовательности.

Казалось бы, утверждение о невозможности описания зависимых событий как вероятностных, случайно совпадающих очевидно. Вероятность совпадения двух случайных событий во всех из большого количества измерений стремится к нулю при росте числа измерений. Если же настаивать, что они совпадают все-таки случайно, то из теории вероятностей следовало бы вообще исключить такое понятие, как зависимые события. Все без исключения такие "зависимые" события просто-напросто являются случайными совпадениями. Даже если гвоздь вошел в доску, то это лишь случайное совпадение с ударом по нему молотка.

Тем не менее, в квантовой механике одно из явлений – корреляция (читай: зависимость) между запутанными частицами категорически исключено из явлений зависимости поведения двух частиц.

Когда одна из запутанных частиц приобретает собственное, определенное состояние, то вторая в этот же момент приобретает состояние, строго коррелированное с состоянием первой частицы. Упрощенно это можно представить в понятиях о направлении поляризации частиц. В определенных условиях эксперимента вторая из частиц всегда проходит через свой поляризатор, если через свой поляризатор проходит первая частица из запутанной пары. Считается, что всегда, без каких-либо исключений. Если же первая не прошла, то не пройдет и вторая. То есть, событие "прохождение второй частицы через поляризатор" и событие "прохождение первой частицы через поляризатор" являются полностью коррелированы, взаимосвязаны. Мы всегда, с достоверностью можем сказать, что прохождение первой частицы предопределяет прохождение второй. С другой стороны, если первая частица не пропускается через поляризатор, то вторая равновероятно либо проходит, либо не проходит через свой.

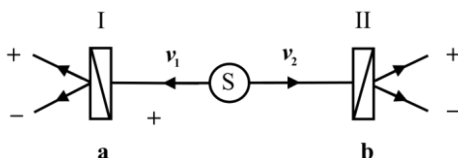


Рис.1 Мысленный эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена с фотонами (подобие схемы, взятой из работы Алена Аспекта). Два фотона v_1 и v_2 , испускаемые источником S, пропущены через линейные поляризаторы в направлениях **a** и **b**.

На рисунке представлен мысленный эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена с фотонами, известный в литературе как ЭПР-эксперимент [60, 30]. Два запутанных фотона v_1 и v_2 входят в собственные анализаторы (расщепляющие поляризаторы) **a** или **b** и далее попадают через один из его выходов на датчик+ или датчик-. При определенном характере запутанности (синглетном) всегда одновременно срабатывают либо оба датчика+, либо оба датчика-. Один из анализаторов расположен так, что фотон через него проходит немного раньше, чем второй фотон через второй анализатор.

Нет никаких иных разумных объяснений такого поведения, кроме как влияния первой частицы на вторую. Пройдя через свой анализатор на один из датчиков, первая частица как бы заставляет и вторую частицу пройти на такой же датчик. Вторая частица не мо-

жет произвольно выбрать, на какой выход анализатора ей пройти. Её поведение однозначно предопределено поведением первой частицы, зависит от поведения первой частицы.

Правда, Белл предположил своеобразное "соломоново решение", согласно которому признание статистических предсказаний квантовой теории требует признания влияния друг на друга измеряющих инструментов, причем мгновенного [5, 32, 33, 44].

Другими словами, если частицы не влияют друг на друга, то такие синхронные срабатывания датчиков вызваны влиянием друг на друга самих датчиков со сверхсветовой скоростью. И здесь становится видна довольно странная ситуация. Пусть частицы все-таки приобретают не совпадающие поляризации, то есть, в некоторых случаях они проходят не на одноименные выходы анализаторов. Но согласно экспериментам датчики все-таки дают именно синхронные срабатывания. Возникает вопрос: что же это за датчики такие, которые срабатывают тогда, когда фотон попал на другой датчик, и не срабатывают, когда фотон попал на него?

Собственно, проблема ЭПР возникла именно из-за сверхсветового влияния двух измерений друг на друга. В этом случае любое влияние, тождественное обмену сигналами будет противоречить специальной теории относительности, запрещающей сверхсветовые сигналы. Как компромисс принято считать, что обмена классическими сигналами не происходит, никаких носителей таких сверхсветовых сигналов пока обнаружить не удалось. Поэтому в квантовую механику введено явно мистическое понятие о нелокальности – влияние есть, но никаких сигналов, осуществляющих такое влияние, нет. Математическим отражением этого явления стали неравенства Белла. Неравенства сами по себе лишь отражают факт, что статистически, вероятностно поведение запутанных частиц не может быть описано. То есть, поведение частиц – это не простое случайное совпадение. Никакого иного смысла математические уравнения неравенств Белла не несут! Конечно, следует уточнить, что стохастическое, вероятностное поведение запутанных частиц происходит из так называемых теорий с дополнительными параметрами. Исходная ЭПР-гипотеза и ряд других теорий предполагает, что частицы сохраняют свои состояния в неких скрытых параметрах, после чего при измерении просто их используют. Но квантовое измерение – это вероятностный процесс, поэтому, в конечном счете, всё сводится к случайному совпадению результатов измерений.

Тем не менее, у случайного совпадения результатов измерений альтернатива есть – это зависимое подведение. Никакой иной разумной, рациональной альтернативы нет, только мистика. Поэтому квантовая нелокальность определенно является мистической трактовкой поведения запутанных частиц. Согласно выкладкам Белла случайность не может объяснить наблюдаемую в эксперименте корреляцию между частицами, а зависимость квантовая механика не хочет признавать в угоду теории относительности. Вот и приходится использовать мистическую нелокальность.

Но к чему такие жертвы? Может быть, есть возможность как-то примирить ЭПР-парадокс со специальной теорией относительности? Почему бы не ввести в теорию тахионы (квантино) – сверхсветовые частицы? Тогда проблемы исчезают, частицы просто обмениваются "квантовой информацией" посредством сверхсветовых сигналов. И, действительно, ныне большинство сторонников релятивизма пришли к мнению, что специальную теорию относительности можно распространить на такие сигналы. Правда, возникают весьма непривычные параметры у таких частиц, вроде мнимой массы и мнимого собственного времени:

"Все мнимые параметры тахиона мы получили, применив к нему математику специальной теории относительности. То есть, вся эта "мнимость" - следствие релятивистских операций над тахионом". [41]

И если бы только это... Внимательный, предвзятый анализ сверхсветовых сигналов, "квантовой информации" приводит к серьёзным философским проблемам в теории относительности, чем отчасти можно объяснить негативное отношение физиков к философии. При любом обмене такими сигналами теория относительности вынуждена делать противоречивые, взаимоисключающие предсказания:

"... два предсказания специальной теории относительности одного и того же события - сеанса связи являются взаимно исключающими. Спросим наблюдателей А и В: был или не был сеанс связи? Согласно теории относительности ответов будет два: "сеанс был" и "сеанса не было". Предсказания теории относительности для сверхсветовых сигналов являются взаимоисключающими, теория не может дать на них однозначного ответа, она неспособна дать такой ответ". [39]

Применение теории относительности к сверхсветовым сигналам приводит её к акаузальным парадоксам, то есть к нарушению причинно-следственных связей:

"А если таймер не сработал, то на В не мог быть отправлен сигнал-команда на его уничтожение. Следовательно, таймер Т не мог быть уничтожен! А раз он не был уничтожен, то он был уничтожен?!! Замкнутый порочный круг, парадокс причинно-следственной связи, который никак не может быть урегулирован, сглажен выбором системы координат для изменения временного порядка" [37].

Все эти парадоксы и абсурды специальной теории относительности следуют строго логически из простого расширения её на сверхсветовые сигналы. Поэтому введение понятия нелокальности неизбежно становится для квантовой механики просто фиговым листом, неспособным прикрыть эти релятивистские проблемы.

Итак, превращение неравенств Белла в миф, догмат квантовой механики фактически призвано скрыть достаточно очевидные выводы:

- экспериментально наблюдаемая сверхсильная корреляция (зависимость) между запутанными частицами не является вероятностной, стохастической – поведение частиц является безусловно зависимым;

- такая зависимость не требует объяснения наличием каких-либо нефизических, антинаучных носителей, предполагаемых нелокальной интерпретацией;

- следует признать существование реальных физических носителей, частиц, распространяющихся со сверхсветовой скоростью (тахiony, квантино), на которые не может быть распространен формализм специальной теории относительности.

Какие они, неравенства Белла?

Вопрос не праздный и очень даже не простой. Вот что, например, пишет на Самиздате один из его авторов: "Не так давно мне тут всю плешь проели по поводу теоремы Белла. Уж чего только не говорили. Не говорили только, что это такое на самом деле, с чем ее едят и что из нее следует. Видимо, все были крутыми специалистами и упоминание таких мелочей было ниже их достоинства" [17].

Попробуем и мы обратиться к этой интересной теме. Практически в любой статье так или иначе связанной с темой нелокальности или запутанности частиц обязательно присутствуют ссылки на теорему или неравенства Белла. Как факт принято, что эти неравенства являются главным арбитром всех спорных явлений, касающихся этой темы и передачи сигналов со сверхсветовыми скоростями. Разница в названиях весьма условна, поскольку теорема Белла – это выкладки, результатом которых являются неравенства, получившие в дальнейшем собственное имя "неравенства Белла". Возникает впечатление, что множество исследователей и авторитетных авторов научных статей только тем и заняты, что подгоняют свои разработки под формализм неравенств Белла. Собственно, главным аргументом является факт *нарушения* этих неравенств. Изошренные эксперименты и установки всегда показывают такое нарушение. Но ни само название "неравенства Белла", ни факт их нарушения ничего не говорят ни о формальном смысле неравенств, ни о причине их нарушения. Как и во множестве других случаев, квантовая механика и здесь выступает как описательная наука, мало чем отличающаяся от труда живописца или поэта. Но что же скрывают эти загадочные неравенства? Имеют ли они помимо описательного, какой-нибудь *физический* смысл?

Если просмотреть в литературе варианты написания неравенств Белла, то легко обнаружить их множество, но, что удивительно, собственной, оригинальной формулировки "теоремы" и "неравенств" у Белла нет. Одним из наиболее известных выражений этих неравенств является вариант CHSH–неравенства, полученного Клаузером, Хорном, Шимони и Хольтом. Выглядит оно так:

$$| \langle AB \rangle + \langle A'B \rangle + \langle AB' \rangle - \langle A'B' \rangle | \leq 2.$$

Во множестве вариантов написания неравенств, они могут иметь и довольно незначительные различия. Например, их можно записать в таком виде [2]:

$$-2 \leq S \leq 2,$$

$$\text{где: } S = E(a, b) - E(a, b') + E(a', b) + E(a', b').$$

Вид неравенства чаще всего определяется условиями эксперимента, исследуемой в нём модели. В этом случае оно приобретает соответствующий вид, например, такой [11]:

$$P_{12}(\theta_1, \theta_2) - P_{12}(\theta_1, \theta'_2) - P_{12}(\bar{\theta}'_1, \theta_2) - P_{12}(\theta'_1, \bar{\theta}'_2) \leq 0$$

На вид неравенства влияет и конструкция экспериментальной установки, которая может потребовать ещё более сложных форм

написания неравенств Белла. Например, Аспект использует собственную форму написания неравенств [3]:

$$S = \frac{N(\bar{a}, \bar{b})}{N(\infty, \infty)} - \frac{N(\bar{a}, \bar{b}')}{N(\infty, \infty')} + \frac{N(\bar{a}', \bar{b})}{N(\infty', \infty)} + \frac{N(\bar{a}', \bar{b}')}{N(\infty', \infty')} - \frac{N(\bar{a}', \infty)}{N(\infty', \infty)} - \frac{N(\infty, \bar{b})}{N(\infty, \infty)}$$

Или похожий вариант новых неравенств В.С.Н.С.Н:

$$1 \leq S' \leq 0,$$

где величина S'

$$S' = \frac{N(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - N(\mathbf{a}, \mathbf{b}') + N(\mathbf{a}', \mathbf{b}) + N(\mathbf{a}', \mathbf{b}') - N(\mathbf{a}', \infty) - N(\infty, \mathbf{b})}{N(\infty, \infty)}$$

представлена в виде функции измеренных норм (количеств) совпадений.

Следующее [54] "оптимальное неравенство типа неравенства Белла для трёх-частичного ГХЦ-состояния было написано Мерминым и имеет вид

$$|\langle xuy \rangle + \langle uxy \rangle + \langle yux \rangle - \langle xxx \rangle| \leq 2."$$

Чтобы понять суть неравенств Белла и их роль в квантовой физике, что и чему не равно и по какой причине, следует более подробно рассмотреть условия и причину их появления.

Вероятностная интерпретация квантовой механики

Одним из основных понятий квантовой физики является волновая функция, пси-функция, с помощью которой описывается состояние квантовых частиц и их систем. Часто её отождествляют с похожим понятием – вектором состояния:

"Волновая функция (амплитуда вероятности, вектор состояния), в квантовой механике основная величина, описывающая состояние системы и позволяющая находить вероятности и средние значения характеризующих её физических величин. Квадрат модуля волновой функции равен вероятности данного состояния, поэтому волновую функцию называют также амплитудой вероятности". [16]

Название - *амплитуда вероятности* отражает первый общий принцип квантовой механики, который заключается в том, что вероятность того, что частица достигнет точки x , выйдя из источника s , может быть численно представлена квадратом модуля комплексного числа, для записи которого используется сокращенное обозначение $\langle x|s \rangle$ [12].

"Например, вероятность того, что квантовая частица находится в точке с заданными координатами, равна квадрату ее волновой функции, аргументом которой является координата. Соответственно, вероятность того, что частица имеет определенный импульс, равна квадрату волновой функции с импульсом в качестве аргумента. Поэтому у квантовой частицы нет определенной координаты или импульса – они принимают то или другое значение лишь с какой-то вероятностью" [58].

Заметим небольшую несогласованность в цитате: у частицы нет координаты, но она принимает то или иное значение.

"Для описания поведения квантовых систем вводится *волновая функция* (другое название – *пси-функция*) $\Psi(x, y, z, t)$. Она определяется таким образом, чтобы вероятность dw того, что частица находится в элементе dV была равна:

$$dw = |\Psi|^2 dV$$

Физический смысл имеет не сама функция Ψ , а квадрат ее модуля $|\Psi|^2 = \Psi\Psi^*$, которым задается интенсивность волн де Бройля (здесь Ψ^* - функция, комплексно сопряженная с Ψ). Величина $|\Psi|^2$ имеет смысл *плотности вероятности*, а сама волновая функция Ψ имеет смысл *амплитуды вероятности*" [28].

К классическим определениям квантово-механической волновой функции относится определение, данное Ландау и Лившицем [26]:

"Основу математического аппарата квантовой механики составляет утверждение, что описание состояния системы осуществляется заданием определенной (вообще говоря, комплексной) функции координат $\Psi(q)$, причем квадрат модуля этой функции определяет распределение вероятностей значений координат: $|\Psi|^2 dq$ есть вероятность того, что произведенное над системой измерение обнаружит значения координат в элементе dq конфигурационного пространства. Функция Ψ называется волновой функцией системы".

Более объемлющим понятием является понятие вектора состояния:

"Вектор состояния (амплитуда состояния; символ $|\Psi\rangle$ или $|\rangle$, предложен П. А. М. Дираком) - основное понятие квантовой механики, математический объект, задание которого в определенный момент времени полностью определяет состояние квантовомеханической системы и, при известных взаимодействиях, ее дальнейшую эволюцию... Функция $\psi(n)$ называется волновой функцией в пред-

ставлении величин n . Квадрат модуля волновой функции $|\psi(n)|^2$, согласно статистической интерпретации квантовой механики, равен вероятности того, что для системы, находящейся в состоянии, описываемом вектором состояния $|\Psi\rangle$, набор определяющих состояние величин равен n . Таким образом, волновая функция представляет собой амплитуду вероятности. Поскольку задание волновой функции полностью определяет вектор состояния $|\Psi\rangle$ динамической системы, можно вычислить вероятности возможных значений K_i любой другой физической величины K , не входящей в полный набор (n) . [14]

Большое внимание волновой функции и вероятностному подходу в квантовой механике уделил Ричард Фейнман в своих знаменитых лекциях:

"Наш первый общий принцип квантовой механики заключается в том, что вероятность того, что частица достигнет точки x , выйдя из источника s , может быть численно представлена квадратом модуля комплексного числа, называемого амплитудой вероятности, в нашем случае — "амплитудой того, что частица из s попадет в x ". [51, с.11]

"В квантовой механике нам тоже удалось упростить запись многих вещей, воспользовавшись идеей "вектора состояния". Вектор состояния $|\psi\rangle$ ничего общего, конечно, не имеет с геометрическими векторами в трехмерном пространстве: это просто отвлеченный символ, который обозначает физическое состояние, отмечаемое своим "значком" или "названием" ψ . Представление это весьма и весьма полезно, потому что на языке этих символов законы квантовой механики выглядят как алгебраические уравнения". [52, с.200]

В своих работах Фейнман зачастую сокращает понятие "амплитуда вероятности" до одного слова "амплитуда". О том, что это тождественные понятия, можно косвенно судить по следующим его высказываниям в томе 9 "Лекций":

"Если у нас имеется волновая функция отдельного фотона, то это — амплитуда того, что он будет обнаружен где-то". [52, с.234]

"Но нужно помнить одну вещь: амплитуда для электрона быть в данном месте это амплитуда, а не вероятность". [52, с.7]

"Если для электрона амплитуда того, что он окажется в x_n , равна C_n , то вероятность найти его там будет $|C_n|^2$ ". [52, с.14]

В берклеевском курсе физики Вихман отмечает внешнее сходство величин амплитуд плотности энергии классической физики и квантово-механических вероятностей:

"Неправильно интерпретировать сумму квадратов амплитуд E и B как плотность энергии в пространстве, в котором движется фотон. От этой идеи, принадлежащей классической физике, необходимо отказаться. Вместо этого каждую величину, квадратично зависящую от амплитуды волны, следует интерпретировать как величину, пропорциональную вероятности какого-то процесса. Например, интеграл от суммы квадратов амплитуд E и B по некоторой конечной области пространства не равен энергии, вносимой фотоном в эту область. Он пропорционален вероятности обнаружить в этой области фотон, если мы попытаемся "поймать" его с помощью, например, фотоэлемента. Аналогично, вычисленный в классической теории поток излучения через щель в экране следует интерпретировать в новой теории как величину, пропорциональную вероятности того, что фотон будет обнаружен, если мы поместим непосредственно за щелью фотоэлемент". [13, с.171]

Допускается отождествление на уровне аналогий между реальной физической характеристикой и абстрактным математическим параметром:

"Гипотеза де Бройля позволяет все результаты, известные для дифракции и интерференции света, обобщить и на случай обычных (квантовых!) частиц. Амплитуда вероятности при этом играет ту же роль, что и амплитуда электромагнитной волны (в случае света), а плотность вероятности частиц является аналогом интенсивности светового потока" [22].

Но материализация волновой функции обычно исключается, это всего лишь математическое описание поведения частиц:

"Мы говорили, что амплитуда волны должна быть истолкована в понятиях вероятности. Частицу вероятнее всего обнаружить там, где амплитуда волновой функции велика. Более точно, квадрат модуля волновой функции в данной точке является мерой вероятности обнаружить частицу (например, с помощью "небольшого" прибора) вблизи этой точки". [13, с.217]

Таким образом, как видим, в обозначениях и формулировках, относящихся к базовым понятиям квантовой механики – волновой функции, амплитуде вероятности, вектору состояния имеются некоторые разночтения и различия. Тем не менее, очевидно и бесспорно,

что научная теория – квантовая механика полностью отражает реальность, даёт исчерпывающую информацию о ней. И это не смотря на то, что о параметрах квантовых частиц можно говорить только с вероятностной точки зрения. Впервые точно сформулированная вероятностная интерпретация квантовой механики, волновой функции была предложена в 1926 году Максом Борном. В дальнейшем эти представления были положены в основу так называемой Копенгагенской интерпретации квантовой механики (КИ): "Именно Борн правильно (насколько нам известно) отождествил ψ в уравнении Шредингера с амплитудой вероятности, предположив, что квадрат амплитуды — это не плотность заряда, а всего лишь вероятность (на единицу объема) обнаружить там электрон и что если вы находите электрон в некотором месте, то там окажется и весь его заряд. Вся эта идея принадлежит Максцу Борну". [52, с.233]

"Предполагавшаяся уже ранее в исследованиях по теории излучения и сформулированная точно в борновской теории столкновений гипотеза, что волновая функция определяет вероятность наличия частицы, оказалась частным случаем общей закономерности и естественным следствием основных положений квантовой механики" [18].

"Используя высказанные ранее Эйнштейном идеи о взаимосвязи между световыми волнами и фотонами, согласно которым квадрат амплитуды этих волн в данной точке должен был определять вероятность нахождения в ней фотона, Борн выдвинул интерпретацию $|\psi|^2$ - квадрата модуля шредингеровской волновой функции как плотности вероятности в конфигурационном пространстве". [10, с.236]

Борн отмечал в своих воспоминаниях, что уже тогда размышления над многомерными векторами этой теории зародили в нем идеи, которые он позднее развил. Впервые они были опубликованы в виде короткой заметки в журнале "Zeitschrift fur Physik", а затем в классической статье; обе работы имеют одинаковое название "К квантовой механике процессов соударения". Содержание этих работ хорошо известно и не требует подробного пересказа. В интерпретации Борна шредингеровская волновая функция характеризует вероятность нахождения частицы в различных точках пространства. Именно за них Максцу Борну в первую очередь была присуждена Нобелевская премия. [10, с.259]

"Итак, я хотел бы в виде опыта проследить за следующим представлением: "ведущее поле", задаваемое скалярной функцией ψ от координат всех участвующих частиц и от времени, распространяется в соответствии с дифференциальным уравнением Шрёдингера. Однако перенос импульса и энергии происходит так, как если бы в действительности двигались корпускулы (электроны), Пути этих корпускул определены лишь в той степени, в какой их ограничивают законы сохранения энергии и импульса; в остальном выбор данного пути определяется лишь вероятностью, задаваемой распределением значений функции ψ . Это представление можно было бы обобщить следующим, хотя и несколько парадоксальным образом: движение частиц следует вероятностным законам, но сама вероятность распространяется в соответствии с законом причинности". [6, 7, 9, с.633]

"Согласно интерпретации, предложенной М.Борном, величина $\rho_\psi = |\psi|^2$ является плотностью вероятности нахождения частицы в данной точке пространства, а, соответственно, величина $\rho_\psi = |\psi|^2 d\Omega$ есть вероятность обнаружения частицы в области пространства объёмом $d\Omega$, содержащей данную точку. Величина j_ψ называется, соответственно, током вероятности. Саму волновую функцию ψ Р.Фейнман предлагает называть амплитудой вероятности, но данный термин не является общепринятым" [25].

"Квадрат модуля берется по той причине, что сама волновая функция (из-за мнимого коэффициента перед производной по времени в дифференциальном уравнении) комплексна, в то время как величины, допускающие физическую интерпретацию, конечно, должны быть вещественными.

Мы уже упоминали об интерпретации волновой функции, данной Борном (гл. IV, §7). Пусть собственная функция ψ соответствует некоторому состоянию; тогда есть вероятность, что электрон (рассматриваемый как частица) находится в элементе объема dv .

Эта интерпретация станет совершенно очевидной, если рассмотреть не собственные квантовые состояния (с дискретными отрицательными значениями энергии), а состояния с положительной энергией, соответствующие гиперболическим орбитам теории Бора" [8, с.173].

Борн отмечает, что вероятностный подход к волновой функции основывается на идеях Паули и Шрёдингера:

"Такое обобщение волновой механики предложил Паули (1925 г.). Основная идея его теории состоит примерно в следующем. Для простоты рассмотрим свободный электрон. Согласно Шредингеру, его состояние описывается волновой функцией $\psi(x, y, z, t)$, причем $|\psi|^2$ дает вероятность того, что электрон будет обнаружен в рассматриваемой точке. Мы могли бы ввести спин в волновое уравнение, пользуясь представлением о вращающемся электроне". [8, с.217]

"Следовало найти путь к объединению частиц и волн. Я видел связующее звено в идее вероятности. В нашей статье, написанной втроем, был раздел (гл. III, §2), принадлежащий одному мне (7). В нем фигурировал вектор x с компонентами $x_1, x_2, x_3, \dots$, на который действуют матричные операторы. Ему не придавалось какого-либо смысла; я думал, что он имеет отношение к распределению вероятности. Но лишь после того, как стала известна шредингеровская работа, я смог показать, что эта догадка была правильной и что вектор x есть непрерывное представление волновой функции ψ , так что $|\psi|^2$ - плотность вероятности в конфигурационном пространстве. Эта гипотеза была подтверждена описанием процессов соударений в терминах рассеяния волн и другими методами". [10, с.16]

Сама волновая функция, таким образом, по сути, является вероятностным *описателем* поведения квантовой частицы. Она не обладает при этом никакими атрибутами материального объекта, поэтому в принципе невозможны ни её наблюдение, ни её приборная регистрация.

Парадокс ЭПР

Однако такой подход в теории вызвал возражения у ряда исследователей, в том числе, у Эйнштейна, который со своими сотрудниками Подольским и Розеном подвергли сомнению полноту квантовой механики. Суть возражения состояла в том, что квантовая механика не полна, волновая функция не позволяет дать полное описание реальности, о чём свидетельствует явление запутанности квантовых частиц. В 1935 году они предложили мысленный эксперимент, из которого, по их мнению, следовало, что для описания физических объектов волновой функции недостаточно. В статье "Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным?" они рассмотрели систему двух

коррелированных (в состоянии запутанности) частиц. В статье были приведены доказательства, что измерение над одной из связанных частиц позволяет узнать дополнительные параметры второй частицы, что противоречит положениям квантовой механики. Это и означает, что волновая функция не полностью характеризует частицу, что квантовая механика не полна.

"В полной физической теории существует определенный элемент, соответствующий каждому элементу реальности. Достаточным условием реальности той или иной физической величины является возможность предсказания ее с достоверностью, не нарушая системы. В квантовой механике в случае двух физических величин, описываемых некоммутирующими операторами, знание одной из этих величин делает невозможным знание другой. Тогда, либо 1) описание реальности в квантовой механике с помощью волновой функции является неполным, либо 2) эти две физические величины не могут одновременно обладать реальностью. Рассмотрение проблемы предсказания поведения некоторой системы на основе измерений, выполненных над другой системой, которая предварительно взаимодействовала с рассматриваемой, приводит к результату, что если утверждение "1" неверно, то утверждение "2" также неверно. Таким образом, это приводит к заключению, что описание физической реальности с помощью волновой функции является неполным" [60, с.604].

Поскольку вероятность нахождения квантовой частицы в каком-либо состоянии одного из своих параметров равна квадрату её волновой функции по этому параметру, у квантовой частицы нет определённого значения этого параметра – они принимают то или другое значение лишь с какой-то вероятностью. И только в процессе измерения, когда волновая функция "схлопывается", значение параметра становится известным точно. По мнению Эйнштейна это плохо совмещается с представлениями о реальности. Он приводит такое определение понятия элемента физической реальности:

"Элементы физической реальности не могут быть определены при помощи априорных философских рассуждений, они должны быть найдены на основе результатов экспериментов и измерений. Однако для наших целей нет необходимости давать исчерпывающее определение реальности. Мы удовлетворимся следующим критерием, который считаем разумным. *Если мы можем, без какого бы то ни было возмущения системы, предсказать с достоверностью* (т. е.

вероятностью, равной единице) значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине. Нам кажется, что этот критерий, хотя он далеко не исчерпывает всех возможных способов распознавания физической реальности, по крайней мере, дает нам один из таких способов, коль скоро выполняются формулированные в нем условия. Этот критерий, рассматриваемый не как необходимое, а только лишь как достаточное условие реальности, находится в согласии как с классическим, так и с квантово-механическим представлением о реальности". [60, с.605].

Против доводов Эйнштейна выступил Бор. Полемику между Эйнштейном, Подольским и Розеном, с одной стороны, и Бором, с другой, можно рассматривать как спор о физическом смысле волновой функции. Во вступительной статье Фока к одной из публикаций упомянутой работы Эйнштейна сказано:

"Эйнштейн говорит, что основным понятием теории является понятие состояния, описываемого волновой функцией. Эйнштейн понимает слово "состояние" в том смысле, какой ему обычно приписывается в классической физике, т. е. в смысле чего-то вполне объективного и совершенно независящего от каких бы то ни было сведений о нем. Отсюда и проистекают все парадоксы. Квантовая механика действительно занимается изучением объективных свойств природы в том смысле, что ее законы продиктованы самой природой, а не человеческой фантазией. Но к числу объективных понятий не принадлежит понятие о состоянии в квантовом смысле. В квантовой механике понятие о состоянии сливается с понятием "сведения о состоянии, получаемые в результате определенного максимально-точного опыта". В ней волновая функция описывает не состояние в обыкновенном смысле, а скорее эти "сведения о состоянии". Эйнштейн показывает, что, не трогая системы, можно придать ее волновой функции тот или иной вид. Если считать вместе с Эйнштейном, что волновая функция описывает объективное состояние, то, конечно, его результат будет иметь характер парадокса. Ведь невозможно себе представить, чтобы объективное состояние системы (что бы мы под этим ни подразумевали) менялось в результате каких бы то ни было операций, произведенных не над ней, а над другой системой, которая с ней вовсе не взаимодействует. Но хотя в результате таких операций не может меняться "объек-

тивное состояние" системы, зато могут меняться "сведения о состоянии", т. е. состояние в квантовом смысле. [60]

Поэтому все парадоксы исчезают, коль скоро мы откажемся от проводимого Эйнштейном неверного "объективного" толкования волновой функции и примем правильное ее толкование, т. е. будем считать, что она описывает "состояние в квантовом смысле" или "сведения о состоянии, получаемые в результате определенного максимально-точного опыта" [55, с.437].

Нильс Бор опубликовал статью, в которой подробно рассмотрел аргументы Эйнштейна, используя понятие дополнительности, состоящее во взаимном исключении всяких двух экспериментальных манипуляций, которые позволили бы дать однозначное определение двух взаимно-дополнительных физических величин. Бор отметил, что: «в области квантовых явлений невозможен точный учет обратного действия объекта на измерительные приборы, т. е. учет переноса количества движения в случае измерения положения и учет смещения в случае измерения количества движения. В связи с этим никакие сравнения и аналогии между квантовой механикой и обыкновенной статистической механикой никогда не смогут передать сути дела, - как бы не были полезны такие аналогии для формального изложения теории. Ведь в каждой постановке опыта, пригодной для изучения собственно квантовых явлений, мы сталкиваемся не только с незнанием значений некоторых физических величин, но и с невозможностью дать этим величинам однозначное определение». [55, с.452]

Он приходит к выводу, что:

"формулировка вышеупомянутого критерия физической реальности, предложенного Эйнштейном, Подольским и Розеном, содержит двусмысленность в выражении "без какого бы то ни было возмущения системы". Разумеется, в случае, подобном только что рассмотренному, нет речи о том, чтобы в течение последнего критического этапа процесса измерения изучаемая система подвергалась какому-либо механическому возмущению. Но и на этом этапе речь идет по существу о возмущении в смысле влияния на самые условия, определяющие возможные типы предсказаний будущего поведения системы. Так как эти условия составляют существенный элемент описания всякого явления, к которому можно применять термин "физическая реальность", то мы видим, что аргументация упомянутых авторов не оправдывает их заключения о том, что

квантово-механическое описание существенно неполно. Напротив того, как вытекает из наших предыдущих рассуждений, это описание может быть характеризовано как разумное использование всех возможностей однозначного толкования измерений, совместимого с характерным для квантовых явлений конечным и не поддающимся учету взаимодействием между объектом и измерительными приборами". [55, с.453]

Помимо обратного влияния измерительного прибора на объект измерения, Бор отмечает необходимость учитывать влияние объектов измерения и на часовые механизмы:

"Кроме уже рассмотренного выше переноса количества движения между объектом и телами, определяющими пространственную систему отсчета, нам придется теперь при изучении такого рода установок исследовать возможный обмен энергией между объектом и этими "часовыми" механизмами.

Существенный пункт в рассуждениях, относящихся к измерениям времени в квантовой механике, вполне аналогичен тому аргументу, который относится к измерениям положения. ... Действительно, возможность контролировать передаваемую часам энергию, не нарушая действия их как указателей времени, принципиально исключена" [55, с.455].

Вместе с тем доводы Фока и Бора в целом можно отнести к теоретико-логическим, описательным. Несмотря на логичность и стройность, эти доводы, тем не менее, не обладали достаточной математической строгостью, формальностью. Вследствие этой незавершенности продолжались попытки построения теорий, которые должны были объяснить поведение запутанных частиц путём расширения аппарата квантовой механики, включения в него понятий "скрытые переменные" или "дополнительные параметры". И только с появлением работы Белла был практически окончательно решён вопрос об ошибочности доводов Эйнштейна и неспособности теорий с "дополнительными параметрами" разрешить ЭПР-парадокс.

Статья Белла

Статья Джона Белла "Парадокс Эйнштейна Подольского Розена" была опубликована в 1964 году и явилась истоком понятия "неравенства Белла". В статье Белл произвёл тщательный математический, вероятностный анализ доводов Эйнштейна, Подольского

и Розена. Он убедительно показал, что теории со скрытыми переменными в принципе не позволяют объяснить результаты, полученные в реальных экспериментах. Важный вывод, к которому пришёл Белл, гласил:

"В квантовой теории с дополнительными параметрами для того, чтобы определить результаты индивидуальных измерений без того, чтобы изменить статистические предсказания, должен быть механизм, посредством которого настройка одного измеряющего устройства может влиять на чтение другого отдаленного инструмента. Кроме того, задействованный сигнал должен распространяться мгновенно так, что такая теория не может быть лоренц-инвариантом" [5, 32, 33, 44].

Другими словами, с позиции теории с дополнительными параметрами мы утверждаем, что результаты измерений над каждой частицей полностью независимы друг от друга, независимы в физическом смысле. Все эти совпадения являются статистическими следствиями, то есть, по существу, они всего лишь случайные совпадения. Тогда в этом случае мы обязаны переложить весь груз этой случайности на некий механизм, упомянутый Беллом. Этот механизм должен обладать способностью подстраиваться под измерения со сверхсветовой скоростью. Следовательно, такая теория противоречит специальной теории относительности и поэтому точно так же отвергает ЭПР-аргументы.

В принципе, на этом можно было бы и закончить описание доказательной части выкладок Белла, если бы не некоторые довольно примечательные обстоятельства. В первую очередь это то, что ни анализ Белла, ни аргументы Эйнштейна никак не объясняют собственно механизм корреляции. Как оказалось, эйнштейновские аргументы опровергнуты чисто математическими выкладками: поведение квантовых частиц не может быть описано статистически, и никакие "дополнительные параметры" не могут обеспечить требуемой корреляции. Но и выкладки Белла тоже не поместились в прокрустовом ложе нелокальности. Отказывая в сверхсветовой связи между квантовыми частицами, он вынужден, тем не менее, такую связь сохранить, теперь уже между измерительными приборами.

С другой стороны, доводы Белла сыграли лишь деструктивную роль – опровергли целый класс таких теорий. Но поведение частиц, не являясь статистическим, демонстрирует некоторую "взаимозависимость". Простой констатацией факта и присвоением ему

названия "нелокальность" вряд ли можно ограничиться. Суть нелокальности никак не раскрывается. В наши дни это понятие расширено новым термином "несепарабельность", так же не раскрытым полностью. Суть явления выглядит таким образом: между объектами нет взаимодействия, но ведут они себя таким образом, будто такое взаимодействие есть. В литературе встречаются аллегории, будто частицы "видят будущее". Некоторые формулировки, описывающие явления, подобные ЭПР-парадоксу, содержат чёткие словосочетания "как только одна..., так сразу же другая", явно отражающие отношение взаимозависимости. Тем более становится непонятной преувеличенная, судя по всему, роль неравенств. Прежде, чем разобраться в сущности неравенств Белла, рассмотрим более подробно, как выглядели в оригинале, у автора их истоки.

Как выглядят неравенства Белла в оригинале?

Как выше было показано, неравенства Белла в литературе приводятся в разных видах. В таком случае возникает резонный вопрос, а как же они выглядели и, вообще, были ли они у автора этих неравенств, у самого Белла? В статье Белла, как можно заметить при внимательном анализе, нет ни одного выражения, хотя бы близко похожего на приведённые выше неравенства. Кратко рассмотрим его выкладки.

"В примере, приведенном Бомом и Аароновым, ЭПР-аргумент состоит в следующем.

Рассмотрим пару частиц с полужелым спином, сформированных в синглетном состоянии и движущихся свободно в противоположных направлениях. Измерения могут быть сделаны, например, с помощью магнитов Штерна-Герлаха на выбранных компонентах спина σ_1 и σ_2 . Если измерение компоненты $\sigma_1 \cdot \mathbf{a}$, где $\mathbf{a}$ - некоторый единичный вектор, дает значение +1, тогда, согласно квантовой механике, измерение $\sigma_2 \cdot \mathbf{a}$ должно дать значение -1 и наоборот. Теперь мы выдвигаем гипотезу [2], и это является, по крайней мере заслуживающим рассмотрения, что, если эти два измерения сделаны в отдаленных друг от друга местах, то ориентация одного магнита не влияет на результат, полученный на другом магните. Так как мы можем заранее предсказать результат измерения любой выбранной компоненты σ_1 , предварительно измерив ту же самую компоненту σ_2 , из этого следует, что результат любого такого измерения должен

быть фактически предопределен. Так как исходная квантово-механическая волновая функция *не определяет* результата индивидуального измерения, эта предопределённость подразумевает возможность большого набора состояний.

Давайте этот большой набор состояний определим посредством параметров λ . Совершенно безразлично, обозначает λ единственную переменную или их набор, или даже набор функций, и являются переменные дискретными или непрерывными. Однако мы примем, что λ - это единственный непрерывный параметр. Тогда результат А измерения $\sigma_1 \cdot \mathbf{a}$ зависит от $\mathbf{a}$ и λ , а результат В измерения $\sigma_2 \cdot \mathbf{b}$ в том же самом случае зависит от $\mathbf{b}$ и λ , и

$$A(\mathbf{a}, \lambda) = \pm 1, B(\mathbf{b}, \lambda) = \pm 1, \quad (1)$$

Главное в предположении [2] - это то, что результат В для частицы 2 не зависит от установки $\mathbf{a}$ магнита для частицы 1, как и А от $\mathbf{b}$.

Если $\rho(\lambda)$ - распределение вероятности λ , тогда ожидаемые значения совместного наблюдения этих двух компонент $\sigma_1 \cdot \mathbf{a}$ и $\sigma_2 \cdot \mathbf{b}$ равны

$$P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \int d\lambda p(\lambda) A(\mathbf{a}, \lambda) B(\mathbf{b}, \lambda) \quad (2)$$

Оно должно равняться квантово-механическому значению ожидания, которое для синглетного состояния равно

$$\langle \sigma_1 \cdot \mathbf{a} \sigma_2 \cdot \mathbf{b} \rangle = -\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \quad (3)$$

Однако будет показано, что это невозможно". [5, 32, 33, 44]

Заключительным выражением у Белла является следующее (опуская промежуточные выкладки, приведём лишь окончательный результат):

$$4(\epsilon + \delta) \geq |\mathbf{a} \cdot \mathbf{c} - \mathbf{a} \cdot \mathbf{b}| + \mathbf{b} \cdot \mathbf{c} - 1 \quad (22)$$

Для примера примем, что $\mathbf{a} \cdot \mathbf{c} = 0$, $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{c} = 1/\sqrt{2}$. Тогда

$$4(\epsilon + \delta) \geq \sqrt{2} - 1$$

Как видим, для любого малого конечного ϵ , δ не может быть произвольно малым.

Таким образом, значение квантово механического ожидания не может быть представлено ни точно, ни произвольно близко в форме (2)". [5, 32, 33, 44]

Полученное выражение (22), по существу, и следует считать оригиналом, источником неравенств Белла. Из этого неравенства следует вывод, что никакая статистическая теория с дополнительным параметром не может обеспечить с произвольной точностью

такой же корреляции, что и квантово-механическое уравнение. На основании проведённого анализа Белл и приходит к своему выводу о невозможности придерживаться статистических предсказаний в поведении частиц в ЭПР-парадоксе.

Как видим, оригинал так же отличается от множества других неравенств Белла, как и большинство этих неравенств отличаются друг от друга. В чём же дело? Означает ли это, что произошла подмена? Является ли она принципиальной в главном споре между нелокальностью и локальным реализмом с теориями дополнительных переменных? Видимо, принципиальных противоречий в различных формулировках неравенств Белла нет. Все они едины своим духом и, по сути, одинаково противостоят статистическим трактовкам явления запутанности квантовых частиц. Вкратце суть их можно сформулировать следующим образом. Если рассматривать события измерения двух удалённых друг от друга квантовых частиц, бывших до этого во взаимодействии, то статистические предсказания дают неверный результат. Эти предсказания исходят из того, что частицы ведут себя полностью независимо: результат измерения над одной частицей не оказывает влияния на результат измерения над другой частицей. Однако между этими измерениями существуют явно видимые соотношения, которые более связаны друг с другом, чем случайные события. Это явление, как отмечено выше, получило название нелокальности. Проще говоря, мы видим, что результат второго измерения зависит от результата первого измерения, мы отчётливо видим связь, зависимость между двумя измерениями. Но это противоречит специальной теории относительности, к тому же никто и никогда не наблюдал сигнала, с помощью которого частицы "передают" информацию друг другу. Эти противоречия со временем и привели к появлению понятия "нелокальность", которое в свою очередь является антагонизмом понятия "локальность" или в более широком смысле понятия "локальный реализм", который связывают с именем Эйнштейна.

Сущность нелокальности и локального реализма

Поскольку неравенства Белла тесно связаны с конфликтом между нелокальностью и локальным реализмом, рассмотрим противоречия между ними подробнее. В обзорной части своей статьи Белл пишет:

"Парадокс Эйнштейна, Подольского и Розена был выдвинут как аргумент того, что квантовая механика – теория не полная и в нее должны быть включены дополнительные переменные. Эти дополнительные переменные должны были вернуть в теорию причинность и локальность. Отметим, что идея будет сформулирована математически и будет показано, что она несовместима со статистическими предсказаниями квантовой механики. Главную трудность создает требование локальности, означающее, что результат измерения на одной системе не может зависеть от действий на отдаленной системе, с которой она взаимодействовала в прошлом. Предпринимались попытки показать, что даже без такой сепарабельности или требования локальности невозможны никакие интерпретации квантовой механики со "скрытыми переменными" [5, 32, 33, 44].

При желании можно найти описания этих попыток. Кроме того известна явно построенная интерпретация элементарной квантовой теории со скрытой переменной. Но и эта специфическая интерпретация на самом деле имеет чрезвычайно нелокальную структуру. Белл доказал, что эта нелокальность характерна для любой теории, которая точно воспроизводит квантово-механические предсказания.

По Эйнштейну результаты измерения частиц являются косвенно зависимыми. Это значит, что коррелированные значения состояния частиц возникают в момент запутывания частиц и сохраняется до конца опыта [34, 40]. То есть, случайные, но взаимосвязанные состояния частиц формируются к моменту их разделения. В дальнейшем они сохраняют полученные при запутывании состояния, и "хранятся" эти состояния в неких элементах физической реальности, описываемых "дополнительными параметрами".

"Но одно предположение представляется мне бесспорным. Реальное положение вещей (состояние) системы S_2 не зависит от того, что проделывают с пространственно отделённой от неё системой S_1 " [59, с.290].

"...так как во время измерения эти две системы уже не взаимодействуют, то в результате каких бы то ни было операций над первой системой, во второй системе уже не может получиться никаких реальных изменений" [60].

Эти представления впоследствии получили название "локального реализма". Как пишет Доронин:

"Насчет того, что понимать под нелокальностью в КМ, то в научной среде, я считаю, сложилось некоторое согласованное мнение на этот счет. Обычно под нелокальностью КМ понимают то обстоятельство, что КМ противоречит принципу локального реализма (его еще часто называют принципом локальности Эйнштейна).

Принцип локального реализма утверждает, что если две системы А и В пространственно разделены, тогда при полном описании физической реальности, действия, выполненные над системой А, не должны изменять свойства системы В" [20, 21].

Итак, две разделённые пространственно частицы образуют нелокальную систему: действия над одной из них не изменяют состояния другой, но при этом эти состояния частиц оказываются коррелированными, то есть *связанными* друг с другом. Следовательно, суть парадокса ЭПР состоит не только в утверждении неполноты квантовой механики, не только в утверждении о неполном описании волновой функцией состояния квантовых объектов, но и в противопоставлении в целом явления нелокальности и локального реализма.

Однако это пока лишь общие сведения, констатация факта противоречия нелокальности и теорий со "скрытыми переменными". Пока не вполне отчётливо видна роль "неравенств Белла" в разрешении этого противоречия. То, что в экспериментах эти неравенства нарушаются, хорошо известный факт. Но как происходит это нарушение? Почему всё-таки квантовая механика их не нарушает, а теории со "скрытыми переменными" нарушают?

Как "работают" неравенства Белла

Итак, две разделённые пространственно частицы образуют нелокальную систему: действия над одной из них не изменяют состояния другой, согласно запрету теории относительности, но при этом эти состояния частиц оказываются коррелированными, то есть *связанными* друг с другом. Следовательно, суть парадокса ЭПР состоит не только в утверждении неполноты квантовой механики, не только в утверждении о неполном описании волновой функцией состояния квантовых объектов, но и в противопоставлении в целом явления нелокальности и локального реализма.

Рассмотрим одно из наиболее удачных и компактных описаний "механизма" неравенств Белла в варианте Белла-Клаузера-

Хорна-Шимони в изложении Холево. Как он указывает, Белл, рассматривая мысленный эксперимент ЭПР, обратил внимание на глупокий и неожиданный вывод:

"если пытаться описывать корреляции измерений спинов двух частиц классически и в соответствии с принципом локальности, то оказывается невозможным достичь такого характера и уровня коррелированности, который соответствует предсказаниям квантовой механики. Более того, этот уровень коррелированности может быть количественно сформулирован и проверен экспериментально. Дадим точную формулировку...

Оказывается, что такая корреляция не может быть смоделирована никакой классической моделью составной системы, удовлетворяющей принципу локальности. Это вытекает из следующего неравенства Белла–Клаузера–Хорна–Шимони. Пусть $X_j, Y_k, j, k = 1, 2$ — случайные величины на произвольном вероятностном пространстве Ω , такие что $|X_j| \leq 1, |Y_k| \leq 1$. Тогда для любого распределения вероятностей на Ω корреляции этих величин удовлетворяют неравенству

$$|EX_1Y_1 + EX_1Y_2 + EX_2Y_1 - EX_2Y_2| \leq 2, \quad (2.7)$$

где E — соответствующее математическое ожидание.

Доказательство получается усреднением элементарного неравенства

$$-2 \leq X_1Y_1 + X_1Y_2 + X_2Y_1 - X_2Y_2 \leq 2.$$

Принцип локальности, или, лучше сказать, делимости в данной модели заключается в том, что физическая наблюдаемая для первой системы описывается одной и той же случайной величиной (X_1 в случае первых двух корреляций, X_2 в другом случае) независимо от того, какая величина — Y_1 или Y_2 измеряется во второй системе. Это условие кажется настолько естественным, что оно даже трудно уловимо. Однако именно оно запрещает мгновенное влияние измерения, произведенного в одной системе, на измерения в другой системе. Если от него отказаться, то интересующие нас четыре физические корреляции могут быть любыми величинами из отрезка $[-1, 1]$ ". [56]

Очевидно, что полученное неравенство справедливо. Никакие значения независимых случайных величин не позволят получить значения выражения, превышающего 2. Но, как утверждается, квантовые частицы в запутанном состоянии, тем не менее, нарушают

это неравенство. Каким образом – пока неясно. Рассмотрим механизм этого нарушения в работах Алена Аспекта [3, 4, 45].

Для теорий со скрытыми переменными Аспект приводит такую форму функции корреляции:

$$E(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \int d\lambda p(\lambda) A(\lambda, \mathbf{a}) B(\lambda, \mathbf{b}) \quad (12)$$

Отмечая, что есть много различных форм и демонстраций неравенств Белла, он предлагает рассмотреть выражение

$$s = A(\lambda, \mathbf{a}) \cdot B(\lambda, \mathbf{b}) - A(\lambda, \mathbf{a}') \cdot B(\lambda, \mathbf{b}) + A(\lambda, \mathbf{a}) \cdot B(\lambda, \mathbf{b}') + A(\lambda, \mathbf{a}') \cdot B(\lambda, \mathbf{b}') \quad (17)$$

$$= A(\lambda, \mathbf{a})[B(\lambda, \mathbf{b}) - B(\lambda, \mathbf{b}')] + A(\lambda, \mathbf{a}')[B(\lambda, \mathbf{b}) - B(\lambda, \mathbf{b}')] \quad (17)$$

Помня, что эти четыре величины A и B принимают только значение ± 1 , простой осмотр второй строки (17) показывает, что

$$s(\lambda, \mathbf{a}, \mathbf{a}', \mathbf{b}, \mathbf{b}') = \pm 2. \quad (18)$$

Среднее значение s по λ поэтому заключено между $+2$ и -2

$$-2 \leq \int d\lambda p(\lambda) \cdot s(\lambda, \mathbf{a}, \mathbf{a}', \mathbf{b}, \mathbf{b}') \leq 2. \quad (19)$$

Согласно (12), мы можем переписать эти неравенства

$$-2 \leq S(\lambda, \mathbf{a}, \mathbf{a}', \mathbf{b}, \mathbf{b}') \leq 2. \quad (20)$$

где

$$S(\lambda, \mathbf{a}, \mathbf{a}', \mathbf{b}, \mathbf{b}') = E(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - E(\mathbf{a}, \mathbf{b}') + E(\mathbf{a}', \mathbf{b}) + E(\mathbf{a}', \mathbf{b}') \quad (21)$$

Это и есть упоминавшиеся нами неоднократно BCHSH - неравенства, то есть неравенства Белла, выведенные Клаузером, Хорном, Шимони и Хольтом. Легко заметить их сходство с формой, приведённой Холево, что, в общем-то, очевидно. В экспериментах Аспекта они относятся к комбинации S из четырех коэффициентов корреляции поляризации, привязанным к двум направлениям анализа для каждого поляризатора ($\mathbf{a}$ и $\mathbf{a}'$ для поляризатора I, $\mathbf{b}$ и $\mathbf{b}'$ для поляризатора II). Аспект отмечает их общность: они применимы к любой теории с дополнительными параметрами в самой общей формы.

Далее Аспект приводит ещё одну форму неравенств Белла. Обращаем на это особое внимание: это неравенства, созданные не для теорий с дополнительными параметрами, а для квантовой механики. То есть существуют два класса неравенств Белла: для локальных теорий, приведённые выше, и для квантовой механики, которые мы сейчас получим. Для получения квантово-механических неравенств Белла Аспект использует такой же приём. Сначала он рассматривает квантово-механическое значение S

$$S_{QM}(\lambda, \mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{a}', \mathbf{b}') = \cos(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - \cos(\mathbf{a}, \mathbf{b}') + \cos(\mathbf{a}', \mathbf{b}) + \cos(\mathbf{a}', \mathbf{b}') \quad (23)$$

Это выражение является функцией трех независимых переменных $(\mathbf{a}, \mathbf{b})$, $(\mathbf{b}, \mathbf{a}')$ и $(\mathbf{a}', \mathbf{b}')$. По условиям задачи:

$$(\mathbf{a}, \mathbf{b}') = (\mathbf{a}, \mathbf{b}) + (\mathbf{b}, \mathbf{a}') + (\mathbf{a}', \mathbf{b}')$$

Найдём экстремум значения S_{QM} , приравняв нулю три частные производные

$$(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = (\mathbf{b}, \mathbf{a}') = (\mathbf{a}', \mathbf{b}') = \theta \quad (24)$$

и

$$\sin \theta = \sin 3\theta \quad (25)$$

Абсолютные максимумы и минимумы S_{QM} равны

$$S_{QM} = 2\sqrt{2} \text{ для } \theta = \pm \pi/8 \quad (26)$$

$$S_{QM} = -2\sqrt{2} \text{ для } \theta = \pm 3\pi/8 \quad (27)$$

Эти значения являются решением уравнения (25).

Итак, мы видим, что для квантовой механики значения модуля в неравенствах Белла несколько выше, чем для локальных теорий. Собственно говоря, в этом и заключается механизм "работы" неравенств Белла, сущность их нарушения. Эти неравенства, составленные для локальных теорий, не могут принимать значений, обеспечиваемых неравенствами, составленными для квантовой механики:

$$S_{QM} = 2\sqrt{2} \quad (22)$$

Как видим, это квантово-механическое предсказание определенно находится в противоречии с неравенствами Белла (20) которые имеет силу для любой теории с дополнительными параметрами. Другими словами, нарушаются не собственно неравенства Белла как таковые (не существует способа получить значение модуля, превышающее 2), а имеется два класса этих неравенств: локальные и квантово-механические. Они, понятное дело, имеют разные "планки", выше которых не поднимаются значения выражений S . Видимо, о нарушении неравенств разумнее говорить в другом смысле. Значение S для локальных теорий не превышает 2, а для квантовой механики – превышает. Все последующие эксперименты, направленные на проверку неравенств Белла, в сущности, преследовали одну цель: показать, что в реальных экспериментах неравенства Белла имеют верхнюю границу, соответствующую выражению (22). Другими словами, неравенства Белла (для локальных теорий)

не нарушаются, а просто не соответствуют реальному положению вещей, а сущность теоремы Белла состоит, в таком случае, в том, что невозможно найти (построить) теорию с дополнительными параметрами, которая была бы способна обеспечить такой же уровень *статистической* корреляции для всех случаев, что и квантовая теория.

Таким образом, главную, фундаментальную сущность неравенств Белла фактически можно свести к двум элементарным, по сути, тезисам. Во-первых, нужно смело отбросить лукавые представления об очевидно мистической сущности нелокальности и прямо заявить: два явления могут быть взаимозависимыми только при наличии сигнальной связи между ними. Мгновенность совпадения означает просто ограниченность теории относительности.

Во-вторых, теорема Белла, неравенства Белла, являются довольно замысловато сформулированной задачей из теории вероятностей, призванной доказать, что зависимые явления ведут себя иначе, чем независимые. Зависимые явления в принципе не могут быть описаны статистически. Это такие явления, "случайное" совпадение которых имеет вероятность, равную единице, это строго достоверное совпадение. И обратно, совпадение с единичной вероятностью, с достоверностью означает *зависимость*. Никакими изошренными выкладками невозможно доказать, что два зависимых события совпадают случайно, статистически. Например, вероятность выпадения определенной стороной любой из двух разных монет равна $1/2$, но это вовсе не означает, что в каждом отдельном измерении они обе выпадут одинаковой стороной. Это прямо следует из понятия вероятности: вероятность такого совпадения равна $1/4$. Или измерения двух фотонов с одинаковой поляризацией. Результаты каждого из двух измерений имеют одинаковую вероятность, но эти одинаковые *вероятности* результатов не означают тождественность, равенство *результатов* отдельных пар измерений. Экспериментально обнаруженное равенство результатов отдельных пар измерений фотонов достаточное основание для признания *зависимости* этих измерений, наличия *сигнала*, формирующего эту зависимость, и материального *носителя* этого сигнала, причем перемещающегося со скоростью, *превышающей* скорость света.

Добавим, что на основании своих выкладок Аспект делает два примечательных вывода. Он отмечает две гипотезы, которые с неизбежностью приводят к конфликту с квантовой механикой:

- корреляции на расстоянии могут быть поняты на основе введения дополнительных параметров для разделенных частиц, в духе идеи Эйнштейна о том, что различным частицам отвечает разные физические сущности.

- величины $A(\lambda, \mathbf{a})$, $B(\lambda, \mathbf{b})$ и $\rho(\lambda)$ отвечают *условию локальности*, т.е. они не зависят от ориентаций удаленных поляризаторов.

Вторая гипотеза Аспекта представляет особый интерес. Конфликт с квантовой механикой (и, соответственно, с результатами множества экспериментов) возникает, если *события* в удалённых системах не зависят друг от друга. Именно *события*, поскольку вероятности измерений на удалённых поляризаторах однозначно определяются ими. Это очевидное следствие утверждения (гипотезы) Аспекта: если бы вероятности на измерителях зависели от ориентаций удалённых от них поляризаторов, то конфликта с квантовой механикой не было бы. Другими словами, вероятность измерения одной квантовой частицы *зависит* от измерения другой, удалённой частицы.

Немного о зависимых и независимых событиях

Тем не менее, неизбежно возникает вопрос: насколько справедливы утверждения о зависимости между измерениями запутанных частиц, являются ли эти квантовые события зависимыми? Ведь по какой-то причине все квантовые физики убеждены, что эти события независимы. Главная причина такой уверенности состоит, конечно же, в нежелании отказываться от постулатов специальной теории относительности, провозгласившей предельность скорости передачи информации скоростью света. Любые скорости, превышающие скорость света, поднимают вопрос: скорости *чего*? То есть, неизбежно требует признания наличия и соответствующего носителя этой сверхсветовой скорости. Но носитель – это не иллюзорное понятие, это должно быть нечто осязаемое, материальное, очевидно, в виде частицы. Тахион. Но эта частица, как бы ни натягивали на неё релятивистский кафтан, разрушает все фундаментальные принципы науки: это и движение в прошлое, и петли времени, акаузальные парадоксы, нарушение причинности.

Очевидно, что первое из измерений запутанных частиц можно с полным правом назвать независимым. Нет никаких указаний на то, что значение вероятности равное $1/2$ может быть изменено ка-

ким-либо способом. Ничто не может повлиять на исход первого измерения: вероятность получения некоторого результата строго равна $1/2$. При любом измерении эта величина остаётся неизменной, то есть, на неё в принципе не оказывается никакого влияния. Либо это такое "влияние", которое никак не изменяет результат. Но этого нельзя сказать о втором измерении. Его результат *неопровержимо* зависит от результата первого измерения. Вероятность наступления некоторого результата во втором измерении однозначно определяется тем, какую поляризацию получит фотон в первом измерении. Есть некоторые установки (настройки) поляризаторов, при которых эта вероятность превращается в свою предельную форму – достоверность. То есть с достоверностью (вероятностью, равной единице) будет наблюдаться *заранее назначенный* результат. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим некоторые базовые положения классической теории вероятности.

Выше в данной статье мы привели высказывание Холево:

"Это условие ... запрещает мгновенное *влияние* измерения, проводящегося в одной системе, на измерения в другой системе" [56].

Мы специально выделяем слово "влияние", поскольку именно оно является ключевым, именно в нём, во влиянии заключено противоречие между нелокальностью и локальным реализмом. Давно известно, что квантовая механика предложила собственную, квантовую логику и собственную, квантовую теорию вероятностей. Поскольку собственно квантовой теории вероятности как таковой, видимо, нет, в роли такой теории выступает сама квантовая механика. Одним из знаменитых правил этой теории является следующее:

"Сложение волновых функций (амплитуд вероятностей), а не вероятностей (определяемых квадратами модулей волновых функций) принципиально отличает квантовую теорию от классической статистической теории, в которой для независимых событий справедлива *теорема сложения вероятностей*" [28, с.8].

Этот довод при объяснении ЭПР-парадокса можно встретить довольно часто. Отрицая зависимость событий, которая явно требует обмена сигналами, утверждается, что просто вероятности вычисляются по другим, квантовым правилам. Чтобы увидеть сходство или различие классического и квантового подходов к сложению вероятностей рассмотрим суть классической теоремы (правила) сложения вероятностей:

"Вероятность наступления в некоторой операции какого-либо одного (безразлично какого именно) из результатов $A_1, A_2, \dots, A_n$ равна сумме вероятностей этих результатов, если каждые два из них несовместимы между собой" [19].

Теорема сложения может быть представлена и в таком виде:

"Если события $A_1, A_2, \dots, A_r$ таковы, что каждые два из них несовместны, то вероятность их объединения равна сумме их вероятностей" [49].

Здесь под объединением событий понимается следующее. Событие В называется объединением (суммой) событий $A_1, A_2, \dots, A_r$ -, если оно имеет вид: "наступает или A_1 , или A_2 , ..., или A_r ".

"Суммой или объединением нескольких событий $A_1, A_2, \dots, A_n$ называется событие С, состоящее в том, что произошло хотя бы одно из событий $A_1, A_2, \dots, A_n$:

$$C = A_1 + A_2 + \dots + A_n". \quad [23, \text{с.35}]$$

Под совмещением событий $A_1, A_2, \dots, A_r$ понимается событие С, если оно имеет вид: "наступает и A_1 , и A_2 , ..., и A_r ". Иногда совмещение называют также произведением или пересечением событий. В частности, для двух событий:

"Произведением или пересечением событий А и В назовем событие, обозначаемое $A \cap B$ или АВ, которое происходит тогда и только тогда, когда происходят события А и В вместе" [48, с.3].

Напротив, несовместными событиями считаются события А и В, если их одновременное осуществление невозможно, то есть если не существует среди исходов испытания ни одного благоприятствующего и А и В. Как видим, теорема сложения вероятностей вплотную соприкасается с понятием зависимых событий, которые имеют очевидное отношение к отмеченному выше "мгновенному влиянию разделённых измерений" в выкладках Холево. Поскольку мы пытаемся показать, что квантовые события в ЭПР-парадоксе являются зависимыми, нам необходимо рассмотреть сущность зависимости случайных событий. Приведём классическое определение независимых событий, данное Колмогоровым [24, с.19]:

"Пусть даны n испытаний $\aleph^{(1)}, \aleph^{(2)}, \aleph^{(3)}, \dots, \aleph^{(n)}$ т.е. n разложений ($i = 1, 2, \dots, n$)

$$\Omega = A_1^{(i)} + A_2^{(i)} + \dots + A_{r_i}^{(i)}$$

основного множества Ω на сумму (непересекающихся) событий. Тогда можно задать $r = r_1 r_2 \dots r_n$ вероятностей

$$p_{k_1 k_2 \dots k_n} = \mathbf{P}(A_{k_1}^{(1)} + A_{k_2}^{(2)} + \dots + A_{k_n}^{(n)}) \geq 0$$

вообще произвольно при единственном условии

$$\sum_{k_1, k_2, \dots, k_n} p_{k_1 k_2 \dots k_n} = 1$$

О п р е д е л е н и е 1. Испытания $\aleph^{(1)}, \aleph^{(2)}, \aleph^{(3)}, \dots, \aleph^{(n)}$ будем называть *независимыми*, если для любых $k_1, k_2 \dots k_n$ имеет место равенство

$$p_{k_1 k_2 \dots k_n} = \mathbf{P}(A_{k_1}^{(1)} + A_{k_2}^{(2)} + \dots + A_{k_n}^{(n)}) = \mathbf{P}(A_{k_1}^{(1)}) \mathbf{P}(A_{k_2}^{(2)}) \dots \mathbf{P}(A_{k_n}^{(n)}) \geq 0$$

Похожие определения встречаются у современных авторов. Например:

"Если равенство

$$q(x) = \prod q_j(x_j) \quad (*)$$

верно для всех $x = (x_j) \in X$, то q называют *произведением* q_j и пишут $q = \prod q_j$. Если $q = \prod q_j$, то говорят, что случайные переменные f_j (*стохастически*) *независимы*, а если $q \neq \prod q_j$ – что (*стохастически*) *зависимы*". [46, с.37]

Очевидно, что условие независимости событий следует из так называемой теоремы умножения вероятностей: вероятность совместного наступления зависимых событий равна произведению их вероятностей. Аналогичная формулировка есть и у других авторов. Например, Садбери приводит такую:

"Пусть E и F – два *независимых* эксперимента, т.е. нет причинного влияния одного из них на другой и нет общего причинного влияния на оба этих эксперимента. Тогда, если $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ – возможные результаты эксперимента E (с начальным состоянием ψ) будет α_1 , а $\beta_1, \dots, \beta_n$ – результаты эксперимента F (с начальным состоянием ϕ), будет β_1 , равна

$$p_{E \oplus F} = (\alpha_i \text{ и } \beta_j | \phi \text{ и } \varphi) = p_E(\alpha_i | \phi) p_F(\beta_j | \varphi)" [47].$$

В более простом виде теорема умножения (совмещения) вероятностей может быть сформулирована следующим образом:

"Вероятность совмещения событий $A_1, A_2, \dots, A_r$ равна вероятности события A_1 , умноженной на вероятность события A_2 , взятую при условии, что A_1 наступило, ..., умноженной на вероятность события A_r при условии, что $A_1, A_2, \dots, A_{r-1}$ наступили. Для независимых событий теорема умножения приводит к формуле:

$$\mathbf{P}(A_1 \text{ и } A_2 \text{ и } \dots \text{ и } A_r) = \mathbf{P}(A_1) \cdot \mathbf{P}(A_2) \dots \cdot \mathbf{P}(A_r)" [49]$$

Формулировку теоремы умножения вероятностей (которая позволяет вычислить вероятность совмещения событий) для двух событий находим и у Феллера [53, с.122]:

$$P\{AH\} = P\{A|H\} \cdot P\{H\}.$$

В своей работе Феллер рассматривает ряд примеров с зависимыми и условными вероятностями и делает затем следующее уточнение:

"В приведенных выше примерах условная вероятность $P\{A|H\}$, вообще говоря, не была равна безусловной вероятности $P\{A\}$. Говоря грубо, знание того, что произошло событие H , изменяло нашу оценку шансов появления события A . Только в том случае, когда $P\{A|H\} = P\{A\}$, это знание не оказывает никакого влияния на оценку шансов появления события A . Мы будем говорить, что в этом случае событие A не зависит от события H " [53, с.131].

Обратим на это внимание: *знание об одном событии изменяет оценку шансов другого события*, что трактуется Феллером как зависимость событий.

"Далее, из формулы (1.5) следует, что условие $P\{A|H\} = P\{A\}$ можно записать в этом случае в форме

$$P\{AH\} = P\{A\} \cdot P\{H\}.$$

Это равенство симметрично относительно A и H и показывает, что если A не зависит от H , то и H не зависит от A " [48].

На этом основании Феллер в отношении независимых событий приводит такое, как он его назвал, симметричное определение:

"Если A не зависит от H , то и H не зависит от A . Поэтому мы предпочтем дать следующее симметричное

Определение 1. *Два события A и H называются независимыми, если они удовлетворяют соотношению:*

$$P\{AH\} = P\{A\} \cdot P\{H\}.$$

Это определение применимо и в случае $P\{H\} = 0$, когда условная вероятность $P\{A|H\}$ не определена". [53]

Для наглядности следом он приводит такой пример:

"Из колоды игральных карты вытаскивают наугад одну карту. Из соображений симметрии мы склонны ожидать, что события "трефа" и "туз" независимы. Действительно, их вероятности равны $1/4$ и $1/13$, а вероятность их одновременного осуществления равна $1/52$ ". [53]

Заметим, что справедлива и *обратная теорема*:

"Если для событий A и B выполняется равенство $P(AB)=P(A)P(B)$, то эти события независимы". [27]

Точно такое же определение независимости для двух событий находим у Черновой [57, с.34]:

Определение 19. *События A и B называются независимыми, если*

$$P(A \cap B) = P(A)P(B).$$

Отметим, что правило умножения вероятностей может иметь и ещё одну, несколько отличную от приведённых формулировку:

"Правило умножения. Вероятность совместного наступления двух событий равна произведению вероятности первого события на условную вероятность второго, вычисленную в предположении, что первое событие состоялось" [19, с.29].

И далее приводится уже знакомая нам особенность вероятностей независимых событий:

"Вероятность совместного наступления любого числа взаимно независимых событий равна произведению вероятностей этих событий" [19, с.32].

Для справки напомним определение достоверного события [15, с.5]:

"Достоверным называется событие U , которое в результате опыта непременно должно произойти.

$$P(U) = 1."$$

И вновь о событиях зависимых и независимых. Вентцель даёт определение независимых событий через условную вероятность одного события от другого:

"Условной вероятностью события A при наличии B называется вероятность события A , вычисленная при условии, что событие B произошло. Эта вероятность обозначается $P(A|B)$. События A и B называются независимыми, если появление одного из них не меняет вероятности появления другого. Для независимых событий

$$P(A|B) = P(A); P(B|A) = P(B)." [15, с.21]$$

Теорема умножения вероятностей звучит так:

"Вероятность произведения двух событий равна вероятности одного из них, умноженной на условную вероятность другого при наличии первого:

$$P(AB) = P(A) P(B|A)$$

или

$$P(AB) = P(B) P(A|B).$$

Для независимых событий А и В

$$P(AB) = P(A) P(B)."$$

Итак, теорема об умножении и обратная к ней теорема утверждают, что зависимыми событиями являются два события, для которых выполняется равенство:

$$P(AB) = P(A) P(B).$$

Теорема (правило) сложения вероятностей классической статистической теории, как отмечено, касается событий независимых. В противовес этому квантовое правило предлагает сложение амплитуд вероятностей. При этом утверждается, что события, амплитуды вероятностей которых складываются, являются независимыми и нелокальными. Однако выражения (уравнения) и результаты этих вычислений демонстрируют подобие зависимости между событиями. Анализ описаний множества экспериментов наводит на мысль, что описания содержат даже не завуалированную, а явно видимую зависимость событий. Поэтому квантовое правило сложения амплитуд вероятностей фактически является своеобразной попыткой скрыть эти зависимости.

Анализ квантово-механических аргументов

Теперь рассмотрим квантово-механические аргументы нелокальности с учетом положений классической теории вероятностей. В работе [3, 4, 45] Аспект делает следующее заключение:

"квантово-механические вычисления показывают, что хотя каждое индивидуальное измерение дает случайные результаты, эти случайные результаты коррелированы, как показывает уравнение (6). Для параллельной (или перпендикулярной) ориентации поляризаторов корреляция полная ($|E_{QM}| = 1$)".

Под термином "корреляция" скрывается обычное понятие: взаимозависимы. То есть каждый из результатов измерения случаен, а друг с другом они строго взаимосвязаны. Как бы ни формулировались принципы квантовой теории вероятностей, уйти от базовых принципов классической вероятности невозможно. Проведём аналогию с подбрасыванием монеты. Производим многократные подбрасывания монет и регистрируем два события: верхнюю сторону монеты и нижнюю сторону монеты. Очевидно, что каждое измерение даёт абсолютно случайный результат: сверху с вероятностью $1/2$ оказывается либо орёл, либо решка. Снизу с вероятностью

$1/2$ оказывается либо решка, либо орёл. Но оба измерения строго коррелированы, причём корреляция полная. Если следовать квантовой логике, то нам следовало бы считать, что эти два события независимы. Либо, вот ведь ирония, назвать две стороны монеты находящимися в состоянии запутанности. Более того, пока монета в воздухе, её состояние не определено и полностью описывается квантовым принципом суперпозиции, а самой монете мы можем с полной серьёзностью приписать волновую функцию. Правда, сверхсветовая корреляция здесь явно не видна, но очевидно, что состояния двух измерений возникают мгновенно-одновременно.

Можно ли утверждать, что их поведение двух сторон монеты полностью независимы? Если да, то такое утверждение однозначно описывает нелокальность. Однако, можно предложить ещё два описания поведения сторон монеты. Одна из сторон передаёт второй какой-то сигнал, по которому вторая сторона ориентируется точно как надо. Другое описание предполагает некоего третьего участника, который контролирует падение монеты и обеспечивает точно совпадающий итог. Оба описания свободны от нелокальной мистики. Но во втором случае легко допустить, что сверхсветовой сигнал все-таки существует, что явно подрывает устои специальной теории относительности.

Нетрудно заметить, что в рассмотренном эксперименте с монетой неравенства Белла будут нарушены для любой теории со скрытыми переменными. Напомним, что речь идёт о двух сторонах одной и той же монеты [36], а теории со скрытыми параметрами должны, в сущности, отражать тот факт, что две стороны монеты жестко связаны друг с другом.

Рассмотрим теперь весьма показательные выводы, основанные на реальном физическом эксперименте и выведенные Аспектом на примере оптического варианта мысленного эксперимента ЭПР в версии Боба в статье:

"немедленно после первого измерения фотон v_1 получает поляризацию $|a\rangle$: это очевидно, потому что это было измерено поляризатором, ориентированным по a , и был получен + результат. Более удивительно, отдаленный фотон v_2 , который еще не взаимодействовал ни с каким поляризатором, также спроектировался в состояние $|a\rangle$ с определенной поляризацией, параллельной той, которая найдена для фотона v_1 ". [3, 4, 45]

Формулировки исключают любые двусмысленности: измерение первого фотона приводит к проектированию второго фотона в определённое состояние. Это не что иное, как зависимость одного измерения от другого. Подчеркнём, что измерение первого фотона произошло в одной точке пространства, а второй фотон спроектировался в определённое состояние в другой точке пространства. То есть действия, выполненные над первым фотоном, привели к изменению во втором фотоне, находящемся на удалении от первого. Квантовая механика предлагает называть это нелокальностью, поскольку *не может* признать наличие сигнала, с помощью которого действия над первым фотоном были переданы на второй фотон. Однако факт влияния на второй фотон удалённого от него измерения отмечается отчётливо:

" i. Фотон v_1 , который не имел явно определенной поляризации перед ее измерением, получает поляризацию, связанную с полученным результатом, во время его измерения: это не удивительно.

ii. Когда измерение на v_1 сделано, фотон v_2 , который не имел определенной поляризации перед этим измерением, проектируется в состояние поляризации, параллельное результату измерения на v_1 . Это очень удивительно, потому что это изменение в описании v_2 происходит мгновенно, безотносительно расстояния между v_1 и v_2 в момент первого измерения". [3, 4, 45]

Отметим и мы это ещё раз, акцентируя внимание на самом главном, зависимости состояния второго фотона от измерения, произведённого над первым: *когда измерение v_1 сделано, фотон v_2 проектируется*. Для классической теории вероятности и формальной логики – это рядовое явление. Происходит одно событие, затем происходит второе. Если не произошло первое, то не происходит второе. Первое – причина, второе – следствие. Но для квантовой механики это недопустимо:

"Эта картина находится в противоречии с относительностью. Согласно Эйнштейну, событие в данной области пространства-времени не может находиться под влиянием события, произошедшего в пространстве-времени, которое отделено пространственно-подобным интервалом. Неразумно пытаться найти более приемлемые картины, чтобы "понять" ЭПР-корреляции". [3, 4, 45]

Странно видеть в качестве довода утверждение: "неразумно пытаться". Разумнее безосновательно, бездоказательно ввести фактически абсурдное понятие, не противоречащее теории относитель-

ности, но противоречащее логике и теории вероятности: нелокальность. Это можно понять: квантовая механика стремится сохранить справедливость специальной теории относительности. Но удалось ли это ей? Описывая удивительные свойства коррелированных фотонов, Аспект отмечает:

"Это удивительное заключение, однако, ведет к правильному заключительному результату (3), начиная с прямого применения закона Малуса, что последующее измерение, выполненное по **b** на фотоне ν_2 будет вести к

$$P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{1}{2} \cos^2(\mathbf{a}, \mathbf{b})". [3, 4, 45]$$

Присмотримся и мы к этому закону. В изложении Аспекта мы видим некоторый логический интервал, провал, обрыв линии рассуждений. В начале фрагмента отчётливо и недвусмысленно отмечено *первое событие*: измерение поляризации фотона ν_2 . Мы вправе задаться вопросом, а что на самом деле является *вторым событием*? Рассмотрим выражение (4) в статье Аспекта [3, 4, 45]:

$$P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{a}) = P_{--}(\mathbf{a}, \mathbf{a}) = \frac{1}{2}$$

$$P_{+-}(\mathbf{a}, \mathbf{a}) = P_{-+}(\mathbf{a}, \mathbf{a}) = 0$$

Нас интересует в первую очередь система обозначений, принятая в статье. А именно, что обозначает выражение $P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{a})$? Из текста статьи следует, что это вероятность совместного обнаружения фотонов в ++ каналах поляризаторов, когда $\mathbf{a}=\mathbf{b}$. В законе Малуса эти направления не равны, поэтому величина $P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ обозначает вероятность обнаружить фотоны в ++ каналах поляризаторов в направлениях **a** и **b**. Следовательно, события, которые описывает закон Малуса, это два события: обнаружение первого фотона ν_1 поляризатором I в направлении **a** в канале +, и обнаружение второго фотона ν_2 в поляризаторе II в направлении **b** в канале +. То есть мы утверждаем, что вторым событием является событие, аналогичное первому, - измерение поляризации фотона ν_2 , поскольку суть измерений в данном эксперименте заключается в определении поляризации каждого из двух фотонов. При этом основным, главным результатом мы по-прежнему считаем вероятность наступления совместного события $P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{b})$. Нам предлагают, что все эти сведения заключены в выражении закона Малуса. Но это не верно, это является очень хорошо закомуфлированной подменой понятий, по-

сколько $P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ – это не вероятность наступления второго события. Это вероятность совместного наступления двух событий: регистрации обоих фотонов в каналах $++$. Выше в выражении (2) статьи [4] было показано, что существуют "одионые вероятности" индивидуальных измерений на фотонах v_1 и v_2 :

$$P_+(\mathbf{a}) = P_-(\mathbf{a}) = 1/2$$

$$P_+(\mathbf{b}) = P_-(\mathbf{b}) = 1/2$$

Это два самостоятельных, индивидуальных измерения, каждое из которых имеет свою собственную, самостоятельную, индивидуальную вероятность. И нас интересует совместная вероятность наступления этих двух индивидуальных событий. Как было показано выше, эта вероятность вычисляется по-разному, что определяется тем, зависимы эти два события или независимые. Рассмотрим ещё раз уравнение закона Малуса. Слева, как мы утверждаем, записана вероятность совместного наступления двух событий – измерений над двумя фотонами. Справа, утверждаем мы, – произведение двух вероятностей: $1/2$ и $\cos^2(\mathbf{a}, \mathbf{b})$. На каком основании мы трактуем эти величины как вероятности? К этому имеется две причины. Первая: результирующая вероятность является произведением, поэтому оба сомножителя мы имеем полное право рассматривать как вероятность некоторого события. Вторая: каждый из сомножителей имеет полное сходство с вероятностью хорошо известных квантовых событий. А именно. В полном соответствии с выражением (2) статьи Аспекта мы рассматриваем величину $1/2$ как вероятность индивидуального измерения над первым фотоном. И по такой же причине второй сомножитель трактуется как вероятность наступления второго из двух событий: $\cos^2(\mathbf{a}, \mathbf{b})$, только под углом $(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ подразумевается угол между поляризацией второго фотона и направлением ближайшего к нему поляризатора. Из квантовой механики известно: вероятность того, что фотон пройдет через поляризатор, определяется уравнением:

$$P(\theta) = \cos^2(\theta) \quad (9)$$

где:

θ – угол между поляризацией фотона и поляризатора.

Мы считаем это сходство не простой случайностью, совпадением, а закономерным отражением условий эксперимента.

Итак, мы приходим к уверенности, что вероятность совместного наступления двух описанных событий $P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ равна произведению вероятности наступления каждого из событий. Это выражение отражает известный, отмеченный выше стандартный факт из теории вероятности о совместном наступлении двух *независимых событий*. В нашем случае это означает ни что иное, как *априори признание* этих двух событий независимыми. Казалось бы, это полностью соответствует квантово-механическим представлениям о нелокальности: выражение трактуется именно так, как этого и требует квантовая теория.

Но именно здесь и скрыта "главная тайна" нелокальности. Дело в том, второе из двух событий – это совсем не то событие, которое должно быть рассмотрено, проанализировано в этом эксперименте. Это либо подмена понятий, либо ошибка. Ведь на самом деле вероятность регистрации второго фотона описывается выражением (2), а не выражением (9). То есть, выражение (8) должно иметь совершенно иной вид:

$$P_{++}(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \quad (10)$$

Именно это выражение, а не выражение закона Малуса отражает реальный факт вероятности наступления двух действительно независимых событий: регистрации каждого из фотонов (необходимо заметить, что существует выражение, более приближенное к условиям запутанности [43], но использование данного выражения вполне допустимо). И именно это выражение является по существу основой для вывода неравенств Белла для теорий с дополнительными параметрами.

Очевидно, что выражение (10) в эксперименте нарушается, а правильные результаты даёт использование выражения (8). Из этого с неизбежностью следует одно из двух утверждений: либо два события являются *зависимыми* либо правило умножения вероятностей стандартной теории вероятности (колмогоровской) ошибочно. Да, известно о существовании так называемой неклассической квантовой теории вероятности. Но, похоже, эта неклассичность состоит в простом отрицании положения теории вероятности, "подгонке" квантово-механического решения под экспериментальный ответ. Действительно, явление запутанности легко объяснимо с точки зрения классической теории вероятности. Выражение (8) с

очевидностью отражает тот факт, что два измерения над фотонами являются *зависимыми*. В этом случае второе из событий, "правильное", действительно независимое подменяется на другое событие, которое по отношению к первому измерению является независимым лишь косвенно, при соблюдении некоторых условий (соблюдение лоренц-инвариантности). Каким бы ни было первое измерение, над первым фотоном, результат второго, подменённого измерения является по отношению к нему *независимым только после перехода второго фотона в определённое состояние поляризации*. Только после того, как второй фотон спроецировался в состояние с определённой поляризацией, два новых совместных события измерений становятся независимыми. Но сам по себе переход второго фотона в состояние с определённой поляризацией однозначно зависит от первого измерения, то есть является событием достоверным.

Попробуем теперь ответить на вопрос, сформулированный выше: введением понятия нелокальность квантовая механика стремится сохранить справедливость специальной теории относительности. Удалось ли ей это?

Квантовая механика против СТО

Хотя корреляция квантовых частиц и имеет все видимые признаки зависимости состояний друг от друга, но никакого сигнала, создающего эту зависимость, не обнаружено. Считается, что невозможно использовать мгновенность коллапса для осуществления сверхсветовой передачи сигнала. Например, хорошо ныне известное явление квантовой телепортации возможно лишь при наличии классического, досветового канала связи. Вместе с тем всё-таки существует одна принципиальная возможность использования сверхсветовой скорости коллапса волновой функции для проверки релятивистского замедления времени [31]. Это довольно удивительное следствие явно обнаруженной зависимости между событиями в ЭПР-парадоксе. Предположим, что измерители состояния частиц установлены в двух ИСО. Нет видимых технических препятствий к тому, чтобы в них находились по одной из множества пар запутанных частиц (например, электроны). Нет принципиальных ограничений к тому, чтобы эти электроны сохраняли свою связь достаточно длительное время, что позволило бы провести эксперимент самым наглядным способом. Спроектируем эксперимент таким образом,

что измерения производятся одновременно с точки зрения третьей, симметричной ИСО. Для этой ИСО электроны "входят" в измерители практически одновременно, поскольку длина одного измерителя выбрана чуть больше другого. Это необходимо для того, чтобы задать определённую последовательность измерения частиц: какая из них вызывает коллапс волновой функции, а какая перед измерением уже получила собственное состояние. Такая схема позволяет утверждать, что обе квантовые частицы получили свои состояния с точки зрения третьей ИСО непосредственно в измерителях. То есть место, где каждая из частиц получила собственное состояние, известно. Понятно, что нет и не может быть никакой другой ИСО, с точки зрения которой частица получила собственное состояние в другом месте, вне измерителя.

Произведём измерение последовательности частиц с одинаковым интервалом с точки зрения нашей третьей, симметричной ИСО. С её точки зрения обе ИСО получают строго коррелированные результаты, последовательность которых обозначим нулями и единицами. Это означает, что собственно измерительный прибор, регистрируя состояние квантовой частицы, должен на выходе давать явно различимый макроскопический сигнал: отклонение стрелки прибора, вспыхивание лампочки или электрический импульс в регистраторе. Последовательности в соответствии с положениями квантовой механики, как отмечено, будут строго коррелированными (при определённой настройке – тождественными). Как указано выше, интервал между измерениями с точки зрения третьей ИСО один и тот же в каждой из подвижных. Допустим, что он равен 1 секунде с точки зрения ИСО А. Очевидно, что вследствие симметрии с точки зрения ИСО В этот интервал также равен 1 секунде.

Парадокс состоит в том, что с точки зрения ИСО А интервалы между импульсами в ИСО В тоже равны 1 секунде, то есть никакого замедления времени в движущейся ИСО нет. Это следует из того, что наблюдателю А точно известно: удалённая квантовая частица получила своё состояние строго в измерителе В и при этом *мгновенно одновременно* с измерителем А. Это означает полное совпадение последовательностей и интервалов макроскопических сигналов регистраторов, то есть отсутствие замедления времени.

Поскольку нет также технических препятствий для традиционной проверки синхронности хода часов в ИСО А и В, возникает абсурд: два взаимоисключающих результата в одном и том же экс-

перименте. Мгновенность коллапса волновой функции требует признания синхронности хода часов, а эффекты Лоренца – признания их взаимного отставания (для каждой из ИСО). Разрешение его возможно только при отказе от одного из положений: мгновенности коллапса или релятивистского замедления времени.

Кроме того, симметричность последовательностей (или даже их тождество) сигналов измерителей в обеих подвижных ИСО позволяет мгновенно синхронизировать их часы. Для этого должны быть обговорены, например, определённые "сигнатуры" (последовательности) сигналов, по которым часы должны быть сброшены в нулевые показания. Можно использовать также и простой отсчёт числа импульсов (считая, что ни одна квантовая пара не потеряна). Поскольку волновая функция коллапсирует мгновенно на всём пространстве, то и сигнатуры и количества импульсов будут получены в каждой ИСО также мгновенно-синхронно. Как видим, квантовая механика противоречит специальной теории относительности, позволяя производить синхронизацию часов вопреки ей. С другой стороны, квантовая нелокальность имеет все видимые атрибуты передачи сигнала: поскольку два удалённых объекта ведут себя *ощутимо* (экспериментально определимо) взаимозависимо.

Итак, Белл показал, что отсутствие зависимости (физической) между величинами, то есть их чистая (математическая) статистическая независимость, не могут объяснить квантово-механическую корреляцию. Но он отрицал также и наличие такой зависимости, поскольку этого не допускает СТО. Эйнштейн тоже отрицал зависимость между частицами на основании запрета теории относительности. Но и дальниедействия он тоже не допускал. Обвинив квантовую механику (волновую функцию) в неполноте, он, тем не менее, не предложил никакого другого объяснения этому явлению.

Вследствие этой неполноты, незавершённости единственное "объяснение" - нелокальность приобретает все черты абсурда: утверждается, что между объектами нет взаимодействия, но признаётся, что ведут они себя совсем не таким образом, будто этого взаимодействия нет. Квантовая механика заменила классическую логику на логику квантовую, заменила классическую теорию вероятности на квантовую, заменив классический закон сложения вероятностей взаимоисключающих друг друга (с классической точки зрения) событий (например, в двухщелевом эксперименте) на суммирование амплитуд вероятностей, заменила классические пред-

ставления о зависимых событиях (запутанные частицы) на квантовую нелокальность. Подобные замены традиционно приводят к появлению сомнений в познаваемости мира [50]:

"Все это рождает философскую проблему *принципиальной непознаваемости мира с помощью точных методов*. Научный метод, до сих пор строящийся в основном на принципах редукционизма, хорошо вскрывает детали и механику явлений, порождая успех практического применения полученных результатов, например, в технике. Однако сама причина, суть, природа этой механики, остается за пределами рассмотрения. Поэтому *современная физика, превратилась, по сути дела, в продолжение математики, совершенно утратив все надежды на понимание природы изучаемых явлений*. Мы знаем, какими уравнениями описывается явление, но не понимаем, что оно из себя представляет. Красота уравнений полностью вытеснила из физики все попытки понять их суть".

Вместе с тем существует куда более простое и более разумное, чем нелокальность, объяснение: это наличие сверхсветовой передачи так называемой квантовой информации, то есть информации не вещественного, не полевого рода. Возможность передачи такой информации допускается материально-эфирной трактовкой реальности [35, 38].

Было бы несправедливо в заключение не привести доводы несогласных с подобным подходом к понятию нелокальности квантовой механики, "неравенствам Белла" и материи:

"Вроде бы, можно успокоиться и жить. Жить долго и счастливо. Так и было в течение многих лет после проведения проверочных экспериментов. Так было до того самого момента, пока какому-то "умнику" не пришлось в голову сделать чудовищный по своей нелепости вывод - "удаленные друг от друга квантовые частицы обмениваются информацией, причем эта информация передается со скоростью, большей скорости света в пустоте"....

Я не знаю и не хочу знать, кто первым сказал эту глупость, но она пошла гулять по свету. Люди находят соответствующие "научные" и "популярные" тексты в интернете. Балдеют от восторга, а некоторые даже приходят в мой самиздатовский раздел, поделиться новостями. От них я и узнал об этом великом научном открытии - телепатии в квантовом мире. Я довольно долго терпел, а потом не выдержал и написал этот текст". [17]

Литература Изгибы Млечного Пути

1. NASA, California Institute of Technology, Milky Way, URL:
http://www.spitzer.caltech.edu/uploaded_files/graphics/fullscreen_graphics/0008/5179/ssc2008-10a1_Sm.jpg
2. Nave C.R., сайт HyperPhysics. Milky Way Galaxy, URL:
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/astro/galax.html>
3. Анимации к рисункам, URL:
<http://fileload.info/users/Animator/175/MilkyWay>
<https://cloud.mail.ru/public/53yN/D5NjFERna>
<https://yadi.sk/d/rEIHcW5N3GZniH>
4. Изображение галактики Млечный Путь, URL:
<http://www.astrosurf.com/astrogege/imasite/11/1.jpg>
5. Кеплеровская кривая вращения за пределами рукавов, URL:
<http://astronomy-ru.livejournal.com/1735.html>
6. Кеплеровская кривая вращения планет в солнечной системе, URL: <http://www.euhou.net/docupload/files/radiosweden.pdf>
7. Кривые дифференциального вращения галактик, URL:
http://ru.science.wikia.com/wiki/Скрытая_масса
8. Кривые скоростей вращения звёзд галактики Млечный Путь, сайт Astrophysics, The University of Mississippi, URL:
http://www.phy.olemiss.edu/~cavaglia/courses/Astr_325/extra/galrot.gif
9. Наблюдаемая кривая вращения галактики Млечный Путь, URL:
<https://web.njit.edu/~gary/321/Lecture19.html>
10. Обозначение рукавов галактики Млечный Путь, URL:
http://birmaga.ru/dosta/Солнечная%20система%20Солнце%20—%20звезда%20в%20галактике%20Млечный%20Пути/36992_html_m12093f84.jpg
11. Смаглюк Д., Карта галактики Млечный Путь, URL:
http://dlux.ru/wp-content/uploads/2014/03/1024px-Milky_Way_full_annotated_russian.jpg
12. Фактическая Кривая вращения и движение по Кеплеру, URL:
<http://www.astro.ufl.edu/~vicki/AST3019/MilkyWay.ppt>
13. Элементы. Новости. Ледниковые периоды, возможно, связаны с прохождением Солнечной системы через звездные облака, URL:
<http://elementy.ru/news?newsid=164647>

Литература Белые пятна Черных дыр

1. Hawking S.W., Particle creation by black holes. Commun. math. Phys. 43, 199 - 220 (1975). URL: <http://projecteuclid.org/euclid.cmp/1103899181>
2. Анимации к рисункам, URL: <https://drive.google.com/open?id=0B0uM56-EnG4ZdXQyYmpMZEpf1U>
<https://cloud.mail.ru/public/Ayvq/SuZqSNFVX>
https://yadi.sk/d/YP_u4ryy3GrtJd
3. Астрономы установили максимально возможную массу черных дыр – и она просто огромна, URL: <https://naked-science.ru/article/sci/astronomy-ustanovili-maksimaln>
<https://arxiv.org/abs/1511.08502>
4. Баско М.М., Адиабатический процесс, URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1190211>
5. Богородский А.Ф. Всемирное тяготение. – К.: Наук. думка, 1971. – 354 с., URL: www.booksshare.net/books/physics/bogorodskiy-af/1971/files/vsemirnoetyagotenie1971.djvu
6. Вергелес С.Н. - Лекции по теории гравитации. Учебное пособие. - М., МФТИ, 2001.- 428с.
7. Вырожденный газ, Википедия, URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый_газ
8. Гончарова Н.Г., Модель Ферми-газа (ФГМ). ФГМ в астрофизике, URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nucmodl/nml06.htm>
9. Горуневич В., Нейтрон, URL: <https://sites.google.com/site/gorunovichvladimir/home/russkij/elementarnye-casticy/spisok-castic/bariony/nejtron>
10. Гравитационная сингулярность. Википедия, URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гравитационная_сингулярность
11. Звёздные Чёрные Дыры, URL: <http://cunc.ru/stellar-black-holes.html>
12. Имшеник В.С., Гравитационный коллапс, URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1191764>
13. Канарев Ф.М., Нейтрон, SciTechLibrary, 2013, URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12585.html>

14. Катанаев М.О., Общая теория относительности и геометрическая теория дефектов, НОЦ при МИАН, Спецкурс на весенний семестр 2013/2014, URL:
http://www.mi.ras.ru/noc/13_14/2/lectures.10.03.14.pdf
15. Кауфман Уильям Дж., "Космические рубежи теории относительности. М.: "Мир", 1981, 352с., URL:
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/kaufman.pdf>
<http://www.astronet.ru/db/msg/1174703/kaufman-08/kaufman-08.html> (главы из книги)
16. Куликов И., Стопка дисков от Земли до Луны, URL:
https://www.gazeta.ru/science/2011/02/14_a_3524166.shtml
17. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособие.: Для вузов. В 10 т. Т. II. Теория поля.— 8-е изд., стереот.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, (Т. II).
18. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособие.: Для вузов. В 10 т. Т. IX / Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Статистическая физика. В 2 ч. Ч. 2. Теория конденсированного состояния. — 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
19. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособие.: Для вузов. В 10 т. Т. V. Статистическая физика. Ч. I. — 5-е изд., стереот.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, (Т. V).
20. Левин А., Удивительная история Черных дыр, «Популярная механика» №11, 2005, URL: <http://elementy.ru/lib/164648>
21. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж., Гравитация, том 3. – М.: «Мир», 1977
22. Миронова И.В., Белые карлики и нейтронные звезды, URL:
http://www.astronet.ru/db/msg/1170638/evolution/hr_diagram/wd.htm
23. Нейтрон, Викизнание, URL:
<http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Нейтрон>
24. Нейтронная звезда, Wikia, URL:
http://ru.science.wikia.com/wiki/Нейтронная_звезда
25. Новиков И. Д., Черные дыры и Вселенная. – М.: Мол. гвардия, 1985. – 190 с., ил. – (Эврика), URL:
<http://rusnauka.narod.ru/lib/phisic/blackwhole/Novik/blackn.htm>
26. Новиков И.Д., Релятивистский гравитационный коллапс, URL:
<http://www.astronet.ru/db/msg/1188636>

- 27.Новиков И.Д., Фролов В.П., Физика Черных дыр. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986, 328 с., URL:
<http://mexalib.com/download/22371>
- 28.Об истинных размерах Черных дыр на пальцах, страница пользователя sly2m на livejournal, URL:
<http://sly2m.livejournal.com/660502.html?thread=12401942>
- 29.Оппенгеймер Ю., Волков Г., О массивных нейтронных сердцевинах, в сб. статей Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979, с.337
- 30.Основы теоретической физики. Конспект обзорных лекций. Явление Бозе-конденсации. Понятие о сверхтекучести. //Автор-сост. И.И. Хвалченко. – Елабуга: ЕГПУ, 2008, URL:
http://studopedia.ru/2_59878_yavlenie-boze-kondensatsii-ponyatie-o-sverhtekuchesti.html
- 31.Патинскас В., Сколько галактик во Вселенной?, URL:
<http://spacegid.com/skolko-galaktik-vo-vselennoy.html>
- 32.Пенроуз Р., Структура пространства-времени. Пер. с англ. Л.П.Гришука и Н.В.Мицкевича, под ред. акад. Я.Б.Зельдовича и И.Д.Новикова, с послесловием Р.Пенроуза. – М.: Мир, 1972
- 33.Планеты внутри Черной дыры, URL:
<http://lenta.ru/articles/2011/05/11/holes/>
- 34.Постнов К.А., Вырожденный газ, ГАИШ, Москва, URL:
<http://www.astronet.ru/db/msg/1162150>
- 35.Постнов К.А., Лекции по Общей Астрофизике для Физиков. 7.2. Вырождение вещества, URL:
<http://www.astronet.ru/db/msg/1170612/7lec/node3.html>
- 36.Предел Оппенгеймера – Волкова, Википедия, URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Предел_Оппенгеймера_-_Волкова
- 37.Путенихин П.В., Белые пятна Черных дыр, Электронный периодический рецензируемый научный журнал «SCI - ARTICLE.RU», No36 (август) 2016, с.161-172, URL:
http://sci-article.ru/number/08_2016.pdf
- 38.Путенихин П.В., Динамические диаграммы Пенроуза, 2016, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/dp06.shtml
- 39.Путенихин П.В., Как убежать из-под горизонта Черной дыры, 2015, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/escape.shtml
- 40.Путенихин П.В., Нужна ли сингулярность Черной дыре и общей теории относительности?, 2015, URL:
http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/singular.shtml

- 41.Путенихин П.В., О количестве информации на горизонте Черной дыры, URL:
http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/infobh.shtml
- 42.Путенихин П.В., Происхождение Вселенной – гипотеза о веществе-лилизации материи, URL:
http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/universe.shtml
- 43.Путенихин П.В., Путешествие под горизонт Черной дыры с возвратом, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/tonnel.shtml
- 44.Путенихин П.В., Темная материя Млечного пути, URL:
http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/mw_037.shtml
- 45.Путенихин П.В., Тёмная энергия - гипотеза о происхождении, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/energy.shtml
- 46.Путенихин Показательная функция для 2м-диаграммы Пенроуза, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/exp33.shtml
- 47.Пушкин А.С., Сказка о царе Салтане, URL:
<http://lib.ru/LITRA/PUSHKIN/saltan.txt>
- 48.Садовский М.В., Лекции по статистической физике, Институт Электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, 1999 г.
- 49.Сасскинд Леонард, Битва при Черной дыре. Мое сражение со Стивеном Хокингом за мир, безопасный для квантовой механики. — СПб.: Питер, 2013. — 448 с.
- 50.Сингулярность. Википедия, URL:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Сингулярность>
- 51.Слоэн Н. Дж. А., Упаковка шаров, URL:
<http://ega-math.narod.ru/Nquant/Spheres.htm>
- 52.Тёмная материя может увеличивать допустимую массу нейтронных звёзд. Компьюлента, 2012, URL:
<http://science.compulenta.ru/702844/>
<http://arxiv.org/pdf/1208.3722v1.pdf>
- 53.Точки Лагранжа. Википедия, URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Точки_Лагранжа
- 54.Фиткевич М.Д., Диаграммы Пенроуза, сайт "Блог друга Винера", 2015, URL:
<https://theormax.wordpress.com/2015/09/15/диаграммы-пенроуза>
- 55.Фролов В. П., Введение в физику Черных дыр. – М.: Знание, 1983. – 64 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Физика»; № 1), URL: http://dl.krelib.com/files/5269/physics/Black_Frol.djvu
- 56.Хокинг С., Пенроуз Р., Природа пространства и времени. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000.

57. Хокинг С., Черные дыры и молодые вселенные [пер. с англ. М. Кононова]. — СПб.: Амфора. ТИД Амфора, 2009. — 166 с.
58. Хокинг С., Эллис Дж., Крупномасштабная структура пространства-времени. М.: «Мир», 1977.
59. Черепашук А. М., Чернин А. Д., Вселенная, жизнь, Черные дыры. — Фрязино: «Век 2», 2004. — 320 с. — (Наука для всех).
60. Черная дыра, загадки гравитации, URL:
<http://www.b-i-o-n.ru/theory/chnajaja-dyra-zagadka-gravitacii>
61. Юнгельсон Л.Р. Эволюция звезд, URL:
<http://www.astronet.ru/db/msg/1188340>
62. Томилин К.А., Планковские величины. 100 лет квантовой теории. История. Физика. Философия. Труды международной конференции. М.: НИИ-Природа, 2002, с.105-113.

Литература Догмы квантовой механики

1. Aspect A., Dalibard J., Roger G., Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analysers. – Phys. Rev. Lett. 49, 25, (1982), http://kh.bu.edu/qcl/pdf/aspect_a1982707d6d64.pdf
2. Aspect A., Grangier P., Roger G., "Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities", PRL, V.49, N.2, 1982
3. Aspect A. "Bell's theorem: the naive view of an experimentalist", 2001, (http://quantum3000.narod.ru/papers/edu/aspect_bell.zip):
4. Aspect: Ален Аспект, Теорема Белла: наивный взгляд экспериментатора, (Пер. с англ. Путенихина П.В.), Квантовая Магия, 4, 2135 (2007),
<http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL422007/p2135.html>
5. Bell J.S., On the Einstein Podolsky Rosen paradox, Physics Vol.1, No.3, pp.198-200, 1964
6. Born Max, Quantenmechanik der Stossvorgange, Zs. Phys. 37, s. 863 (1926) (предварительное сообщение)
7. Born Max, Quantenmechanik der Stossvorgange, Zs. Phys. 38, s. 803-827 (1926).
8. Born Max, Атомная физика, \Перевод с английского Завьялова О.И. и Павлова В.П. под редакцией Медведева Б.В., предисловие академика Боголюбова Н.Н., Издательство "МИР", Москва, 1965

9. Born Мах, Квантовая механика процессов столкновений // УФН. 1977. Т. 122. С. 632,
http://ufn.ru/ufn77/ufn77_8/Russian/r778g.pdf
10. Born Мах, Размышления и воспоминания физика, Сборник статей, "Наука", Москва, 1977.
11. Torgerson J.R., Branning D., Monken C.H., Mandel L., "Violations of locality in polarization-correlation measurements with phase shifters", PRA, V.51, N6, 1995.
12. Амплитуда вероятности \Математическая клетка,
http://www.mathcell.ru/show_topic.php?file=pr_ampl
13. Берклеевский курс физики. В пяти томах. Э.Вихман. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА IV том, <http://e-science.ru/physics/e-book/berkli/>
14. Вектор состояния \Научная сеть,
<http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1179056&s=>
15. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А., Теория вероятностей Задачи и упражнения, "Наука", - М., 1969.
16. Волновая функция. Большой Российский энциклопедический словарь, http://www.longsoft.ru/html/16/v/volnova8_funkci8.html
17. Гарик на Самиздате, Про теорему Белла и телепатию в квантовом мире, http://samlib.ru/g/garik/bell_theorem.shtml
18. Гейзенберг В., Шредингер Э., Дирак П.А.М., современная квантовая механика. Три нобелевских доклада. Государственное технико-теоретическое издательство, пер. с рукописи Д.Иваненко, Ленинград, 1934, Москва
19. Гнеденко Б. В., Хинчин А. Я., Элементарное введение в теорию вероятностей. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1970.
20. Доронин С.И., "Не локальность квантовой механики", Форум Физики Магии, Сайт "Физика магии", Физика,
<http://physmag.h1.ru/forum/topic.php?forum=1&topic=29> (дата обращения 01.12.2010)
21. Доронин С.И., сообщения на форумах Квантового портала,
<http://quantmag.ppole.ru/>
22. Жиров О.В. Квантовая механика, Новосибирск, 2003,
<http://www.inp.nsk.su/~zhirov/qm.pdf>
23. Калашников А.Д., Конспект лекций по курсу "Математика". На правах рукописи \Московская Академия образования Натальи Нестеровой, Москва - 2007 г.,
<http://kalashnikov.fizteh.ru/mathematica>

24. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей, (Серия: "Теория вероятностей и математическая статистика", М., 1974, <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/kolmogorov.djv>
25. Красильников П.М., Основы квантовой механики. Курс лекций для биофизиков, <http://erg.biophys.msu.ru/erg/wordpress/wp-content/uploads/2009/03/qm.pdf>
26. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Краткий курс теоретической физики, том 2: Квантовая механика. М.: Наука, 1972.
27. Лекция 3: Теоремы сложения и умножения вероятностей, <http://apollyon1986.narod.ru/docs/TViMS/NP/lekziitv/LEKZIYA3.NTМ>
28. Огурцов А.Н. Физика для студентов. Квантовая физика. Лекции по физике, 7, <http://www.ilt.kharkov.ua/bvi/ogurtsov/lect7quant.pdf>
29. Путенихин П.В., Главная загадка физики квантов, Самиздат, 2009, URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/gzfk.shtml
30. Путенихин П.В., Как распутать квантовую запутанность, 2011, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/entang.shtml
31. Путенихин П.В., Квантовая механика против СТО, Самиздат, 2007, http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/kmvsto.shtml
32. Путенихин П.В., Когда неравенства Белла не нарушаются, 2008, URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9016.html>
33. Путенихин П.В., Комментарии к выводам Белла в статье "Парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена", Самиздат, 2008, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/bell.shtml
34. Путенихин П.В., Локальный реализм Эйнштейна. – Самиздат, 2008, http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/localism.shtml
35. Путенихин П.В., Материя, Пространство, Время. – Самиздат, 2007, http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/materia.shtml
36. Путенихин П.В., Призрак амплитуды или Парадокс Камнева и неравенства Звонарёва (шутка с оттенком саркастического пародизма), Самиздат, 2008, http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/amplitude.shtml
37. Путенихин П.В., Сверхсветовая связь: тахион и причинность, 2013, URL: http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/causal.shtml
38. Путенихин П.В., Свойства эфира, Самиздат, 2008, http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/ephir.shtml
39. Путенихин П.В., СТО неприменима к сверхсветовым сигналам, 2014, URL: http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/sr65t.shtml

- 40.Путенихин П.В., Сущность локализма, Квантовая Магия, 5, 2201 (2008),
<http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL522008/p2201.html>
- 41.Путенихин П.В., Тахион и теория относительности, 2013, URL:
http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/tachyon.shtml
- 42.Путенихин П.В., Что такое неравенства Белла?, 2011, URL:
http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/ineq.shtml
- 43.Путенихин П.В., Эксперимент по схеме Аспекта, Самиздат, 2007, http://samlib.ru/p/putenihin_p_w/pseudo.shtml
- 44.Путенихин П.В.: Bell J.S., On the Einstein Podolsky Rosen paradox (перевод с англ. - П.В.Путенихин; комментарии к выводам и оригинальный текст статьи), Самиздат, 2008, URL:
http://samlib.ru/editors/p/putenihin_p_w/bell.shtml
- 45.Путенихин П.В.: Ален Аспект, Теорема Белла: наивный взгляд экспериментатора, (Пер. с англ. Путенихина П.В.), Квантовая Магия, 4, 2135 (2007),
<http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL422007/p2135.html>
- 46.Савельев Л.Я. Элементарная теория вероятностей. Часть 1. Новосибирск: НГУ, 2005,
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Savelev_ch1_2005ru.djvu
- 47.Садбери А., Квантовая механика и физика элементарных частиц, М.: Мир, 1989.
- 48.Соловьев А.А., Лекции по теории вероятности и математической статистике, с.3 draft 1.12.03,
<http://www.biometrika.tomsk.ru/lib/books/ltv.pdf>
- 49.Теория вероятностей. Эрудиция - Российская электронная библиотека, http://www.erudition.ru/referat/printref/id.24255_1.html
- 50.Тихонов А.И. Концепции современного естествознания. Метод. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. - Иваново, 2002, лекция 4, URL:
http://ineka.ru/student/kse/Tih_book/lecture04.htm
- 51.Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, т.8, Квантовая механика, (I)
- 52.Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике, т.9, Квантовая механика, (II)
- 53.Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Том 1. М.: Мир, 1967,
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/feller1.djv>
- 54.Физика квантовой информации. Квантовая криптография. Квантовая телепортация. Квантовые вычисления. \Под редакцией

- Д.Боумейстера, А.Экерта, А.Цайлингера. Перевод с англ. С.П.Кулика и Е.А.Шапиро под редакцией С.П.Кулика и Т.А.Шмаонова, Изд. "Постмаркет", Москва, 2002,
<http://quantmag.ppole.ru/Books/boumeister.djvu>
55. Фок В. А., Эйнштейн А., Подольский Б. и Розен Н., Бор Н.,
Можно ли считать, что квантово-механическое описание реальности является полным? \УФН Т. XVI, вып. 4, Ленинград, 1936.
56. Холев А.С., Введение в квантовую теорию информации, М.: МЦНМО, 2002. - 128 с.,
<http://www.mccme.ru/free-books/kholevo/index.htm>
57. Чернова Н.И., Теория вероятностей. Учебное пособие, НГУ, с.34,
<http://www.nsu.ru/mmftvims/chernova/tv/portr.pdf>
58. Чехова М.В., Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена,
<http://qopt.phys.msu.ru/faq/epr.html>
59. Эйнштейн А. Собрание научных трудов в четырех томах. Том 4. Статьи, рецензии, письма. Эволюция физики. М.: Наука, 1967,
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Einstein_t4_1967ru.djvu
60. Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным? / Эйнштейн А. Собр. научных трудов, т. 3. М., Наука, 1966, с.604-611, URL:
http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Einstein_t3_1966ru.djvu

Ко всем URL дата обращения 10.04.2017.

Путенихин П.В.
Млечный Путь и темная материя

Типография «АМИРИТ»
410004, Россия, г.Саратов, ул.Чернышевского, 88

Тел.: 8-800-700-86-33 | (845-2) 24-86-33

Сайт: amirit.ru

Почта: zakaz@amirit.ru

ISBN 978-5-9500075-6-9



Сдано в набор 19.04.2017
Подписано в печать 19.04.2017
Формат 60x84/16 Гарнитура «Times New Roman». Объем 12,32 п.л.
Бумага офсетная 90 г/м². Тираж 50 экз.
Заказ № 12/19047