

М. Х. Шульман

***ПАРАДОКСЫ, ЛОГИКА И
ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ВРЕМЕНИ***

Москва 2006

Шульман М.Х. ПАРАДОКСЫ, ЛОГИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ВРЕМЕНИ.

Рассмотрена модель Вселенной (близкая к модели Фридмана-Эйнштейна) в виде 3-мерной гиперповерхности шара в чисто евклидовом 4-мерном континууме. Дан анализ ограничений принципа эквивалентности Эйнштейна, найдено новое решение космологических уравнений. Время отождествляется с возрастающим радиусом Вселенной и всегда направлено по нормали к гиперповерхности шара. Физический смысл приписывается не частицам, а их мировым линиям, на этой основе и с учетом расширения Вселенной раскрывается суть феномена движения тел. Показана ограниченность принципа относительности, объясняется экспериментальный факт анизотропии реликтового излучения. Формулируется гипотеза, что масса частицы есть квантовое число - отношение размера Вселенной к длине волны де Бройля - которое растет со временем. Индивидуальные параметры волны де Бройля представляют собой, таким образом, “встроенные” часы и образец длины для каждого квантового объекта. В новой космологии модель “большого взрыва”, предполагающая сохранение массы и энергии Вселенной, заменяется на модель “энергетического насоса”. Предложен новый подход к описанию ускоренного движения. С новых позиций рассмотрены вопросы излучения и необратимости эволюции Вселенной.

M.H.Shulman. PARADOXES, LOGIC, AND PHYSICAL NATURE OF TIME

The new World concept close to Friedmann-Einstein's model considers the Universe as a 3D-hypersurface of some sphere in a purely Euclidean 4D-continuum. The analysis of Einstein equivalence principle limitations is made, the new solution of cosmological equations is found. Time is identified as increasing radius of the Universe and is always oriented normally to the sphere's hypersurface. Only particle world lines (not particles themselves) are considered to have a physical meaning, and by this way the phenomena of the bodies motion is deduced. The limitations of the relativity principle are shown, experimental fact of the “relict” radiation anisotropy is explained. We suppose also that the mass of a particle presents a quantum number being equal to the diameter of the Universe divided by de-Broglie's wave length and increasing with time. Thus, de-Broglie's wave individual parameters are the “built” clock and length sample for each quantum object. In the new cosmology the “big bang” concept and the mass and energy conservation principle are replaced by the “energy pump” concept. A new approach to describe an accelerated motion is proposed. The essential problems of the electromagnetic radiation and the irreversibility problem of the Universe evolution are considered.

Светлой памяти моей матери посвящаю.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прежде всего автор хотел бы предупредить читателя, что на его суд выносятся новая гипотеза о природе времени, которая до настоящего времени не нашла признания в среде профессиональных физиков.

В мае 1997 года Информационно-рекламным центром РАО “Газпром” была выпущена моя брошюра “*О физической природе времени*”, которую автор затем несколько раз переиздавал самостоятельно, внося некоторые дополнения и исправления. В дальнейшем в издательстве “Едиториал УРСС” была выпущена книга [Шульман, 2003], а затем на сайте Института исследований природы времени (www.chronos.msu.ru) была опубликована продолжающая ее работа [Шульман, 2005]. Настоящая публикация представляет собой соединение вышеуказанных материалов в единое целое с учетом некоторых дополнений и изменений.

Первоначальная работа содержала результаты размышлений, вызванных чтением сборника статей Н.А.Козырева. Не приняв в целом предложенной им физической картины Мира, я, тем не менее, серьезно задумался о сущности времени, в частности – о несимметричной роли времени и пространства в процессе расширения Вселенной. Представленная работа не претендует на всеобъемлющий охват всей физической картины Мира; будучи посвященной значительно более узкой проблематике (характерной скорее для начала 20-го, а не 21-го века н. э.), она, однако, содержит весьма радикальную ревизию базовых физических принципов, что, в случае ее подтверждения, окажет несомненное влияние и на обобщающие теории.

Первая глава книги декларирует исходную естественно-научную позицию автора. *Вторая* глава посвящена роли и свойствам времени в теории относительности и имеет намеренно компилятивный характер, т.к., несмотря на все обилие учебной литературы по теории относительности, соответствующие результаты изложены в этой литературе, за редким исключением, недостаточно полно и ясно.

Начиная с *третьей* главы, автор переходит к изложению собственных концепций. В этой главе речь идет о космологии. В частности, в ней анализируется физический смысл принципа эквивалентности, выявляются новые стороны такого феномена, как гравитационный коллапс, и, самое главное, предлагается новое решение космологических уравнений.

В *четвертой* главе на основе этого нового решения развивается модель шаровой расширяющейся Вселенной, в которой время, его течение и движение как таковое оказываются естественными конструкциями. В этой же главе вводится модифицированная модель эволюции Вселенной, в которой обобщением группы Лоренца оказывается не группа Пуанкаре, а новая E-группа с релятивистки инвариантными трансляциями.

Пятая глава посвящена инерциальному движению и сравнению результатов предлагаемой теории с выводами теории относительности. Показано, что в первом приближении различий нет, однако в следующих приближениях новая концепция предсказывает существование абсолютной (выделенной) системы отсчета и объясняет реально существующие эффекты (например, дипольную анизотропию фонового излучения).

Неинерциальное движение и его связь с тяготением рассматриваются в *шестой* главе. Здесь для описания вариаций времени при неравномерном движении предлагается использовать не фиктивные гравитационные поля, а совершенно реальные изменения кинетической энергии, которые и являются физической причиной этих вариаций.

В *седьмой* главе производится анализ двух моделей излучения – традиционной и модели Уилера-Фейнмана. В этой второй модели, как известно, делается попытка дать симметризованное во времени решение волнового уравнения, включающее как запаздывающие,

так и опережающие потенциалы. Я рассматриваю в рамках новых представлений обе модели, однако в конечном счете прихожу к выводу, что в действительности применимость модели Уилера-Фейнмана связана не с “мгновенным” взаимодействием, а с типичным фазовым эффектом, когда один период “прямой” волны накладывается на другой, смещенный во времени, но согласованный по фазе период “обратной” волны.

Вопросы необратимости достаточно подробно и в широком контексте рассматриваются в *восьмой* главе. В частности, я касаюсь специфической необратимости, возникающей при квантовых измерениях, редукции волновой функции и декогеренции.

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

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

Автор, март 2006 г

To my mather blessed memory is dedicated.

PREFACE

Above all, the author would like to warn a reader that some new time concept, which is not yet accepted by the physical professional community, is proposed here.

In May of the 1997 my brochure “On the time physical nature” was published. Later (2003), I published the work “The spherical expanded Universe theory” in the “Editorial URSS” Publishing (Moscow). In the 2005 on the Institute of Time Nature Explorations site (www.chronos.msu.ru) a continuation of this book (“The time logic and paradoxes”) was published. The presented book joints the previous works into the entire one, taking into consideration some additions and modifications.

The initial work was due to Kozyrev’s works study. I hasn’t accepted his World physical concept, but started to reflect on the time essence, particularly on the assymmetrical time and space role in the Univerce expanding.

The presented work doesn’t claim to cover the complete World physical picture. It considers the more narrow bounds of reality, but consists in a very radical revision of basic principles, and can have an influence on a generalizing theory.

The *first* chapter of the book declares an original natural and scientific author’s position. The *second* chapter considers the time role and features in the Relativity. The review presents an essential compilation, because corresponding results aren’t satisfactorily stated in the editorial literature.

Starting from the *third* chapter, the author goes to state his own concept of the cosmology. Particularly, a physical meaning of the equivalency principle is considered, new sides of the gravitational collapse are found out, and, the more important, a new solution of the cosmological equations are proposed.

In the *fourth* chapter this new solution is used to develop a spherical expanding Universe model, in which the time, its currency, and motion as such present natural constructions. Into this chapter a modified Universe evolution model is also introduced, in which a new E-group containing relativistic translations (not Poincaré group) presents a generalization of the Lorentz group.

The *fifth* chapter is dedicated to inertial motion and to comparison of the Relativity conclusions with the new concept predictions. There are not some differences in the first approximation, but the absolute (selected) reference system existing is predicted in the next approximation, so the new concept explains real phenomena like the background relict radiation dipole anisotropy.

A noninertial motion and its liaison with the gravity are considered into the *sixth* chapter. In the conventional General Relativity some fictive gravitational fields are used to explain time variations due an irregular motion. On the contrary, real kinetic energy deviations are proposed as true physical causes of these variations by the new concept.

In the *seventh* chapter an analysis of two radiation models is executed. In the conventional electrodynamics only the retarded solution of the wave equations is usually available. On the contrary, the both retarded and advanced solutions are symmetrically used in the Wheeler-Feynman’s radiation model. I consider the both models from the new point of view, and I come to conclusion that in fact the Wheeler-Feynman model adaptability isn’t connected with the true “instant” interaction, but with a typical phase effect, when an “direct” period superposes on the other “reflected” period that is shifted in time, but coordinated in phase.

The problems of irreversibility are widely considered in the *eighth* chapter. Particularly, I discuss a specific irreversibility due to quantum measurements, wave function collapse, and decoherence.

I thank kindly the chairman of the Russian Interdisciplinary Temporology Seminar ph. D. A.P.Levich from the Moscow State University for his help and encouragement, including my works publishing on the Institute of Time Nature Explorations site (www.chronos.msu.ru, grant № 00-07-

90211 of the Russian fund of the fundamental Researches). I would like also to thank my friend A.V.Moskowsky for many years philosophy and physics history discussions. Of coarse, these persons aren't liable for content of this work.

A reader may send me some questions and remarqs using my e-mail addresse: shulman@dol.ru.

Author, March of the 2006

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ВРЕМЯ И НАТУРАЛЬНАЯ ФИЛОСОФИЯ.....	11
2. ВРЕМЯ И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.....	14
2.1. Специальная теория относительности и преобразования Лоренца	14
2.2. Измерение пространственных и временных отрезков.....	15
2.3. Сопоставление лабораторной системы отсчета с движущейся.....	16
2.4. Парадоксы часов и близнецов в специальной теории относительности...	19
2.5. Парадокс близнецов и “радарное” время.....	22
2.6. Эксперименты с мюонами.....	23
2.7. Основные представления общей теории относительности.....	24
2.8. Парадокс часов в общей теории относительности.....	26
2.9. Эксперименты по проверке общей теории относительности.....	28
3. ВРЕМЯ И КОСМОЛОГИЯ.....	30
3.1. Гравитационный парадокс и космологическая постоянная.....	30
3.2. Нестационарная космологическая модель Эйнштейна-Фридмана.....	31
3.3. Статическое давление гравитирующей материи.....	32
3.4. Коллапс обычный и необычный.....	34
3.5. Новые решения космологических уравнений.....	39
3.6. Замкнутость Вселенной	40
3.7. Теория тяготения и закон сохранения энергии.....	42
4. МОДЕЛЬ ШАРОВОЙ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ.....	44
4.1. Исходные представления о пространстве-времени в модели шаровой расширяющейся Вселенной.....	44
4.2. Закон Хаббла.....	46
4.3. Диаграммы причинности.....	47
4.4. Эволюция картины мира и специальная теория относительности.....	48
5. ИНЕРЦИАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ.....	51
5.1. Локальное приближение модели шаровой расширяющейся Вселенной...	51
5.2. Масса, энергия и импульс частиц.....	54
5.3. Относительность и абсолютность движения.....	56
5.4. О реальном существовании абсолютной системы отсчета.....	59
6. ТЯГОТЕНИЕ И НЕИНЕРЦИАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ.....	64
6.1. Почему тяготение приводит к неравномерности движения?.....	64
6.2. Нужно ли использовать фиктивные гравитационные поля?.....	65
6.3. Ускоренное движение и специальная теория относительности.....	67
6.4. Связь хода времени с величиной энергии.....	69
7. ВРЕМЯ, ПРОСТРАНСТВО И ИЗЛУЧЕНИЕ.....	71
7.1. Близкодействие и дальноедействие.....	71
7.2. Обсуждение модели излучения Уилера-Фейнмана	72
7.3. Излучение и теория шаровой расширяющейся Вселенной.....	74

8. О НЕОБРАТИМОСТИ.....	76
8.1. Необратимость и космология.....	76
8.2. Необратимость и термодинамика.....	77
8.3. Необратимость и неупругие взаимодействия.....	77
8.4. Необратимость и электромагнитное излучение.....	78
8.5. Связь между космологической и термодинамической необратимостью.....	80
8.6. С.Хокинг о психологической стреле времени.....	81
8.7. Специфика необратимости в квантовой теории.....	81
9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	85
БИБЛИОГРАФИЯ.....	88

CONTENTS

	Page
PREFACE.....	5
1. TIME AND NATURAL PHILOSOPHY.....	11
2. TIME AND THE RELATIVITY.....	14
2.1. The Special Relativity and Lorentz transformations.....	14
2.2. Timelike and spatial interval measurements.....	15
2.3. Laboratory and moving reference systems comparison.....	16
2.4. Clock and twin paradoxes in the Special Relativity.....	19
2.5. Twin paradox and “radar” time.....	22
2.6. The experiments with muons.....	23
2.7. Basic concept of the General Relativity.....	24
2.8. Clock paradox in the General Relativity.....	26
2.9. Experimental testing of the General Relativity.....	28
3. TIME AND COSMOLOGY.....	30
3.1. Gravity paradox and the cosmological constant.....	30
3.2. Einstein-Friedmann’s unsteady cosmological model.....	31
3.3. Static pressure of a gravity matter.....	32
3.4. Usual and unusual collapses.....	34
3.5. A new solution of the cosmological equations.....	39
3.6. The Universe insularity.....	40
3.7. Gravity theory and energy conservation law.....	42
4. THE SPHERICAL EXPANDING UNIVERSE MODEL.....	44
4.1. The original space-time concept.....	44
4.2. The Hubble law.....	46
4.3. The causality diagrams.....	47
4.4. The World evolution and the Special Relativity.....	48
5. AN INERTIAL MOTION.....	51
5.1. The expanding Universe local approximation.....	51
5.2. The particles mass, energy, and pulse.....	54
5.3. The relative and absolute types of a motion.....	56
5.4. On the absolute reference system real existence.....	59
6. GRAVITY AND A NONINERTIAL MOTION.....	64
6.1. Why a gravity implies an irregular motion?.....	64
6.2. Do we need use a fictitious gravitational field?.....	65
6.3. An accelerated motion and the Special Relativity.....	67
6.4. A liaison between the time currency and an energy variation.....	69
7. TIME, SPACE, AND RADIATION.....	71
7.1. Two radiation models.....	71
7.2. The Wheeler-Feynman model’s discussion.....	72
7.3. Radiation and the spherical expanding Universe model.....	74

8. ON IRREVERSIBILITY	76
8.1. Irreversibility and cosmology	76
8.2. Irreversibility and thermodynamics	77
8.3. Irreversibility and inelastic interactions	77
8.4. Irreversibility and electromagnetic radiation	78
8.5. A liaison between the cosmological and thermodynamic irreversibility	80
8.6. S. Hawking on the psychological time arrow	81
8.7. A specific type of the quantum irreversibility	81
9. CONCLUSION	85
BYBLOGRAPHY	88

1. ВРЕМЯ И НАТУРАЛЬНАЯ ФИЛОСОФИЯ

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

Размышляя о сущности времени, мы можем говорить по меньшей мере о трех его аспектах. Во-первых, как об одном из реально существующих измерений (наряду с тремя пространственными). Объективная протяженность времени проявляется в существовании у каждой физической системы характерных параметров, своего рода временных размеров, в известной степени аналогичных пространственным размерам. Эта аналогия, в частности, обусловлена тем, что и собственные размеры системы, и ее временные характеристики (инерционность) обусловлены взаимодействием составляющих систему элементов. Стабильность подобных связей, в свою очередь, позволяет измерять и пространственную, и временную протяженность путем сравнения, соответственно, с реальным эталоном физического размера или периодом колебаний.

Выше уже была отмечена метрическая особенность данного измерения, вынуждающая приписать ему мнимый множитель. Этот множитель, с одной стороны, вводит радикальное различие между временной и пространственными компонентами, характеризуя в том числе и нашу неспособность непосредственно воспринимать время, в отличие от пространства, с помощью органов чувств. С другой стороны, это различие чисто метрического порядка, и оно позволяет уже в рамках теории относительности говорить всего лишь о различных проекциях единого объекта - четырехмерного вектора. Мнимость временной компоненты является источником многих привлекающих внимание идей: например, С.Хокинг [Хокинг, 1990] использует ее для устранения сингулярностей из теории эволюции Вселенной; И. Пригожин [Пригожин, Стенгерс, 1994] с ее помощью исследует возможность обобщения аппарата квантовой механики для объяснения необратимости поведения волнового пакета.

Во-вторых, времени присуще определенное направление - так называемая стрела времени. Точнее, говорят о нескольких стрелах времени - космологической, термодинамической и т.д., и о примечательной связи между ними, для объяснения которой выдвигаются различные теоретические обоснования (заметим, что у пространственных измерений физического континуума современная физика и натурфилософия подобных свойств не усматривают). И если одни авторы пытаются тем или иным образом "вывести" направленность времени из определенных более общих свойств Мира, то другие (И.Пригожин) категорически настаивают на априорности этого факта, его первичности по отношению к установленным законам природы.

В третьих, Н.А.Козыреву [Козырев, 1991] принадлежит формулировка представления о ходе времени как первооснове всего бытия нашего Мира. Можно принимать или отвергать его соображения об интенсивности и неравномерности этого *хода*, представления о времени как о некоей *субстанции*, его конкретные теоретические модели и результаты экспериментов, но любому человеку интуитивно очевиден (не непосредственно через органы чувств, но

опосредованно через опыт бытия) сам факт *течения* времени как основы любого природного или искусственного процесса. Действительно, когда мы рассматриваем некоторый нелокальный объект в абстрактном пространстве, нам нет необходимости специально вводить новое измерение, а вполне достаточно в качестве параметра использовать комбинацию существующих (как, например, при дифференцировании по длине дуги). В этом случае параметр характеризовал бы положение (состояние) наблюдателя, а не наблюдаемого объекта. Мы же связываем процесс с реальным изменением состояния самого объекта; время для нашей интуиции выступает в качестве реального, а не виртуального фактора.

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

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

Наблюдая так называемое "красное смещение" в спектрах звезд, Хаббл экспериментально установил пропорциональность между средней скоростью взаимного удаления звездных объектов и расстоянием между ними. А английский астрофизик Э.А.Милн теоретически вывел этот закон из сформулированного им Космологического принципа. В соответствии с данным принципом "следует ожидать, что в любой данный момент времени Вселенная должна выглядеть одинаково для наблюдателей на всех типичных галактиках, в каком бы направлении они ни смотрели" [Вайнберг, 2000]. Отсюда, в частности, следует, что если наблюдатели в точках *A*, *B* и *C* расположены на одной прямой, и расстояние *AC* вдвое больше расстояния *AB*, то для наблюдателя *A* скорость наблюдателя *B* должна быть такой же, как и скорость наблюдателя *C* для наблюдателя *B*; следовательно, для наблюдателя *A* скорость *C* должна быть вдвое больше, чем скорость *B*, и т.д.

Чуть раньше, чем экспериментальные наблюдения, к тем же представлениям привела и теоретическая физика. Как известно, в 1905 году появилась специальная теория относительности, а к 1916 году - общая теория относительности Эйнштейна, после чего (начиная с работы А.А.Фридмана [Фридман, 1922]), была развита модель расширяющейся Вселенной. Содержание этих идей и их обобщение излагается в следующей главе, а здесь я вкратце упомяну еще о некоторых важнейших концептуальных моментах современной физики, с которыми тесно связано дальнейшее содержание книги, и к которым я собираюсь привлечь внимание читателя.

Во-первых, я намерен критически обсудить принцип относительности, т.е. инвариантность законов физики по отношению к выбору инерциальной системы координат.

Кроме того, речь пойдет о законе сохранения энергии, роль которого объяснить излишне. Его теоретическое обоснование в классической физике базируется на концепции однородности времени, поэтому вполне естественно, что этот закон должен оказаться в фокусе любой новой теории, касающейся понятия времени.

Далее, хотелось бы остановиться на таком всем “понятном” феномене, как механическое движение. Я постараюсь показать, что вместо бесчисленного множества независимых перемещений физика может (и должна) оперировать лишь с одним общемировым процессом. Из лежащих в основе этого представлений вытекает не только естественное ограничение

скорости движения некоторой максимальной величиной, но и огромное количество других физических следствий.

Развиваемую ниже концепцию я предлагаю именовать Теорией Шаровой Расширяющейся Вселенной, кратко – ТШРВ.

2. ВРЕМЯ И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

2.1. Специальная теория относительности и преобразования Лоренца

Специальная теория относительности (СТО) в самом начале 20-го века постулировала основанный на опыте принцип: *скорость света одинакова в любых системах отсчета, даже если какая-либо из этих систем движется относительно другой такой системы.*

Из этого утверждения вытекает, что временные и пространственные промежутки в различных системах отсчета в общем случае не одинаковы, однако равенство $c = \Delta r / \Delta t$ (где c – скорость света, Δr – промежуток пути, пройденный светом за время Δt) справедливо в любой системе отсчета.

Приведенная формулировка принципа относительности противоречит представлениям классической физики, но еще *не фиксирует однозначным образом* нового (релятивистского) закона преобразования пространственных и временных промежутков при переходе от одной системы отсчета к другой.

В концепции Ньютона-Галилея время текло во всех системах одинаково, а преобразование системы отсчета сводилось к параллельному переносу и повороту 3-мерной системы координат. При трехмерном повороте инвариантной (неизменной) остается сумма квадратов трех пространственных проекций отрезка. Эйнштейн и Минковский предложили теоретическую модель, в которой пространство и время образуют 4-мерное пространство с псевдоевклидовой метрикой, а переход от одной системы отсчета к другой равносителен повороту 4-мерной системы координат, сохраняющему инвариантным квадрат 4-мерного интервала $\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta r^2$. Разумеется, из этого в качестве частного случая следует условие $c = \Delta r / \Delta t$ для распространения света.

Хотя идея поворота является общей для 3-мерного евклидова пространства Ньютона-Галилея и 4-мерного псевдоевклидова пространства Эйнштейна-Минковского, к этой аналогии следует подходить осторожно, когда речь идет о повороте в пространственно-временных плоскостях, где ось времени является мнимой. В этом случае зрительная интуиция часто вводит в заблуждение.

Переход от одной движущейся инерциальной системы отсчета к другой путем поворота в пространственно-временной плоскости $\{x, it\}$ с мнимой осью времени it определяется [Ландау и Лифшиц, 1967] формулами

$$x = x' ch \theta + ct' sh \theta, \quad ct = x' sh \theta + ct' ch \theta$$

где $\{x, t\}$ – координаты в “старой” системе отсчета (т.е. до поворота), $\{x', t'\}$ – координаты в “новой” системе отсчета (т.е. после поворота). Это – линейное преобразование, коэффициенты которого выражаются через мнимый угол поворота θ . В свою очередь, в данном случае угол поворота θ определяется отношением взаимной (равной по определению) скорости движения обеих систем отсчета к скорости света:

$$th \theta = x/ct = v/c$$

В дальнейшем отношение v/c будем обозначать символом β , т.е. положим $\beta = v/c$, тогда получим:

$$sh \theta = \beta / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad ch \theta = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}$$

Теперь формулы преобразования можно записать в виде:

$$x = (x' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad t = (x'v/c^2 + t') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

2.2. Измерение пространственных и временных отрезков

Вся кинематика основана на измерении пространственных и временных отрезков. Пространственные размеры определяются с помощью *линейки*, их измерение сводится к нахождению *отношения* длины пространственного отрезка к длине *эталонной* линейки. Аналогичным образом измерение времени сводится к нахождению *отношения* длительности промежутка времени к длительности эталона времени. Для этого используется тот или иной вид *часов*.

Существует важное инструментальное отличие часов от линейки. Чтобы измерять длину, нам достаточно иметь лишь *один экземпляр* линейки, т.к. подразумевается, что мы можем свободно перемещать линейку в пространстве. Напротив, перемещаясь в универсальном потоке времени, мы измеряем длительность процесса, используя *последовательность* эталонных временных промежутков, которые, как мы полагаем, строго совпадают между собой. Мы не можем использовать единственную реализацию эталона времени, т.к. не можем перемещаться во времени сами либо перемещать во времени другие тела или процессы. Часы – это как раз такой инструмент, который генерирует *периодические процессы* во времени - маркеры равных временных промежутков, используемых для сравнения с длительностью текущей фазы измеряемого процесса. При этом *непосредственно убедиться в равенстве* длительностей различных периодов колебаний мы не можем, возможно использование лишь косвенных аргументов (например, совпадение показаний многих часов различной природы).

Что же происходит, согласно СТО, при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, *движущейся* относительно первой и жестко связанного с ней наблюдателя?

Пусть в неподвижной системе покоится стержень, параллельный оси x , причем его концы в этой системе имеют координаты x_1 и x_2 . Тогда длина стержня в этой системе будет равна $\Delta x = x_2 - x_1$. Используя формулу связи между старыми и новыми координатами

$$x = (x' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

найдем (в *один и тот же* момент времени t') :

$$x_1 = (x_1' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad x_2 = (x_2' + vt') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

так что

$$\Delta x = x_2 - x_1 = [(x_1' + vt') - (x_2' + vt')] / \sqrt{1 - \beta^2} = \Delta x' / \sqrt{1 - \beta^2}.$$

или

$$\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Таким образом, длина стержня $\Delta x'$ в движущейся относительно него системе отсчета умножается на множитель (радикал), величина которого в общем случае меньше единицы. Иными словами, измерение длины стержня в *один и тот же* момент времени даст *наибольший* результат (*собственную* длину) в той системе отсчета, относительно которой стержень покоится.

Пусть, далее, в неподвижной системе отсчета имеются двое часов. Часы 1 неподвижны, тогда как часы 2 *движутся*. Пусть происходят два события в моменты времени t_1 и t_2 , отсчитанные по *неподвижным* часам. Используя формулу связи между старыми и новыми значениями времени

$$t = (x'v/c^2 + t') / \sqrt{1 - \beta^2}$$

будем искать выражение для интервала времени в системе отсчета, жестко связанной с движущимися часами 2 (т.е. в такой, где эти часы 2 покоятся в одной и той же точке x'). Имеем:

$$t_1 = (x'v/c^2 + t'_1) / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad t_2 = (x'v/c^2 + t'_2) / \sqrt{1 - \beta^2}$$

так что

$$\Delta t = t_2 - t_1 = [(x'v/c^2 + t'_2) - (x'v/c^2 + t'_1)] / \sqrt{1 - \beta^2}$$

или, в конечном счете

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Таким образом, движущиеся относительно часов 1 (и жестко связанного с ними наблюдателя) часы 2 в общем случае показывают время ($\Delta t'$) меньшее, чем часы 1 (Δt). Если скорость движущихся часов 2 стремится к скорости света, то показываемый ими промежуток времени стремится к нулю.

Примечание: С другой стороны, для этих движущихся часов 2, которые из пространственной точки А перемещаются в другую пространственную точку В, всякие движущиеся равномерно относительно них часы можно рассматривать в качестве вышеупомянутых часов 1, и всегда часы 2 покажут время меньшее, чем часы 1. Иными словами, время, отсчитываемое по часам, равномерно движущимся вместе с данным объектом из одной заданной пространственной точки в другую заданную точку (собственное время данного объекта), является наименьшим. Неверно было бы смешивать данную ситуацию с парадоксом близнецов (о котором речь впереди), когда несколько по-разному движущихся часов попадают из одной пространственно-временной точки в другую пространственно-временную точку – в этом случае наибольшее время покажут равномерно движущиеся часы, тогда как все прочие будут вынуждены (чтобы вовремя оказаться в конечной точке пространства-времени) двигаться *неравномерно!*

В результате мы приходим к следующему важному выводу. Если в быстро движущейся ракете имеются два устройства – часы и линейка для измерения пройденного расстояния, то и эти часы, и эта линейка *при движении* (например, от одной планеты к другой) покажут и время, и расстояние в γ раз меньшие, чем соответствующие время и расстояние, измеренные неподвижным наблюдателем одной из планет. При этом величина γ равна

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2},$$

а скорость v движения ракеты относительно планеты или планеты относительно ракеты (т.е. взаимная скорость) оказывается, как и должно быть, *одинаковой*:

$$v = \Delta x / \Delta t = \Delta x' / \Delta t'$$

2.3. Сопоставление лабораторной системы отсчета с движущейся

В физике (условно) неподвижную систему отсчета, связанную с наблюдателем, принято называть *лабораторной*. Чтобы выявить и проанализировать характерные эффекты, возникающие в специальной теории относительности, оказывается очень полезным строить для одного и того же множества точек (пространственно-временных событий) две системы

координат – лабораторную и движущуюся (назовем ее системой отсчета *ракеты*). Взаимное соответствие между ними оказывается существенно иным, нежели в случае двух евклидовых систем координат (что, к сожалению, крайне неполно отражено в подавляющем большинстве учебников по теории относительности). При этом мы для простоты ограничимся лишь одним пространственным измерением по оси x .

Что касается оси времени, то опять-таки для простоты выберем систему единиц, в которой скорость света c принята равной 1, поэтому в численном отношении величины t и ct считаются равными. Следует также помнить, что ось времени является мнимой, так же как и пространственно-временные углы.

Теперь начнем наши построения, максимально следуя схеме, приведенной в замечательной учебной монографии [Тэйлор и Уилер, 1971]. Прежде всего построим две *ортогональные* оси x и t лабораторной системы отсчета. Далее построим ось времени t' системы отсчета ракеты. Эта ось будет изображаться прямой линией, проходящей через начало лабораторной системы под (мнимым) углом θ , где

$$\operatorname{sh} \theta = \beta / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad \operatorname{ch} \theta = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}$$

Это — геометрическое место всех событий, происходящих в начале пространственных координат системы отсчета ракеты, т.е. это действительно ось t' системы отсчета ракеты. Наклон оси t' по отношению к оси t определяется соотношением:

$$\text{Пройденный путь} / \text{Время движения} = \beta = \operatorname{th} \theta$$

Если скорость ракеты (т.е. тангенс угла между осями t и t') мала, то и угол θ невелик. Если же скорость ракеты близка к скорости света, то и угол θ стремится к половине прямого угла.

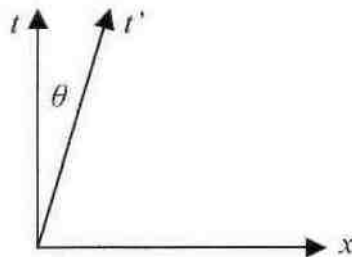


Рис. 2.1. Положение в лабораторной системе отсчета оси времени системы отсчета ракеты.

Теперь мы должны построить пространственную ось x' , отвечающую системе отсчета ракеты. В силу линейности преобразования Лоренца, это также будет прямая линия. На основании принципа относительности ось x' системы отсчета ракеты должна *подниматься вправо* с тем же наклоном, с каким ось t' системы отсчета ракеты *отклоняется вправо* же (т.е. *мировая линия света в любой системе должна оставаться биссектриссой*). На рис. 2.2 пунктиром проведена мировая линия вспышки света, а также показана координатная сетка системы отсчета ракеты так, как она будет выглядеть в лабораторной системе. Таким образом, в лабораторной системе отсчета система координатных осей ракеты будет уже не ортогональной, а *косоугольной*!

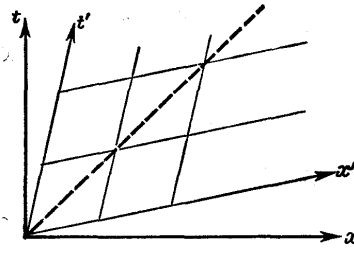


Рис. 2.2. Положение в лабораторной системе отсчета пространственной оси системы отсчета ракеты.

Нам осталось сделать последний шаг – установить, как одновременно с изменением угла меняется шаг координатной сетки, т.е. шкала длин и времен. Действительно, эта шкала вовсе не остается одной и той же!

Проведем гиперболу $t^2 - x^2 = 1$, полагая скорость света c равной единице (рис. 2.3). В той точке, где эта гипербола пересекает ось t лабораторной системы отсчета (где $x = 0$), мы имеем момент времени $t = 1$. Однако интервал $t^2 - x^2$ инвариантен, так что при этом мы получим также $(t')^2 - (x')^2 = 1$. Следовательно, в точке пересечения гиперболой оси t' системы отсчета ракеты (где $x' = 0$) мы имеем момент времени $t' = 1$. Из соображений симметрии и ввиду линейности уравнений преобразования отрезок оси t' от точки $t' = 0$ до точки $t' = 1$ можно использовать в качестве единицы масштаба, откладываемого как вдоль оси t' , так и вдоль оси x' . Таким образом, по мере увеличения угла шкала длин и времен растягивается (или, что равнозначно, сами пространственные и временные отрезки как бы сжимаются)!

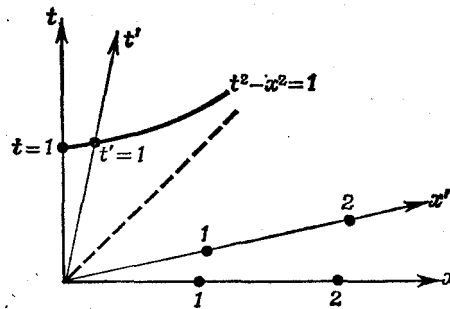


Рис. 2.3. Градуирование пространственной и временной осей системы отсчета ракеты.

Сказанное соответствует следующему. При градуировке осей на рис. 2.3 была изображена лишь одна инвариантная кривая вида $t^2 - x^2 = a^2$ для $a = 1$. Если мы построим такие же кривые для $a = 2, 3$ и т.д., то на рис. 2.3 ось t' они пересекут соответственно в точках 2, 3 и т.д., причем расстояния между точками пересечения кривой по этой оси будут равны между собой и в одинаковое число раз больше расстояний между точками пересечения этой же кривой с осью t .

Продолжая оси времени t и t' вниз, а пространственные оси x и x' влево, мы завершим построение, учитывая теперь прошлое движение и движение в отрицательном направлении.

Если два события одновременны в лабораторной системе отсчета, они будут лежать на прямой, параллельной оси x лабораторной системы на диаграмме пространства-времени (рис. 2.4). Если два события одновременны в системе отсчета ракеты, они будут лежать на прямой, параллельной оси x' системы ракеты на диаграмме пространства-времени. Поэтому два наблюдателя не обязательно считают одновременными одни и те же пары событий. Это и есть относительная синхронизация часов.

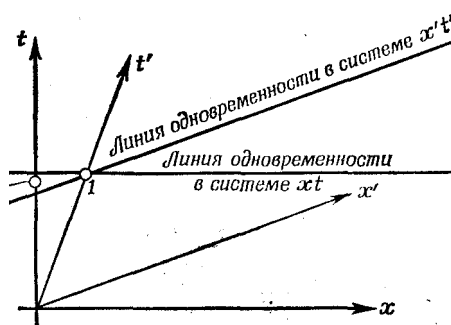


Рис. 2.4. Эффект замедления хода времени.

Используя линии одновременности на рис. 2.4, мы можем видеть, что для наблюдателя в системе отсчета ракеты часы, расположенные в начале лабораторной системы пространственных координат, еще не показывают 1 ед. времени, когда $t' = 1$ ед. (т. е. лабораторные часы отстают). Вместе с тем для наблюдателя в лабораторной системе отсчета часы, расположенные в начале лабораторной системы пространственных координат, уже показывают больше 1 ед. времени (т. е. отстают часы на ракете). Это и есть замедление хода времени.

2.4. Парадоксы часов и близнецов в специальной теории относительности

Теперь, наконец-то, мы можем перейти к парадоксу часов в теории относительности. Рассмотрим сначала случай относительного инерциального движения двух тел и связанных с ними двух наблюдателей, снабженных часами. Поскольку, согласно СТО, движущиеся часы идут медленнее неподвижных, *каждый* из двух наблюдателей полагает, что время в его системе отсчета течет быстрее, чем в системе другого наблюдателя.

Указанную коллизию СТО предлагает считать несущественной в силу следующего обстоятельства [Ландау и Лифшиц, 1967]. Экспериментально сравнить непосредственные показания двух часов невозможно без нарушения инерциального характера движения, по крайней мере, одного из тел, например, путем поворота и возвращения к первому телу. Действительно, при этом такое тело неминуемо должно изменить свою скорость, т.е. претерпеть ускорение.

Возможен и другой способ, при котором показания движущихся часов (K') сравниваются в начальной точке с показаниями одних неподвижных часов (K_1), а в конечной точке – с показаниями вторых неподвижных часов (K_2). Разумеется, неподвижные часы K_1 и K_2 должны заранее быть строго синхронизированы между собой.

При этом возникает весьма любопытная ситуация. Пусть мы имеем не двое часов, а *две* бесконечные пространственные решетки, в *каждом* узле которых находятся часы. Первая решетка связана с неподвижным наблюдателем, а вторая решетка – с движущимся наблюдателем, так что все часы второй системы движутся относительно любых часов первой системы с одной и той же скоростью. Разумеется, все часы каждой из решеток строго синхронизированы между собой в своей системе отсчета.

Пусть теперь мы зафиксировали момент, когда некоторые часы В второй решетки прошли мимо конкретных часов A_1 первой решетки. Будем теперь следить за дальнейшим движением часов В. Проходя мимо часов A_2 , движущиеся часы отстанут, как установит *неподвижный* наблюдатель (или механический регистратор) в точке A_2 , на некоторый интервал Δt . Затем, проходя мимо часов A_3 , движущиеся часы отстанут на интервал $2\Delta t$, и так далее. Иными словами, возникает *наклонная линия постоянства координаты* для часов В в системе отсчета А, а мы обратим внимание на важный получающийся результат: *различие* в показаниях неподвижных и движущихся часов *пропорционально расстоянию* между этими часами!

С парадоксом часов тесно связан парадокс близнецов, который возникает, если все же попытаться сравнить между собой показания *одних и тех же часов*. В книге [Тэйлор и Уилер, 1971] парадокс близнецов излагается следующим образом (на основе оригинальной идеи, приведенной в [Лаури, 1963]).

Близнецы Петр (Космонавт) и Павел (Землянин) расстались в тот день, когда им исполнилось по 21 году. Космонавт отправился на ракете в направлении оси x на 7 лет *своего* времени со скоростью $\beta = 24/25 = 0,96$ скорости света, после чего сменил скорость на обратную и за 7 лет (опять-таки *своего* времени) вернулся назад на Землю, тогда как Землянин оставался на Земле. Спрашивается, сколько лет было Космонавту и сколько – Землянину в момент их встречи на Земле?

Поскольку и Космонавт, и Землянин находились в относительном движении друг относительно друга, то *оба*, казалось бы, должны наблюдать замедление хода часов друг друга. Будучи вложено в уста *Землянина*, это простое утверждение приводит к тому, что часы Космонавта, как и процесс старения организма Космонавта, шли замедленно, так что Космонавт оказался моложе своего брата-близнеца после возвращения. “Но ведь если это утверждение справедливо,— рассуждает *Космонавт*,— то почему *не я*, когда я провожу исследование, обнаруживаю, что часы Землянина идут замедленно? Как же это он смог постареть сильнее, чем я?”

Чтобы лучше уяснить ситуацию, следует представить себе ракету Космонавта, летящую вместе с инерциальной системой отсчета (вначале – от Земли). Эта система состоит из трех взаимно ортогональных стержней (“система координат”) и снабжена часами. Когда же Космонавт меняет скорость на обратную, то пусть его система отсчета продолжит свое *прежнее* (инерциальное!) движение от Земли, а с ракетой теперь будет связана *другая* (такая же) инерциальная система отсчета, но уже летящая к Земле. Таким образом, первый и второй этапы движения связаны с *двумя различными* инерциальными системами отсчета. Действительно, ни одна *инерциальная* система *по определению* не может изменить направления и скорости движения!

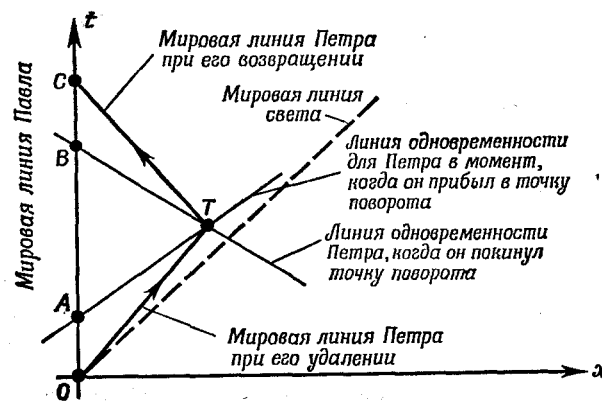


Рис. 2.5. Как Космонавт (Петр) проводит учет процесса старения Землянина (Павла).

После того, как Космонавт построил диаграмму своего движения, получилась следующая картина (рис. 2.5). В период удаления Космонавта (отрезок OT его мировой линии на диаграмме) его часы показали, что прошло семь лет. Проведя линию одновременности через точку T , мы получим на мировой линии Землянина отрезок OA , отвечающий промежутку времени в 1,96 года («замедление хода часов», наблюдаемое Космонавтом из движущейся системы отсчета).

Аналогичным образом рассматривая период возвращения Космонавта (отрезок TC его мировой линии на диаграмме), мы установим, что его часы показали -

прошло еще семь лет. Проведя *другую* линию одновременности через точку T , мы получим на мировой линии Землянина отрезок BC , отвечающий промежутку времени в 1,96 года (такое же «замедление хода часов», снова наблюдаемое Космонавтом из движущейся системы отсчета). Землянин снова состарился лишь на 1,96 года!

Но учет, проделанный до сих пор из *двух* инерциальных систем Космонавта, еще не полон. Ни в одной из этих систем не учтен отрезок AB , также соответствующий прошедшему времени. Этот отрезок составляет 46,08 года (поправка на скачкообразное (!) изменение линии одновременности для *двух* систем отсчета Космонавта — удаляющейся и возвращающейся вместе с ним).

Противоречие разрешается, если учесть отрезок времени AB . Космонавт обнаружит, что учет этого времени соответствует поправке, необходимой *при переходе между системами одновременности в удаляющейся и возвращающейся системах отсчета*. Отдельный расчет дает для этого отрезка времени значение в 46,08 года. Такую поправку следует добавить к времени, прошедшему у Землянина, которое было измерено часами Космонавта на двух этапах его движения. Теперь Космонавт может окончательно вычислить возраст Землянина (включая 21 год — возраст последнего к началу путешествия):

$$21+1,96+46,08+1,96=71 \text{ год.}$$

Сам же он может радоваться своей относительной молодости:

$$21+14=35 \text{ лет}$$

Попробуем выразить OA и OC в более общих обозначениях. Время по часам Землянина откладывается вдоль времени t . Обозначим половину полного времени отсутствия Космонавта на Земле через $T = OC/2$. Согласно мнению Космонавта, он летит от Земли всего лишь в течение времени $T' = T\sqrt{1-\beta^2}$, и обратно к Земле — столько же, а скачок времени AB возникает лишь для Землянина. Очевидно, каждая половина этого скачка составит

$$\Delta T = T - T' = T(1 - \sqrt{1-\beta^2}) \approx T \beta^2/2$$

Проблема парадокса часов может быть, как указывается в [Тэйлор и Уилер, 1971], изящно разрешена с помощью учета эффекта Доплера (E. Feenberg, American Journal of Physics, 27, 190, 1959).

Вспомним, что Землянин оставался на Земле, тогда как Космонавт летал с огромной скоростью βc до далекой звезды и обратно на Землю. Пусть они оба наблюдали удаленную переменную звезду, яркость которой попеременно ослабевает и увеличивается с частотой ν в системе отсчета Земли (ν' в системе отсчета ракеты). Предположим, что расстояние до этой переменной звезды намного превышает длину пути Космонавта, а направление на нее в системе отсчета Земли перпендикулярно направлению движения Космонавта. *Оба наблюдателя регистрируют одно и то же общее число пульсаций переменной в течение всего путешествия Космонавта от его вылета до возвращения*. Исходя из этого факта и из формулы для доплеровского смещения

$$\nu' = \nu \text{ch } \theta (1 - \beta \cos \varphi)$$

при данном угле наблюдения $\varphi = 90^\circ$ в лабораторной системе отсчета можно найти, что к концу путешествия Космонавт постареет всего на 14 лет, тогда как Землянин — на все 50.

2.5. Парадокс близнецов и “радарное” время

Хотя парадокс близнецов изучен, казалось бы, со всех сторон, новые исследования, посвященные ему, продолжают открывать все новые его грани. В работе¹ [Долби и Гулл, 2001] обращено внимание на некоторые проблемы, связанные с этим парадоксом и вызывавшие известные психологические трудности. Авторы этой работы воспроизводят (см. рис. 2.6) типовые диаграммы из учебников с мировыми линиями Землянина (вертикальная линия справа) и Космонавта (ломаная линия слева).

В точке “мгновенного” поворота (E) происходит скачкообразное изменение угла наклона линий одновременности Космонавта (авторы назвали *ее* Барбарой) по отношению к мировой линии Землянина (Алекса). При этом точки G и H представляются Космонавту одновременными, но на мировой линии Землянина, с точки зрения Космонавта, им отвечают два разных момента времени! Что касается некоторого события N на мировой линии Землянина, которое лежит между этими точками, то Космонавт также должен приписать ему уже не *одно*, а *два различных* значения времени, причем *после* ускорения значение временной координаты на мировой линии космонавта оказывается меньшим, чем *до* ускорения (см. рис. 1)!

Еще большая трудность возникает слева от точки поворота. Здесь линии одновременности пересекаются, и Космонавт, таким образом, должен ставить в соответствие каждому событию даже не два, а *три* различных момента времени!



а) “мгновенный” поворот

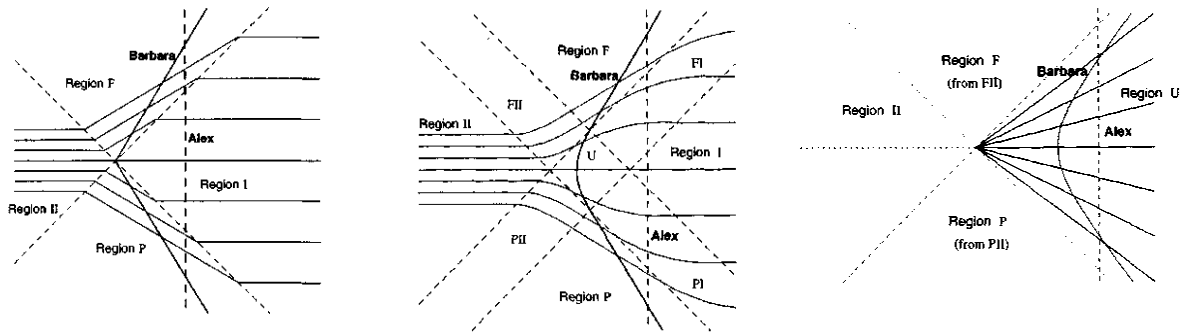
б) “плавный” поворот

Рис. 2.6. Линии одновременности (обычное время) Космонавта в парадоксе близнецов.

Эта неоднозначность может быть принципиально устранена, если вместо обычного времени наблюдателя использовать так называемое “радарное” время. Последнее определяется как половина *собственного* времени, необходимого свету для прохождения от 4-точки одного мирового события до 4-точки другого, и обратно. Важно отметить, что это определение (восходящее к Эйнштейну, а затем Бонди) не зависит от выбора системы координат, т.е. величина радарного времени не изменяется при любом преобразовании системы координат. (Более того, только эта физическая величина может использоваться при реальном сравнении времен – М.Х.Ш.) Таким образом, нет причин не применять радарное время к ускоренным наблюдателям или искривленным областям пространства-времени. Оно однозначно определено, согласовано с собственным временем вдоль пути наблюдателей и инвариантно по отношению к обращению времени, т.е. к изменению знака собственного времени наблюдателя.

¹ Благодарю П.В. Куракина за возможность ознакомиться с этой работой на его сайте - Автор

На рис. 2.7 представлены линии (гиперповерхности) одновременности для трех типов поворота Космонавта.



а) “мгновенный” поворот б) “плавный” поворот б) “равномерно-ускоренный” поворот

Рис. 2.7. Линии одновременности (“радарное” время) Космонавта в парадоксе близнецов.

2.6. Эксперименты с мюонами

Очень ясное изложение принципиальной схемы реальных опытов с релятивистскими мезонами приведено в [Нэйв, 2003]. Объектом опыта является поток мюонов, летящих на землю с очень большой скоростью (0,98 скорости света), так что имеем

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2} = 5$$

Постоянная времени полураспада мюона составляет 1,56 микросекунды, процесс распада летящих мюонов играет роль своеобразных движущихся часов. В качестве показаний двух нужных нам неподвижных часов будем использовать число мюонов, регистрируемых при равных условиях на двух различных высотах – на высоте 10 км и на уровне земли. Понятно, что количество зарегистрированных мюонов – совершенно объективный и однозначный показатель, не зависящий от выбора системы отсчета.

Результаты расчетов (отвечающие реальным экспериментам) приведены в таблице, и мы приступаем к их обсуждению, переходя от нижних строк к верхним.. Прежде всего отметим что теория относительности дает число мюонов, достигающих земли, более чем на 4 порядка выше, чем при нерелятивистском подсчете, и согласуется с результатами опыта. Это действительно связано с релятивистским замедлением времени - отношение времени движения к постоянной времени полураспада составляет не 21.8, а только 4.36, что при экспоненциальной зависимости и дает столь существенное отличие.

Указанное замедление времени “внутренних часов” мюона должен учитывать при релятивистском расчете неподвижный наблюдатель, связанный с Землей. Именно с его точки зрения очень-очень быстро движущиеся мюоны распадаются в $\gamma = 5$ раз медленнее, так что их постоянная времени полураспада оказывается равной 7.8 мкс, а не 1.56 мкс. Далее неподвижный относительно земли наблюдатель делит расстояние между счетчиками (10 км) на скорость движения мюонов, находит время движения между счетчиками равным 34 мкс, а отношение этого времени к релятивистски замедленной постоянной полураспада (7.8 мкс) равным 4.36.

Параметр	Релятивистский расчет		Нерелятивистский расчет
	В движущейся системе, связанной с мюоном	В неподвижной системе, связанной с Землей	
Расстояние между двумя счетчиками	2 км	10 км	10 км
Время движения между двумя счетчиками	6.8 мкс	34 мкс	34 мкс
Постоянная времени полураспада	1.56 мкс	7.8 мкс	1.56 мкс
Отношение времени движения к постоянной времени полураспада	4.36	4.36	21.8
Доля первоначального числа мюонов, достигающая земли	0.049	0.049	0.0000003

Когда же мы производим релятивистский анализ в системе отсчета, связанной с движущимся мюоном, мы вместо замедления времени должны учитывать другой хорошо известный релятивистский эффект – сокращение расстояния. Движущийся наблюдатель должен исходить из того, что в его системе отсчета расстояние от одного счетчика числа мюонов до другого составляет уже не 10 км, а в $\gamma = 5$ раз меньше, т.е. 2 км, поскольку (с его точки зрения) он очень-очень быстро движется относительно этого промежутка, разделяющего указанные два высотных уровня! Поскольку расстояние, проходимое при этом Землей, кажется ему в 5 раз меньше (2 км, а не 10 км), а взаимная скорость движения одинакова в обеих системах отсчета, то и время движения между счетчиками окажется (с точки зрения движущегося наблюдателя) также в 5 раз меньше (6.8 мкс, а не 34 мкс). Вместе с тем движущийся наблюдатель законно считает (ведь с его точки зрения мюоны неподвижны), что постоянная времени полураспада в точности равна 1.56 мкс. В результате он получает отношение времени движения между счетчиками к этой величине равным $6.8 \text{ мкс} / 1.56 \text{ мкс} = 4.36$, т.е. точно такое же, что и неподвижный относительно земли наблюдатель!

Таким образом, для часов, связанных с мюоном, расчеты в обеих системах отсчета, выполненные на основе релятивистского анализа, дали один и тот же результат.

2.7. Основные представления общей теории относительности

Чтобы включить гравитацию в теорию относительности, А. Эйнштейн предложил использовать известный экспериментальный факт, согласно которому “ускорение в гравитационном поле не зависит от химического состава или физического состояния тел.” Это означает, что *инертная* масса любой материальной частицы всегда пропорциональна ее *гравитационной* массе, так что при надлежащем выборе физических единиц эти массы можно считать равными.

Благодаря этому факту описание поведения частиц в однородном гравитационном поле можно заменить описанием их поведения в отсутствие поля в ускоренной (неинерциальной) системе отсчета. Так, если некоторый лифт свободно падает вниз в поле тяжести Земли, то поведение всех находящихся внутри него предметов было бы точно таким же, если бы поле тяготения вдруг исчезло, но наблюдатель при этом двигался бы вверх с ускорением, численно равным ускорению g свободного падения.

Это относится не только к обычным частицам, но и, например, к световым фотонам. Пусть в неподвижном лифте в невесомости лазер испускает свет, который распространяется прямолинейно (горизонтально). Для движущегося вверх с ускорением наблюдателя траектория распространения света уже не будет прямолинейной, а отклонится вниз. Отсюда следует, что в поле тяготения в неподвижном лифте свет также отклонится вниз, а вот в свободно падающем

лифте для находящегося там наблюдателя луч света будет прямолинейным (см. рис. 2.9, заимствованный из лекций [Сажин]).

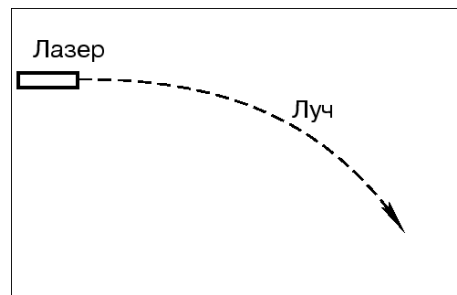


Рис. 2.9. Траектория луча света в поле тяжести.

В общей теории относительности (ОТО) сформулированный выше тезис о том, что гравитационное поле можно (локально) заменить равноускоренной системой отсчета, принимается справедливым и в обратном толковании: ускорение тела можно приписать возникновению однородного гравитационного поля. Таким образом, свойства движения в неинерциальной системе отсчета такие же, как в инерциальной системе при наличии гравитационного поля. Следовательно, неинерциальная система отсчета эквивалентна некоторому гравитационному полю. Это обстоятельство называют принципом эквивалентности.

Таким образом, для наблюдателя в свободно падающем лифте все законы физики такие же, как и в инерциальных системах отсчета специальной теории относительности (по крайней мере, в непосредственном соседстве с центром лифта, т.е. *локально*).

Действие ускоренного движения и силы тяжести полностью взаимно компенсируются. Наблюдатель, сидящий в закрытом лифте и регистрирующий силы, представляющиеся ему гравитационными, не может сказать, какая доля этих сил обусловлена ускорением и какая — действительными гравитационными силами. Он вообще не обнаружит никаких сил, если только на лифт не подействуют какие-либо другие (т.е. отличные от гравитационных) силы.

Из принципа эквивалентности следуют два важных вывода о распространении света в гравитационном поле.

- В гравитационном поле свет, как уже было отмечено, распространяется по кривой (не по прямой).
- При распространении света в гравитационном поле, вообще говоря, меняется его частота.

Второй эффект — изменение частоты света в гравитационном поле — заключается в следующем. Пусть наблюдатель, находящийся на Земле, посылает световой сигнал наблюдателю, находящемуся на некоторой высоте над поверхностью Земли, например, на вершине высокой башни. Эффект состоит в том, что наблюдатель на башне измерит несколько меньшую частоту, чем та, которая была послана наблюдателем с Земли. Это есть так называемое *гравитационное красное смещение*.

Объяснение этого эффекта заключается в следующем. Гравитационное поле g эквивалентно неинерциальной системе отсчета, движущейся вверх с ускорением $a = -g$. Пусть расстояние между наблюдателями (находящимися в ракете, движущейся с ускорением a) равно H . При распространении фотона вверх его первоначальная энергия $mc^2 = \hbar\omega_1$ уменьшится на величину mgH и станет равной $\hbar\omega_2$, где

$$\omega_2 = \omega_1 (1 - gH/c^2)$$

Эффект красного смещения очень мал. Так, при $H = 20$ м относительное изменение частоты составит примерно $2 \cdot 10^{-15}$. Однако этот фантастически малый эффект был действительно измерен Паундом и Ребкой в 1960 г. для гамма-лучей (используя эффект

Мёссбауэра). Башня в Гарвардском университете имела высоту 22,5 м, и частота используемых гамма-квантов $\omega_\gamma = 2,2 \cdot 10^{19} \text{ сек}^{-1}$. Отношение измеренного изменения частоты к предсказанному теорией значению было равно $1,05 \pm 0,10$.

Следствием гравитационного красного смещения является то, что фотон частоты ω , покидающий звезду и уходящий в бесконечность, будет восприниматься в бесконечности с частотой $\omega' = \omega(1 - GM/Rc^2)$, где M - масса звезды, R - ее радиус. Так, для Сириуса В вычисленное относительное смещение составляет $-5,9 \cdot 10^{-5}$, а измеренное равно $-6,6 \cdot 10^{-5}$.

2.8. Парадокс часов в общей теории относительности

Фигурирующее выше в формуле для изменения частоты света произведение gH равно изменению гравитационного потенциала φ . В конечном счете, когда наблюдатель движется в поле с потенциалом φ со скоростью v , его собственное время τ связано (в первом приближении) с координатным временем наблюдателя τ' как

$$d\tau = d\tau' (1 + \varphi/c^2 - v^2/2c^2)$$

Чем выше потенциал φ , отсчитанный от нуля (т.е. от потенциала точки, где гравитация отсутствует), тем медленнее течет время. Поэтому, например, большее время покажут те часы, которые расположены дальше от Солнца, т.е. ближе к бесконечно удаленной точке с нулевым потенциалом. Теперь формулы для изменения темпа течения времени в зависимости от скорости и высоты используются в навигационной технологии GPS и ГЛОНАСС.

Вернемся еще раз к парадоксу часов. В рамках СТО мы выяснили, что только одна из двух систем отсчета – система остававшегося на Земле Землянина – может рассматриваться как инерциальная. Космонавт, вначале улетавший от Земли, а затем возвращавшийся к ней, на каждом из этих двух этапов был связан соответственно с двумя *различными* инерциальными системами отсчета, и парадокс возникает именно в связи с его переходом из одной системы отсчета в другую.

ОТО предлагает метод расчета течения времени как раз на этапе этого перехода. Воспользуемся приближенным методом, приведенным в [Сажин]. Нам достаточно рассмотреть лишь три этапа:

- инерциальный полет ракеты при удалении от Земли на расстояние H (этап старта нас не интересует, ракета могла просто пролететь мимо Земли, запустив часы в момент, когда она с ней поравнялась)
- изменения скорости (торможение) с величины v до величины $-v$
- инерциальный полет ракеты при возвращении к Земле (этап финиша нас также не интересует, ракета могла просто пролететь мимо Земли, остановив часы в момент, когда она с ней поравнялась)

С точки зрения летящего на ракете Космонавта, на первом и последнем тапах Землянин инерциально двигался относительно него, и потому часы Землянина часы должны показать *меньшее* время

$$(\tau_1 + \tau_3) = (\tau'_1 + \tau'_3) \sqrt{1 - \beta^2} \approx (\tau'_1 + \tau'_3) (1 - v^2/2c^2)$$

(штрихом отмечены показания часов Космонавта, нештрихованные величины отвечают показаниям часов Землянина с точки зрения летящего на ракете Космонавта).

Что же происходит с Землянином по мнению Космонавта на этапе торможения ракеты? Космонавт может считать, что к Землянину в начале 2-го этапа скачком прикладывается (в положительном направлении) однородное поле тяготения, которое в конце 2-го этапа скачком же выключается. Под действием этого поля скорость Землянина меняется от $-v$ до $+v$. Остается

проделать вычисления, которые покажут, что длительность этого этапа для Землянина перекрывает ту “экономия” времени, которую он осуществил (с точки зрения Космонавта) на 1-м и 3-м этапах.

Согласно ОТО (и пренебрегая скоростью на этапе торможения), на втором этапе время торможения по часам Землянина составит

$$\tau_2 = \tau'_2 (1 + \varphi/c^2) = \tau'_2 (1 + gH/c^2)$$

Учтем, что ускорение g можно записать в виде

$$g = 2v/\tau'_2$$

а пройденный путь H - в виде

$$H = v \tau'_1$$

Тогда получим:

$$\begin{aligned} \tau_2 &= \tau'_2 (1 + gH/c^2) = \tau'_2 [1 + (2v/\tau'_2)(v \tau'_1)/c^2] = \\ &= \tau'_2 [1 + (2v^2/c^2)(\tau'_1/\tau'_2)] = \tau'_2 + \tau'_1 (2v^2/c^2) \end{aligned}$$

Учитывая симметрию 1-го и 3-го этапа, положим

$$\tau_1 = \tau_3 = \tau, \quad \tau'_1 = \tau'_3 = \tau'$$

Тогда

$$\tau_2 = \tau'_2 + \tau' (2v^2/c^2)$$

Теперь вычислим суммарное время для трех этапов:

$$\begin{aligned} 2\tau + \tau_2 &= 2\tau' (1 - v^2/2c^2) + \tau'_2 + \tau' (2v^2/c^2) = \\ &= \tau' (2 - 2v^2/2c^2 + 2v^2/c^2) + \tau'_2 = \tau' (2 + v^2/c^2) + \tau'_2 \end{aligned}$$

(Как указано выше, штрихом отмечены показания часов Космонавта, нештрихованные величины отвечают показаниям часов Землянина с точки зрения летящего на ракете Космонавта).

Иными словами, суммарное время трех этапов по часам Землянина с точки зрения летящего на ракете Космонавта составит

$$T_{\text{сумм}} = \tau' (2 + v^2/c^2) + \tau'_2$$

Разность суммарного времени между часами Землянина и Космонавта в системе отсчета Космонавта составит:

$$\Delta T_{\text{сумм}} = [\tau' (2 + v^2/c^2) + \tau'_2] - [2\tau' + \tau'_2] = \tau' v^2/c^2$$

Как видим, время торможения τ'_2 в рассматриваемом приближении вообще *не вошло* в выражение для разности $\Delta T_{\text{сумм}}$, а также в отношение этой разности к суммарной длительности *первого и третьего* этапов (этап торможения сюда не включен):

$$\delta = \Delta T_{\text{сумм}} / 2 \tau' = 1/(2 v^2/c^2)$$

Таким образом, согласно мнению Космонавта, показания часов Землянина должны *превысить* показания его собственных часов в $(1 + \delta)$ раз по отношению к суммарной длительности *первого* и *третьего* этапов. Напомним, что согласно СТО показания часов Землянина, по мнению Космонавта, должны были быть, напротив, *меньше* этой суммарной длительности в $(1 + \delta)$ раз.

Что касается системы отсчета Землянина, то она является инерциальной, время торможения Космонавта можно положить равной нулю и, в строгом соответствии со СТО, с точки зрения Землянина показания часов Землянина должны *превысить* показания часов Космонавта в $(1 + \delta)$ раз по отношению к суммарной длительности этапов удаления и возвращения Космонавта.

Таким образом, парадокс часов в рамках ОТО исчезает благодаря характеру течения времени на этапе торможения часов.

2.9. Эксперименты по проверке общей теории относительности

Об экспериментах, подтверждающих выводы ОТО относительно темпа течения времени, рассказывается, в частности, в [Сажин]:

Первый эксперимент был сделан в 1971 г. Четверо часов, сделанных на основе цезиевых стандартов частоты, были помещены на два самолета и совершили кругосветное путешествие. Одни часы путешествовали в восточном направлении, другие обогнули Землю в западном направлении. Разница в скорости хода времени возникала из-за добавочной скорости вращения Земли, при этом учитывалось и влияние поля тяготения на полетной высоте по сравнению с уровнем Земли. В результате эксперимента удалось подтвердить общую теорию относительности, измерить различие в скорости хода часов на борту двух самолетов.

Измерения временной задержки, зависящей от потенциала, были сделаны четыре года спустя. Исследователи синхронизовали двое часов, затем поместили одни часы на вершину горы, а вторые оставили на физическом факультете, расположенном у подножья горы. Разница в высоте составляла 3250 м. Время за которое измерялась задержка часов составляло 66 дней. Из-за различия в потенциале гравитационного поля Земли скорости хода часов были различны. Измерения опять подтвердили общую теорию относительности и измерили задержку с точностью 15%.

Два года спустя подобный эксперимент был повторен в Японии. Исследователи поместили одни часы на гору, а другие под гору. Разница высот составляла 2818 м, а время измерения эффекта было две недели. Поскольку часы, используемые японскими исследователями, были значительно точнее, точность измерений составляла 5%. Вновь предсказания общей теории относительности были подтверждены.

Одни из наиболее точных измерений были сделаны во время высотного полета ракеты. На борту ракеты находился водородный мазер, который использовался в качестве высокостабильных часов. Ракета поднялась на 10 000 м, а затем упала в Атлантический океан. Для измерений потенциального члена в задержке часов пришлось компенсировать вклад доплеровского члена (ракета двигалась быстро), а также ионосферные эффекты. Тем не менее, измерения были благополучно проведены и правильность формулы для времени задержки была подтверждена с точностью 0.01%.

Процитируем, наконец, совсем свежую статью [Ям, 2004]:

Сегодня в продаже имеются GPS-приемники, определяющие свое положение с точностью до 15 м. Чтобы погрешность была меньше 30 м. координаты нужно вычислять с учетом релятивистской поправки. При синхронизации часов GPS-

приемника с часами спутника нельзя пренебрегать влиянием скорости на ход времени. Согласно теории относительности, в быстро движущихся объектах время течет медленнее, чем в неподвижных. Каждый спутник системы GPS мчится по орбите со скоростью около 14 тыс. км/ч, а значит, атомные часы на нем отстают от земных примерно на 7 мкс за сутки.

Еще сильнее на ход времени влияет тяготение. На орбите навигационных космических аппаратов, средний радиус которой составляет около 26 тыс. км, сила земного притяжения примерно в 4 раза меньше, чем на поверхности планеты. Поэтому часы на спутниках уходят вперед на 45 мкс за сутки. В итоге в системе GPS приходится вводить поправку в 38 мкс. Если этого не делать, то ошибка определения расстояния будет нарастать со скоростью 11 км в сутки. (На самом деле все несколько сложнее, поскольку спутники обращаются не по круговым, а по эллиптическим орбитам, и их удаленность от Земли периодически меняется.)

В 1970-х г.г. военным разработчикам первого варианта системы GPS необходимость внесения релятивистских поправок не казалась столь очевидной. Одни специалисты считали учет влияния скорости и тяготения необходимым, а другие - совершенно излишним. Прийти к единому мнению так и не удалось, поэтому первый навигационный спутник все-таки оснастили системой коррекции времени, но не включили ее, рассчитывая задействовать только в случае необходимости. Очень скоро выяснилось, что она должна работать постоянно.

3. ВРЕМЯ И КОСМОЛОГИЯ

3.1. Гравитационный парадокс и космологическая постоянная

Как известно, классическая теория тяготения основывалась на законе Ньютона. Ньютонианская концепция Вселенной в качестве своей существенной предпосылки использует представление о бесконечном трехмерном пространстве, заполненном материей. Такая концепция, как было показано в конце 19-го столетия, приводит к определенным трудностям. В. Паули в книге [Паули, 1947] со ссылкой на работы Неймана и Зеелигера напоминает, что закон всемирного тяготения Ньютона может быть строго применен лишь в том случае, если плотность массы Вселенной при стремлении расстояния к бесконечности стремится к нулю быстрее, чем $1/r^2$. В противном случае сила, действующая на материальную точку со стороны всех масс Вселенной, будет неопределенной. В качестве выхода Зеелигер предложил принять, что плотность массы конечна на любых расстояниях, а в выражение для ньютонова потенциала следует ввести экспоненциально убывающий с расстоянием множитель. Это, в свою очередь, приводит к необходимости модификации уравнения Пуассона. Описанная проблема получила название гравитационного парадокса.

В 1917 году Альберт Эйнштейн в работе [Эйнштейн, 1917] сослался на ту же трудность теории тяготения Ньютона для бесконечной Вселенной. Он также отметил, что граничное условие Ньютона в форме существования постоянного предела для гравитационного потенциала в пространственной бесконечности влечет за собой обращение на бесконечности в нуль плотности материи. Альтернативой является ненулевая плотность материи при бесконечно большом значении потенциала, но это противоречит наблюдаемым в реальности относительно невысоким скоростям звезд.

Добавлю, что гравитационный парадокс легко выявить, вычисляя величину давления, обусловленного гравитационным сжатием, в центре однородного шара. В качестве такого шара можно рассматривать не только планету или звезду, но и всю Вселенную (с центром в произвольной точке), заполненную равномерно распределенной материей. Абсолютная величина P давления оказывается пропорциональной квадрату произведения плотности шара ρ на его радиус L :

$$P = 2 \cdot \pi \cdot G \cdot L^2 \cdot \rho^2 / 3$$

где G - постоянная в законе всемирного тяготения Ньютона. Таким образом, при стремлении радиуса Вселенной в целом к бесконечности давление в какой-либо ее точке также стремится к бесконечности.

Возможность преодоления гравитационного парадокса Эйнштейн связал [Эйнштейн, 1917] с модификацией теории Ньютона за счет добавления в уравнение Пуассона нового (малого по величине) слагаемого с универсальной постоянной, чтобы затем реализовать эту идею в своей первоначальной стационарной космологической модели.

Очень важно, что при переходе от теории Ньютона к общей теории относительности Эйнштейн в действительности сделал не один, а сразу два принципиальных шага. Он не только ввел космологическую постоянную, отвечающую некоему загадочному (в том числе для него самого) отрицательному давлению, но и заменил бесконечную Вселенную Ньютона с евклидовой метрикой на новую неевклидову Вселенную, замкнутую на себя и не имеющую пространственных границ, хотя объем ее конечен. Читатель сможет зримо смоделировать для себя эту ситуацию, если по аналогии с трехмерным случаем вообразит себе переход от неограниченно простирающейся во все стороны обычной евклидовой плоскости к двумерной же, но неевклидовой поверхности глобуса. Площадь такой сферической поверхности конечна, несмотря на отсутствие у нее границ.

Переход к неевклидовой Вселенной был для Эйнштейна естественным следствием его концепции геометризации физики. А вот использовать отрицательное давление (“космологическую постоянную”) он был вынужден по той простой причине, что иначе просто не удавалось получить не зависящее от времени решение. В дальнейшем на смену концепции “застывшей” Вселенной пришла великая идея о возможности эволюции последней.

3.2. Нестационарная космологическая модель Эйнштейна-Фридмана

Современные представления об эволюции Вселенной восходят к простейшей космологической модели Эйнштейна-Фридмана [Эйнштейн, 1953], оперирующей с трехмерным неевклидовым пространством переменного во времени радиуса кривизны R (сферической гиперповерхностью 4-мерного евклидового шара). Указанное пространство предполагается в этой модели изотропным и заполненным “пылевидной” материей, а время выступает в качестве формального параметра, от которого и зависит “текущая” кривизна пространства. Уравнения Фридмана-Эйнштейна записываются в виде [Зельдович, Новиков, 1975]:

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

где G - постоянная в законе всемирного тяготения Ньютона, c - скорость света, ρ - плотность, P - давление, $k = 0, 1$ или -1 в зависимости от знака кривизны. Штрих здесь обозначает дифференцирование по времени.

Скалярное давление, которое содержится в правой части первого уравнения, может быть обусловлено скоростями частиц, т.е. связано с их кинетической энергией, так что для покоящейся материи такое (динамическое) давление равно нулю. Как уже было сказано, первоначально Эйнштейн пытался использовать отрицательное давление, не связанное с движением материи, чтобы получить не зависящее от времени решение. Это был вынужденный шаг с его стороны, поэтому позже он отказался от этой идеи в пользу нестационарного решения, предложенного Фридманом.

Хорошо известны три класса таких решений (найденных при условии *постоянства* энергии Вселенной), выбор между которыми зависит от соотношения между реальной (ρ) и “критической” ($\rho_{кр}$) величиной средней плотности материи во Вселенной:

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

Здесь под критической плотностью подразумевается величина

$$\rho_{кр} = 3 \cdot H^2 / (8 \cdot \pi \cdot G)$$

где H - постоянная Хаббла. Отметим, что в случае $\rho = \rho_{кр}$ постоянная Хаббла оказывается обратно пропорциональной возрасту Вселенной.

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

3.3. Статическое давление гравитирующей материи

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

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

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

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

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

Вообще допустимость использования приближения локально однородного поля тяготения заслуживает отдельного обсуждения. Прежде всего, полезно дать количественное

определение критерия локальной однородности, например, в виде $\Delta g/g \ll 1$, где Δg – разность между наибольшим и наименьшим значением напряженности, g – среднее значение напряженности в этой области. Используя такой критерий, можно аргументировать невыполнение условия локальной однородности как для статического поля тяготения, изображенного ниже на рисунке 3.1, так и, например, для поля вращающегося тела, если только отношение скорости углового перемещения к скорости поступательного не является достаточно малым (и при условии, что само поступательное движение достаточно медленное, чтобы рассматривать его участки как эквивалентные локально однородным областям поля).

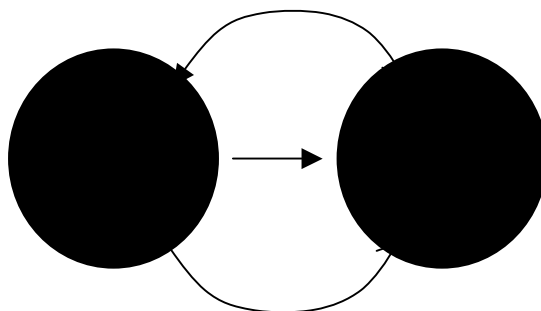


Рис. 3.1. Поле, не допускающее локальной однородности

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

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

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

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

Таким образом, принятие концепции ОТО ведет к отказу от ряда фундаментальных принципов, лежащих в основе физики. Во-первых, это отказ от законов сохранения энергии-импульса и момента количества движения вещества и гравитационного поля, вместе взятых. Во-вторых, отказ от представления гравитационного поля как классического поля типа Фарадея—Максвелла,

обладающего плотностью энергии-импульса. Для многих физиков, занимающихся ОТО, это неясно и до сих пор, другие же склонны рассматривать отказ от законов сохранения как величайшее достижение теории, низвергнувшей такое понятие, как “энергия”.

... Гравитационное поле описывается симметрическим тензором и является реальным физическим полем, обладающим плотностью энергии и импульса... Такое определение гравитационного поля возвращает ему физическую реальность, поскольку его уже даже локально нельзя уничтожить выбором системы отсчета, а следовательно, нет никакой (даже локальной) эквивалентности между гравитационным полем и силами инерции.

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

- РТГ настаивает на строгом выполнении законов сохранения, тогда как я (см. подраздел 3.7) связываю меру невыполнения этих законов с мерой отклонения от однородности и изотропности.
- РТГ утверждает, что геометрия пространства-времени “с необходимостью оказывается псевдоевклидовой (иными словами, теория строится в пространстве Минковского), ... фридмановская однородная и изотропная Вселенная бесконечна, и она может быть только плоской”, я же прихожу (см. подраздел 3.5) к римановой геометрии положительной кривизны.
- РТГ утверждает, что истинного коллапса в смысле ОТО не существует, в то время как я не разделяю этой точки зрения РТГ (см. подраздел 3.4).

Вместе с тем, некоторые результаты РТГ соответствуют тем, которые получены и мною, а именно:

- Плотность вещества во Вселенной точно равняется критической плотности (хотя геометрия и не плоская, см. подраздел 3.5)
- Суммарная плотность энергии вещества и гравитационного поля во Вселенной должна равняться нулю.

3.4. Коллапс обычный и необычный

Между тем в общей теории относительности успешно решаются задачи, в которых учитывается статическое давление материи. Одной из них является задача об однородном материальном шаре конечного радиуса [Толмен, 1974], решение которой было найдено Шварцшильдом. В частности, внутри однородного шара радиуса r_1 с плотностью ρ давление P материи (идеальной жидкости) описывается выражением (см. [Толмен, 1974]):

$$P = \Phi(r, r_1, R) \cdot c^4 / (8 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2)$$

где радиус кривизны R определяется соотношением

$$R^2 = 3c^2 / (8 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho)$$

а функция $\Phi(r, r_1, R)$ задается дробью вида

$$\Phi(r, r_1, R) = \frac{3\sqrt{1 - (r/R)^2} - 3\sqrt{1 - (r_1/R)^2}}{3\sqrt{1 - (r_1/R)^2} - \sqrt{1 - (r/R)^2}}$$

Гравитационный потенциал классической теории тяготения тесно связан с компонентой g_{00} метрического тензора в ОТО. Решение Шварцшильда дает для этой величины внутри шара выражение

$$g_{00} = \left(\frac{3}{2} \sqrt{1 - r_1^2 / R^2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - r^2 / R^2} \right)^2$$

а вне шара – отвечающее классическому потенциалу

$$g_{00} = 1 - r_1^3 / (R^2 r)$$

Обратим внимание на наличие радикалов. Р. Толмен в своей монографии замечает, что решение, как правило, является действительным, т.к. обычно радиус шара r_1 меньше, чем радиус кривизны R . Действительно, гравитационный радиус R_G такого шара равен

$$R_G = 2 \cdot G \cdot M / c^2 = 2 \cdot (4 \cdot \pi \cdot r_1^3 \cdot G \cdot \rho) / (3 \cdot c^2) = r_1^3 / R^2$$

откуда следует соотношение

$$R_G / r_1 = (r_1 / R)^2$$

Поскольку в обычных случаях отношение гравитационного радиуса шара к его геометрическому радиусу очень мало, то весьма велико отношение радиуса кривизны к геометрическому радиусу. При этом условии (например, уже при $R/r_1 = 10$) графики безразмерного давления - множителя $\Phi(r, r_1, R)$ - и компоненты g_{00} метрического тензора ведут себя так, как показано на рис. 3.2. Здесь и далее аргументом является относительное расстояние r/r_1 до центра шара.

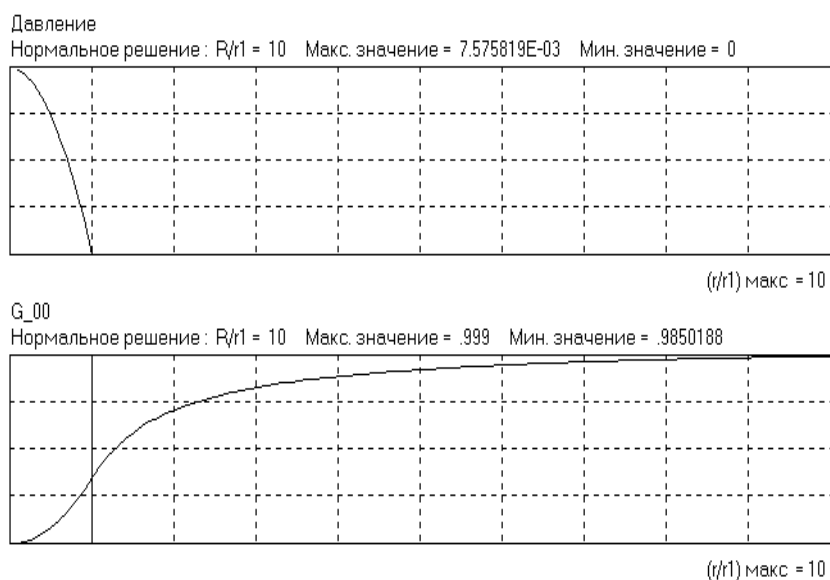


Рис. 3.2. Графики изменения безразмерного давления множителя $\Phi(r, r_1, R)$ и компоненты g_{00} метрического тензора в далеком от коллапса случае ($R/r_1 = 10$)

Между тем *не при всех* значениях отношения R/r_1 в отсутствие коллапса функция g_{00} имеет лишь один экстремум (минимум при $r = 0$). Такая ситуация возникает вблизи коллапса (но еще до его наступления). Если приравнять производную dg_{00}/dr к нулю, то при выполнении условия

$$9/8 > (R/r_1)^2 > 1$$

возникает еще один внутренний экстремум при

$$r/R = \sqrt{9r^2 / R^2 - 8}.$$

В этом случае данный внутренний экстремум будет минимумом, а экстремум при $r = 0$ теперь уже будет локальным максимумом. Указанный внутренний минимум трансформируется в пределе (при пограничном коллапсе) в излом компоненты g_{00} . На рис. 3.3 показан характер изменения g_{00} для двух близких к пограничному коллапсу случаев - до появления второго внутреннего экстремума ($R/r_1 = 1.1$) и при наличии такового ($R/r_1 = 1.015$).

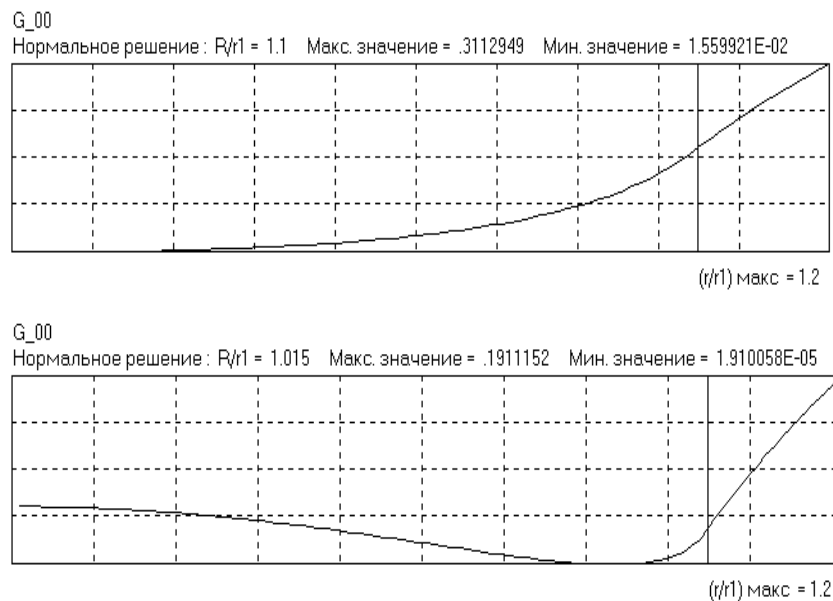


Рис. 3.3. Характер изменения g_{00} для двух близких к пограничному коллапсу случаев - до появления второго внутреннего экстремума ($R/r_1 = 1.1$) и при наличии такового ($R/r_1 = 1.015$).

Соответственно выглядят и графики давления, приведенные на рис. 3.4. При отсутствии второго экстремума (безразмерное) давление возрастает от нуля на границе шара до максимального значения в его центре. Совсем другая картина наблюдается при наличии второго экстремума. На промежутке от границы шара до экстремума давление сначала весьма резко увеличивается от нуля до максимума, затем в районе экстремума скачком падает до отрицательного (!) значения, а после этого сначала резко, а затем уже относительно плавно стремится к сравнительно небольшому по величине отрицательному значению в центре шара.

Итак, еще в отсутствие коллапса (но вблизи границы $R/r_1 = 1$, при которой он наступает), мы сталкиваемся с новым феноменом – отрицательным давлением. Отрицательные давления не являются для физики чем-то новым. В обычных условиях давление тел положительно, т.е. направлено так, как если бы тело стремилось расширяться. Это, однако, не обязательно, и тело может находиться также и в состояниях с отрицательными давлениями: в таких состояниях тело как бы “растянуто” и потому стремится сжаться. Например, отрицательным давлением может обладать перегретая жидкость; такая жидкость действует на ограничивающую ее поверхность с силой, направленной внутрь объема жидкости. В рассматриваемом случае

отрицательное давление может быть обусловлено “растяжением” объема вследствие изменения метрики.

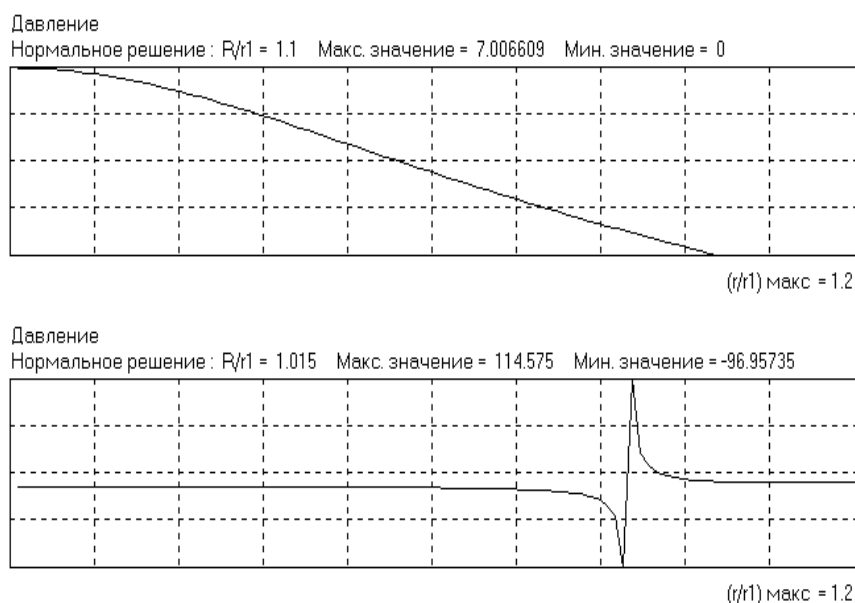


Рис. 3.4. Характер изменения безразмерного давления для двух близких к пограничному коллапсу случаев - до появления второго внутреннего экстремума ($R/r_1 = 1.1$) и при наличии такового ($R/r_1 = 1.015$).

Заглянем немножко вглубь таинственного явления, именуемого коллапсом. На первый взгляд этому препятствует изменение знака под радикалами в вышеприведенных выражениях для $\Phi(r, r_1, R)$ и g_{00} . Однако во многих случаях возникающую мнимую единицу удастся вынести из под корней и сократить, либо возвести в квадрат, так что проблемы возникают реже, чем можно было бы ожидать.

В случае пограничного коллапса шара (при $R = r_1$) выражение для $\Phi(r, r_1, R)$ вырождается в константу, имеющую значение -3 при любом значении $0 < r < r_1$. Важно отметить, что при коллапсе давление будет уже заведомо отрицательным. Далее, при пограничном коллапсе (рис. 3.5) на границе шара компонента g_{00} претерпевает излом, в который трансформируется, как уже отмечалось, появляющийся вблизи коллапса внутренний минимум компоненты g_{00} .

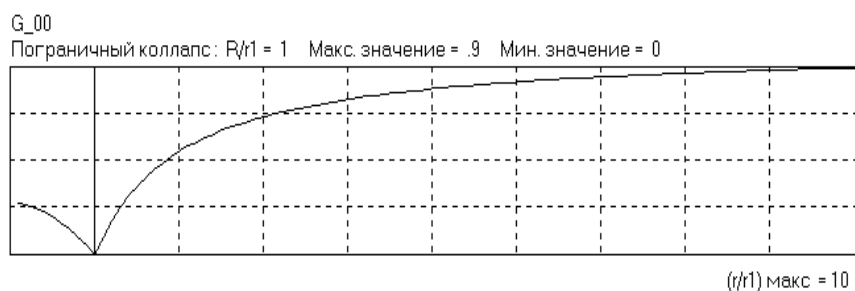


Рис. 3.5. Компонента g_{00} при пограничном коллапсе

На рис. 3.6 показаны графики давления и g_{00} при относительно сильном коллапсе ($R/r_1 = 0.1$). Из этих графиков видно, что при коллапсе не только давление, но и компонента g_{00} метрического тензора становится отрицательной еще вне границ шара и остается таковой вплоть до $r = R$, причем в этой последней точке производная данной величины бесконечно велика.

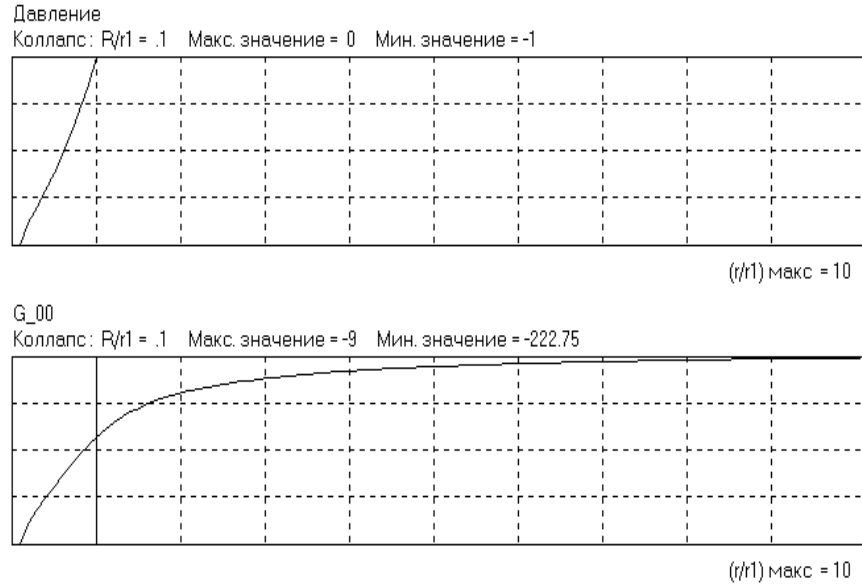


Рис. 3.6. Графики давления и g_{00} при относительном сильном коллапсе ($R/r_I=0.1$)

Представляет также интерес обсуждение ситуации в самом “ядре” шара, т.е. при $r < R$. В этой области давление оказывается комплексным. С моей точки зрения, это можно интерпретировать следующим образом. Изменение знака внутри радикала вида $\sqrt{1-(r/R)^2}$ физически можно сопоставить изменению знака под радикалом вида $\sqrt{1-(v/c)^2}$, т.к. кривизна есть мера потенциальной энергии гравитационного поля, а скорость частицы – мера ее кинетической энергии. Случай, когда выражение внутри последнего радикала меняет знак, отвечает переходу движущейся системы отсчета через световой барьер. При этом две пространственные компоненты скорости, перпендикулярные направлению движения, для неподвижного наблюдателя становятся мнимыми. Действительно, соответствующее преобразование Лоренца имеет вид:

$$v_x = (v'_x + V)/A, \quad v_y = v'_y \cdot \alpha/A, \quad v_z = v'_z \cdot \alpha/A,$$

где V – скорость движущейся системы,

$$A = 1 + (v'_x \cdot V)/c^2$$

и

$$\alpha = \sqrt{1-(V/c)^2} = \sqrt{1-\beta^2},$$

т.е. в целом вектор скорости оказывается комплексным. Остается вспомнить, что давление имеет размерность плотности, умноженной на квадрат скорости.

Итак, решение Шварцшильда связывает плотность шара с давлением материи внутри шара. Оно дает *конечную* (отличную от нуля) величину давления при сколь угодно малой ненулевой плотности материи. Таким образом, для однородного шара в общем случае отличны от нуля все компоненты тензора плотности энергии-импульса, сколь малой бы ни была плотность материи ρ . Кстати, заметим, что основное уравнение Эйнштейна исторически было сконструировано чисто эвристическим путем, его левая (геометрическая) часть приравнивается к правой (физической) части просто по аналогии с классическим уравнением Пуассона. Из только что рассмотренного примера видно, что нет никаких принципиальных оснований априори полагать равным нулю обусловленное гравитацией давление материи, которое существует и в теории, и в реальности.

Попытка распространить представление о материальном шаре на всю Вселенную представляется вполне логичной. При этом, хотя априорное пренебрежение статическим давлением в космологической модели можно пытаться мотивировать его малой величиной, нельзя быть уверенным в правильности получаемых результатов. Более того, при анализе космологической проблемы ситуация становится, как мне кажется, еще сложнее.

Действительно, при средней плотности вещества во Вселенной порядка 10^{-30} г/см³ гравитационный радиус нашей Вселенной достигает величины 10^{28} см, что, по видимому, не меньше, чем ее геометрический размер; следовательно, и отношение ее геометрического радиуса r_1 к радиусу кривизны R , скорее всего, больше единицы. А это означает, что рассмотрение решения для коллапсирующего шара – отнюдь не праздное занятие. При сильном коллапсе (когда $r_1/R \gg 1$) множитель $\Phi(r, r_1, R)$ следует преобразовать к виду:

$$\Phi(r, r_1, R) = \frac{3\sqrt{(r/R)^2 - 1} - 3\sqrt{(r_1/R)^2 - 1}}{3\sqrt{(r_1/R)^2 - 1} - \sqrt{(r/R)^2 - 1}}$$

Пренебрегая единицей в радикалах и рассматривая центральную область шара $R < r \ll r_1$, найдем, что пределом для $\Phi(r, r_1, R)$ в этом случае служит -1 , поэтому при указанном условии получаем, что

$$P = -c^4/(8\pi GR^2) = -\rho c^2/3$$

Еще раз отметим, что в случае строгого равенства $r_1/R = 1$ значение $\Phi(r, r_1, R)$ строго равно -3 в *любой* точке внутри шара (т.е. $P = -\rho c^2$).

3.5. Новые решения космологических уравнений

Вернемся к тезису автора о необходимости глобального учета гравитационного давления и будем считать в общем случае величину этого давления P в космологических уравнениях Эйнштейна отличной от нуля. Оказывается, что в этом случае возникают по крайней мере два новых замечательных решения.

Первое решение отвечает стационарному случаю $R' = 0$, $R'' = 0$. Подставив эти условия (при $k = 1$) в уравнения, получим:

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

откуда следует связь между давлением и радиусом кривизны:

$$\rho = 3 \cdot c^2 / (8 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2)$$

(такая же связь получается и при $k = -1$)

Но этот результат совпадает, как нетрудно заметить, с предельным случаем ($R < r \ll r_1$) задачи для локального однородного коллапсирующего шара, рассмотренной выше! Весьма сходный по сути дела результат получил для своей первоначальной модели А. Эйнштейн, когда, убедившись в отсутствии стационарного решения при $P = 0$, был вынужден искусственно ввести в свое уравнение знаменитую космологическую постоянную! В дальнейшем вопрос об этой величине и ее физическом смысле повис в воздухе и считается открытым вплоть до настоящего времени. Таковы издержки методологической традиции.

Второе замечательное решение возникает (только при $k = 1$), если принять условия $R' = c$, $R'' = 0$, согласно которым радиус кривизны растет строго пропорционально времени. Подставив данные условия в приведенные выше уравнения Эйнштейна, найдем:

$$2 \cdot (c/R)^2 = - 8 \cdot \pi \cdot G \cdot P / c^2$$

$$2 \cdot (c/R)^2 = 8 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho / 3$$

при этом коэффициент связи между давлением и радиусом кривизны по сравнению со стационарной моделью отличается в два раза. В обоих случаях соотношение между давлением и плотностью имеет вид:

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

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

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

$$P = - c^4 / (4 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2)$$

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

3.6. Замкнутость Вселенной

Космологическая модель Фридмана ничего не могла сказать о происхождении Вселенной. Напротив, развиваемый в данной работе подход позволяет довольно наглядным образом подойти к этой проблеме. Как отмечено в [Толмен, 1974], для любого материального шара с ненулевой плотностью метрика этой области искажается по отношению к евклидовой, ее геометрия совпадает с геометрией четырехмерной сферической гиперповерхности.

Мы уже рассматривали выше, как выглядит график компоненты g_{00} метрического тензора для поля тяготения обычного шара и коллапсирующего объекта. В первом случае его можно уподобить небольшой “ямке”, радиус кривизны которой много больше ее геометрического размера. Однако с ростом плотности вещества метрика все более деформируется, и “ямка” в конце концов превращается в своего рода “полость”, связанную с внешней поверхностью лишь узкой горловиной. Только одна эта горловина (или даже ее часть) и видна внешнему наблюдателю, тогда как непреодолимый барьер тяготения превращает центральную область объекта в “затерянный мир”.

С точки зрения внешнего мира это – черная дыра, необратимо поглощающая вещество и излучение. С другой стороны, для обитателей нашей Вселенной “пуповина”, связывающая ее с внешним Миром, должна казаться сферической белой дырой, из которой непрерывно вещество и излучение поступают и, быть может, позволяют судить о свойствах этого внешнего Мира. Тем, кто читал фантастическую повесть В.А.Обручева “Плутония”, это наверняка напомнит описанную там северную впадину, ведущую в гигантскую подземную полость с центральным светилом в центре Земли. Хочу также с удовлетворением отметить, что очень похожие рассуждения и рисунки приведены в [Сажин, 2002].

Может ли быть, что мы являемся обитателями именно такой черной дыры? Моя гипотеза утвердительно отвечает на этот вопрос. Отрицательный знак давления, обусловленный

непрерывно увеличивающимся размером нашего Мира, приводит именно к такому выводу. Да и сама замкнутость Вселенной получает физическое объяснение.

С другой стороны, выразив массу нашей Вселенной $M = \rho \cdot V$ через среднюю плотность $\rho = 3 \cdot c^2 / (4 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2)$ и объем 3-мерного неевклидова шара $V = 2 \cdot \pi^2 \cdot R^3$, непосредственно получим подтверждающее этот же вывод соотношение

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

где $R_G = 2 \cdot M \cdot G / c^2$ - гравитационный радиус Вселенной. То обстоятельство, что при ничтожной плотности вещества гравитационный радиус оказывается больше геометрического (и, следовательно, сама Вселенная - "черной дырой"), объясняется, как известно, следующим простым соображением: при заданной плотности и сферической форме гравитационный радиус пропорционален массе объекта, а геометрический - всего лишь кубическому корню из массы. Выполнение условия $R < R_G$ опять-таки согласуется с замкнутостью Вселенной, отсутствием у нее границ при конечном объеме. И, кроме того, подтверждает сформулированное выше предположение о том, что область локализации энергии покоя материи Вселенной не превышает области, в которой действует гравитация.

По современным оценкам ([Сажин, 2002]), значение вышеупомянутой космологической постоянной Эйнштейна для традиционной модели составляет примерно 10^{-56} см^{-2} . Нетрудно заметить, что эта величина очень близка к единице, деленной на квадрат радиуса Вселенной, что представляется весьма симптоматичным.

Далее, астрофизические наблюдательные данные, интерпретируемые в духе модели Эйнштейна-Фридмана, указывают, казалось бы, на два важных эффекта – *ускоренное* расширение Вселенной и существование в ней огромного количества "темной" материи ([Сажин, 2002], [Клапдор-Клайнротхаус, Цюбер, 2000]). Ускорение расширения объясняют отличием от нуля космологической постоянной. Одновременно в [Клапдор-Клайнротхаус, Цюбер, 2000] констатируется, что "ненулевое значение космологической постоянной производит тот же эффект, что и однородно распределенная темная материя". Таким образом, наша модель, учитывающая статическое давление материи, потенциально могла бы объяснить оба эффекта.

В современной ОТО построена специфическая картина коллапса звезд, которая, вообще говоря, может изучаться в трех различных системах отсчета, причем обычно используются модели, построенные для «точечной» массы. Первая система связана с внешним наблюдателем, вторая – сопутствует падающей в черную дыру материи, третья – система отсчета наблюдателя изнутри коллапсирующего объекта.

С точки зрения внешнего наблюдателя время падения материи в коллапсирующую звезду является бесконечно большим. Однако при переходе к сопутствующей системе отсчета оно оказывается конечным. Уже в сопутствующей системе отсчета временная и пространственные координаты выражаются через оба типа координат внешней системы, а во внутренней системе время и пространство вообще меняются местами, причем компоненты метрического тензора оказываются зависимыми от времени. Далее, история любой материальной точки в этой сопутствующей системе начинается в нулевой момент и заканчивается через один и тот же конечный промежуток времени в особой (сингулярной) точке, после которого уже не существует ничего ("барьер времени").

Как мне кажется, если рассматривать неточечный коллапсирующий объект, возможна иная "сшивку" внешней и внутренней картины коллапса. Уже никого не удивляет ситуация, при которой один и тот же промежуток времени в разных системах отсчета может быть конечным и бесконечным. Поэтому вполне непротиворечивым можно считать и то, что неограниченное сжатие (коллапс) черной дыры во внешней Супер-Вселенной выглядит изнутри (т.е. из нашей Вселенной) неограниченным расширением, которое *начинается* в сингулярной точке. И эта же точка является концом истории всех материальных точек внешней Супер-Вселенной, падающих в черную дыру. Особо подчеркну, что это не означает противоположного течения

времени снаружи и внутри черной дыры. Скорее, можно утверждать, что внутри черной дыры время течет ортогонально внешнему времени.

Таким образом, учет статического давления сжатия, обусловленного взаимным тяготением материи во Вселенной, позволяет получить новое решение уравнений Эйнштейна-Фридмана, согласно которому метрика характеризуется конечной кривизной и линейно возрастающим со временем радиусом кривизны. Решение справедливо для любой конечной средней плотности, представление о “критической” плотности в рамках данной модели не возникает.

3.7. Теория тяготения и закон сохранения энергии

Остановимся на одном важнейшем для физики обстоятельстве. До сих пор в ней практически не использовались модели, в которых принципиально не выполняется закон сохранения полной массы, а значит, и энергии. В частности, как отмечалось выше, общепринятое решение уравнений Эйнштейна-Фридмана получено именно при условии постоянства массы и энергии Вселенной в течение всей ее истории.

Поскольку новое решение получено для случая $R'=c$, то постоянная Хаббла оказывается обратно пропорциональной радиусу и возрасту Вселенной. Существенное отличие этого решения от похожего решения Фридмана состоит в том, что оно отвечает положительной кривизне 4-сферы, а не плоской метрике, и соответствует не *критическому*, а *произвольному* положительному значению средней плотности материи. Соответственно и *масса Вселенной*, равная произведению средней плотности на ее объем, *оказывается не постоянной во времени, а пропорциональной* радиусу кривизны и времени.

Таким образом, несохранение полной массы Вселенной (и связанной с ней энергии покоя) оказывается прямым следствием учета статического давления материи в уравнении Эйнштейна. Является ли этот факт катастрофой, побуждающей вообще отказаться от такого решения? Я думаю, что ситуация не так драматична.

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

Оставаясь в рамках *классической* механики, мы можем усомниться в том, что течение всех без исключения физических процессов не зависит от кривизны той области пространства, в которых эти процессы протекают. Напомним, что основные уравнения Лагранжа выводятся из вариационного принципа, согласно которому реальная траектория в пространстве обеспечивает наименьшее значение специального функционала - действия. Если кривизна пространства меняется с течением времени, то выбор начального и конечного момента варьирования принципиально влияет уже на само множество и характер варьлируемых траекторий, что в общем случае исключает независимость результата от этого выбора, т.е. тезис об однородности времени. Когда же мы переходим к *релятивистской* механике, мы непосредственно сталкиваемся с тем, что *от радиуса кривизны Вселенной зависит фундаментальный метрический тензор*, определяющий параметры механического движения. Более того, от величины этого радиуса, т.е. от возраста Вселенной, могут зависеть и другие фундаментальные величины, например – постоянная Планка (см. [Шульман, 2004])!

Вообще, когда речь заходит о распространении закона сохранения энергии на *общую теорию относительности*, то делается это скорее в силу традиции, чем исходя из строгого обоснования. Это приводит к известным логическим трудностям, по поводу которых у физиков имеются различные мнения, и на которых мы здесь останавливаться не станем. Можно подозревать, что традиция опоры на закон сохранения энергии постепенно приобрела чисто психологический характер, в точности повторяя судьбу пятого постулата Евклида.

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

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

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

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

Так, для Солнца относительное уменьшение массы за счет излучения в год составляет до 10^{-15} , тогда как текущий возраст Вселенной обеспечивает удельный прирост массы до 10^{-10} .

4. МОДЕЛЬ ШАРОВОЙ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ

4.1. Исходные представления о пространстве-времени в модели шаровой расширяющейся Вселенной

В космологической модели Эйнштейна-Фридмана представление о времени вводилось априори, а полученное решение в общем случае не было линейным во времени. Линейный рост во времени радиуса кривизны Вселенной в предложенной модели приводит нас к догадке, что, собственно говоря, *течение физического времени и проявляется в каждой ее точке именно как изменение величины этого радиуса*, что именно поэтому измерение времени разными средствами и способами должно давать принципиально согласованные результаты, и что, наконец, никакого иного времени как универсального физического феномена (относительно которого было бы возможно неравномерное изменение радиуса кривизны) просто не существует. Если эта догадка верна, то ход времени - это *не фон*, на котором тем или иным образом происходит расширение Вселенной, *а само содержание* этого процесса.

Развивая эту основополагающую для данной работы идею, будем исходить теперь из того, что положенный в основу математических построений космологических теорий 4-мерный шар следует рассматривать как объективно существующий; наша Вселенная расширяется в 4-мерном евклидовом пространстве и представляет собой 3-мерную гиперповерхность этого шара (подчеркнем, что мы полагаем это 4-мерное пространство совершенно одинаковым по всем четырем измерениям, которые ничем не отличаются между собой).

Живущие в 3-мерном мире существа и не подозревали бы о наличии 4-мерного суперпространства, если бы не процесс расширения шара. Этот процесс объективно выделяет в каждой точке гиперповерхности шара направление, нормальное к ней и не принадлежащее ей самой. Вот это направление (4-е измерение) в каждой точке 3-мерной Вселенной и представляет собой *истинное время*.

В силу расширения шара последовательная совокупность экземпляров его внешней гиперсферы, подобно годичным кольцам на срезе ствола дерева, отмечает последовательность моментов времени существования Вселенной. Иными словами, вектор времени направлен от центра шара вдоль его радиуса и не принадлежит самой гиперповерхности шара. Напротив, оставшиеся три пространственных вектора 4-мерного ортогонального базиса всегда принадлежат самой текущей гиперсфере, характеризующейся внутренней неевклидовой (сферической) геометрией. Таким образом, в каждый отдельный момент времени наша Вселенная трехмерна и отличается конкретным значением радиуса кривизны (радиуса 4-сферы). Течению времени отвечает возрастание этого радиуса. Заметить течение времени мы можем, выявляя косвенные признаки непостоянства радиуса кривизны.

Исходная идея теории шаровой расширяющейся Вселенной (ТШРВ) состоит в обусловленности течения времени феноменом расширения Вселенной. Поэтому *одновременными* должны считаться 4-мерные события, чьи образы-точки являются точками пересечения множества мировых линий *с одной и той же текущей гиперсферой*. Собственно, каждая такая гиперсфера, будучи внешней оболочкой 4-шара в текущий момент времени, представляет собой как бы мгновенную фотографию Вселенной, поэтому мы будем называть ее *изохроной*.

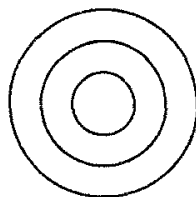


Рис. 4.1. Изохроны, соответствующие увеличивающемуся возрасту Вселенной

Изменение возраста Вселенной однозначно ассоциируется с 4-мерным расстоянием между изохронами. Поэтому естественно ввести понятие абсолютного времени, отождествив его с этим расстоянием (деленным на скорость света c), которое должно отсчитываться вдоль 4-мерного радиуса. С другой стороны, если разным моментам возраста Вселенной отвечают различные изохроны, то говорить о (3-мерных) пространственных промежутках в ТШРВ можно лишь применительно к различным точкам одной и той же изохроны.

Такое определение времени, вообще говоря, интуитивно прозрачно и, как оказывается, исключительно плодотворно. Оно позволяет объяснить само понятие движения, а также постигнуть истинный смысл мира Эйнштейна - Минковского и преобразований Лоренца. Однако для этого придется пересмотреть некоторые привычные представления. Так, мы откажемся оперировать с 3-мерными образами “частиц” и иных объектов, с которыми имеет дело современная физика. Для нее понятие “мировой линии” частицы является скорее метафорой, и характерно “наблюдение” за частицами в пределах ограниченных отрезков времени. В противоположность этому следует принять, что исходными и объективно существующими объектами изучения являются как раз мировые линии, которые наше “3-мерное” сознание воспринимает как фрагменты в малой области пространства-времени. Именно мировые линии, с моей точки зрения, обладают теми объективными свойствами, которые должны быть положены в основу нового научного подхода, и эти свойства носят фундаментально глобальный (по отношению к размерам 4-мерного шара) характер.

С этой новой точки зрения не существует бесконечного множества независимых механических движений. Существуют мировые линии “движущихся” тел, направленные под тем или иным углом к линии времени – нормали к гиперповерхности 4-шара. *Угол наклона и определяет скорость пространственного движения.* При увеличении радиуса шара точка пересечения мировой линии с текущей гиперповерхностью “перемещается” в точности так, как это предсказывается для движущейся материальной частицы современной физикой.

В частности, покоящиеся в *пространстве* объекты (например, галактики), у которых угол отклонения от нормали равен (точнее, близок к) нулю, т.е. мировые линии совпадают с нормалью к гиперсфере, “удаляются” друг от друга, как мы увидим в следующем подразделе, по закону Хаббла. Скорость их взаимного удаления пропорциональна расстоянию между ними. Для объектов, у которых угол отклонения мировой линии от нормали отличен от нуля, он не может превысить 90 градусов, поэтому естественным образом возникает *предельная скорость механического движения* (скорость света).

Три варианта движения показаны на рис. 4.2. Левая фигура иллюстрирует эффект Хаббла (увеличение расстояний между *покоящимися* объектами). Центральная фигура отвечает инерциальному движению, т.е. *прямолинейной* мировой линии (т.е. с постоянной скоростью). При таком характере мировой линии по мере возрастания радиуса Вселенной пропорционально изменяется и величина пути движущейся частицы. Таким образом, *инерциальное движение не постулируется*, а также возникает в качестве естественного *следствия* модели. На правой фигуре показана мировая линия при неинерциальном движении.

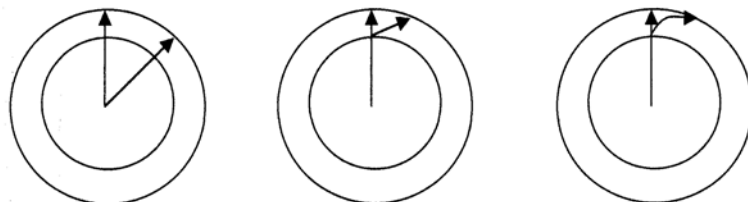


Рис. 4.2. Эффект “перемещения” точек на поверхности гиперсферы для неподвижных в пространстве объектов (слева), движущихся по инерции (в центре) и ускоренно (справа)

4.2. Закон Хаббла

Итак, согласно нашему подходу, именно само *увеличение радиуса кривизны Мира* (реальный физический феномен) *воспринимается нами как течение времени*.

Начнем с относительно неподвижных объектов - галактик. Несложно показать, что если именно возрастающую величину радиуса принять в качестве меры времени, то из простейших геометрических рассуждений сразу выводится закон Хаббла.

Действительно, проведем две прямолинейные мировые линии из центра (4-мерного) шара, “пронзающие” его поверхность. По мере его расширения пара лучей - мировых линий - как бы пересекает последовательность концентрических сфер, что и порождает эффект “разбегания” образов точек пересечения.

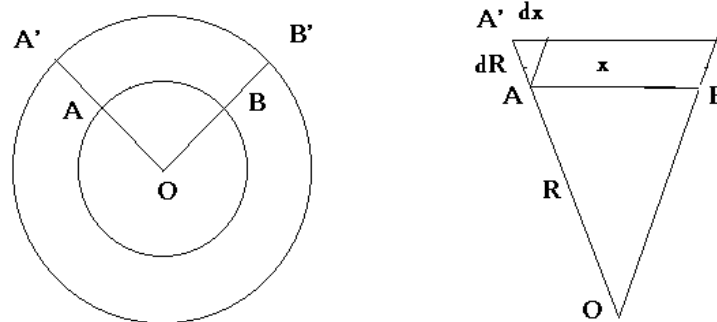


Рис. 4.3. Модель эффекта Хаббла

Рассматривая значение радиуса R “текущей” сферы как параметр, вычислим производную по этому параметру расстояния x между образами двух точек A и B (рис. 4.3), т.е. формальную “скорость” их разбегания в функции изменения R .

Для достаточно близких точек на сфере из подобия треугольников вытекает (рис.3.2), что

$$dx/dR = x/R$$

Заметим, что этим соотношением определена постоянная величина - угол с вершиной в центре расширения. Ничто не мешает нам выразить формальный параметр - радиус R - через любой другой, пропорциональный ему. Обозначим новый параметр через t , а в качестве коэффициента пропорциональности выберем любую константу V_0 с размерностью скорости. Тогда вместо приведенного соотношения получим:

$$dx/(V_0 \cdot dt) = x/(V_0 \cdot t)$$

или, после сокращения на V_0 в знаменателе:

$$dx/dt = x/t$$

Назовем теперь параметр t “временем”, а производную $v = dx/dt$ – “скоростью разбегания”. Чтобы получить закон Хаббла, остается лишь ввести постоянную его имени $H = 1/t$:

$$v = H \cdot x,$$

причем значение параметра t однозначно связано с экспериментально определяемой величиной H . Если мы хотим отождествить параметр t с “настоящим” временем, то в качестве константы

V_0 следует принять скорость света c - экспериментально определенную константу пропорциональности между временным и пространственным эталонами расстояния. Теперь можно найти выражение и для радиуса кривизны “текущей” сферы:

$$R = c / H$$

4.3. Диаграммы причинности

Интересно сравнить представления о физической причинности в теории относительности и развиваемой здесь модели. В СТО эти представления наглядно изображаются общеизвестной диаграммой на рис. 4.4. На этой диаграмме некоторое интересующее нас (4-мерное) событие помещено в начало координат (точку пересечения осей t и x).

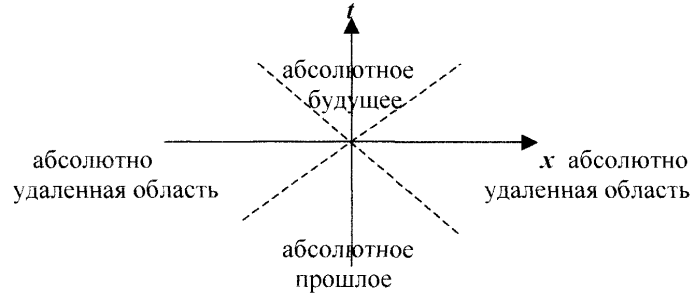


Рис. 4.4. Диаграмма “прошлое - будущее” в СТО

Пунктиры начального “светового конуса” разграничивают три области прилегающего континуума. Если другое событие расположено в области абсолютного прошлого по отношению к первому событию, то в любой системе отсчета оно предшествует первому, 4-мерный интервал между двумя событиями является времениподобным, а наименьшим временным промежутком они разделены в той системе отсчета, где их пространственные компоненты совпадают (т.е. в системе отсчета, “движущейся” от первого события ко второму). Симметричным образом обстоит дело в области абсолютного будущего, только здесь в любой системе отсчета первое событие предшествует второму. Если же второе событие лежит вне “светового конуса”, то в любой системе отсчета эти события происходят в разных местах пространства, причем наименьшим расстояние между ними является в той системе отсчета, где они происходят одновременно; это – “область абсолютного удаления” событий.

В развиваемой здесь теории ситуация трансформируется следующим образом: поскольку области пространства-времени в СТО, разделяемые изохронными поверхностями, лежат целиком *внутри* начального светового конуса, т.е. отвечают только причинно-связанным событиям, постольку на диаграммах ТШРВ *вообще нет места т.н. абсолютно-удаленным* точкам, лежащим *вне* начального светового конуса!

В рамках локального подхода, когда изохрона (сечение Вселенной данного радиуса, отвечающего возрасту T) изображается просто горизонтальной линией (см. рис. 4.5), область абсолютного будущего располагается над этой линией, область абсолютного прошлого – под линией, а абсолютно удаленная область совпадает с 3-мерным сечением Вселенной. В отличие от СТО, область вне начального “светового конуса” вырождается в 3-мерную гиперповерхность, т.е. совпадает с этим “световым конусом”.

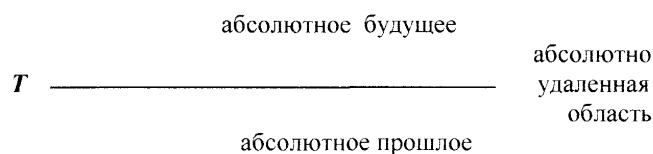


Рис. 4.5. Диаграмма “прошлое - будущее” в ТШРВ (локальное представление)

При глобальном рассмотрении пространственное сечение Вселенной изображается (на рис. 4.6) окружностью, совпадающей с абсолютно удаленной областью. Область абсолютного прошлого лежит внутри, а область абсолютного будущего – вне окружности.



Рис. 4.6. Диаграмма “прошлое - будущее” в ТШРВ (глобальное представление)

4.4. Эволюция картины мира и специальная теория относительности

Нам понадобится также прояснить круг вопросов, связанных с *эволюцией* картины мира в рамках модели пространства Минковского, обладающего нулевой кривизной.

Для перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой в СТО используются преобразования Лоренца, т. е. преобразования *поворота* в 4-мерном псевдоевклидовом пространстве. Эти преобразования образуют группу Лоренца, включающую вращения в трех чисто пространственных и в трех пространственно-временных плоскостях (последние называются *бустами*). Между тем существует более обширная группа преобразований в этом пространстве – группа Пуанкаре, которая, помимо преобразований поворота, содержит также операции сдвига вдоль трех пространственных и одной временной оси. Группа Пуанкаре характеризуется поэтому 10 параметрами. Для каждого из 6 вращений и 4 сдвигов можно ввести линейный дифференциальный оператор (генератор), позволяющий выразить в первом приближении отклонение вектора при малом отклонении соответствующего параметра преобразования (угла поворота или величины сдвига). При этом указанные *математические* операторы с точностью до размерной константы совпадают с основными *физическими* операторами (момента импульса, импульса и энергии). Именно по этой причине законы сохранения названных физических величин связаны с симметрией пространства Минковского относительно поворотов и сдвигов.

Казалось бы, параллельный сдвиг во времени (назовем его сдвигом Пуанкаре) – единственно возможный вид отображения множества всех 4-мерных событий в себя, отвечающий переходу к новому моменту времени в качестве нулевого (т.е. текущего) отсчета. В этом случае для последовательности световых импульсов, испущенных из некоторой пространственной точки, мы получим ряд световых конусов, показанных на рис. 4.7. С течением времени, которое (течение) само по себе является уже не математическим, а *физическим* феноменом, точки одного светового конуса (например, s_0) переходят в точки следующего светового конуса (например, s_1), лежащие на той же самой временной вертикали (например, проходящей через координату x_1).

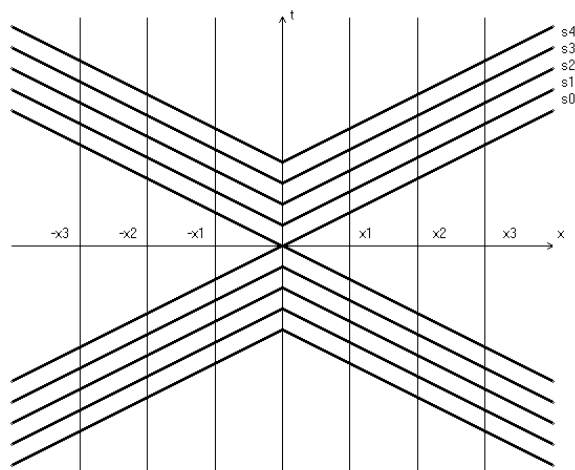


Рис. 4.7. Последовательность световых гиперповерхностей, отвечающая сдвигу Пуанкаре

Однако такая модель хронологической эволюции, во-первых, не является априорно единственно возможной, во-вторых, не согласуется с вышеописанной моделью изохрон ТШРВ, а в третьих (и это главное!) не удовлетворяет требованиям релятивистской инвариантности.

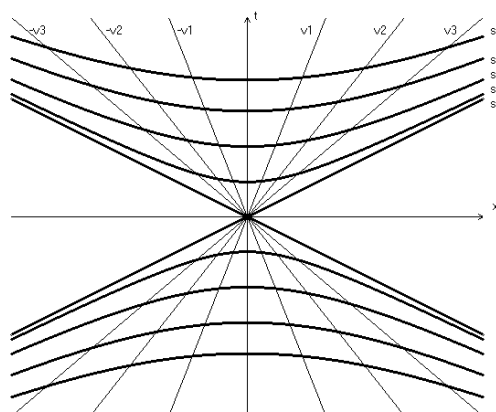


Рис. 4.8. Последовательность гиперповерхностей, отвечающая E-сдвигу

Действительно, в другой системе координат выбранная нами линия, проходящая через координату x_1 , уже не будет параллельной оси времени. Кроме того, расстояния вдоль новой оси времени между световыми конусами в новой системе отсчета не будут равны этим расстояниям в старой системе. Поэтому выбранные нами два семейства геометрических мест не позволяют инвариантным образом параметризовать все множество 4-мерных событий и описать их (реальную!) эволюцию во времени.

Для соблюдения требований релятивистской инвариантности нам необходимо выбрать другую пространственно-временную сетку (см. рис. 4.8). Как мы видели выше, инвариантно определенными при любых преобразованиях Лоренца оказываются семейства гиперповерхностей

$$t^2 c^2 - r^2 = const,$$

расстояния между которыми по оси времени равны в любой системе отсчета. Далее, также инвариантным в любой системе отсчета оказывается положение прямых линий, соединяющих начало координат с заданной 4-мерной точкой. В результате мы фактически построили Лоренц-инвариантную систему координат. Аналогичным образом осуществима параметризация абсолютно удаленных *пространственных* слоев *вне* начального светового конуса, но мы не будем на этом останавливаться.

На самом деле мы также определили траектории “дрейфа” образов 4-мерных событий при некотором сдвиге во времени системы координат. Действительно, если все выбранные нами инвариантные гиперповерхности по оси времени расположены одна от другой на одном и том же расстоянии, то и расстояния между ними вдоль любой радиальной линии между собой также будут равны (каждая из этих линий играет роль оси времени в соответствующей системе координат). Соответственно, проекции отрезков этих линий на ось времени (и притом в любой системе координат) также будут равны между собой. Таким образом, мы имеем полное право определить такой *новый* тип сдвига во времени, при котором точки одной гиперповерхности в точности переходят в соответствующие точки следующей гиперповерхности, т.е. имеет место как бы “параллельный” перенос этих поверхностей! Для хронологического оператора, реализующего подобный эволюционный сдвиг, я предлагаю использовать название “Е-оператор” (как больше понравится читателю – от слова “эволюция” или в честь автора теории относительности).

Этот Е-сдвиг, по-существу, определяет не параллельный перенос оси времени в какой-либо случайно выбранной системе координат, а сдвиг *интервала* в пространстве Минковского. Далее, пространственные сдвиги и все вращения должны теперь также определяться в 4-мерной точке не для произвольно выбранной системы координат, а по отношению к соответствующей гиперсфере и соответствующему направлению скорости. В совокупности все эти модифицированные преобразования образуют новую 10-параметрическую Е-группу, т.е. замкнутое множество операций, и порождают соответствующие генераторы. В частности, Е-оператор энергии соответствует симметрии пространства Минковского не вдоль произвольно выбранной оси времени, а вдоль объективно заданной мировой линии инерциального движения пробного тела.

Легко видеть, что представление о гиперсферах в пространстве Минковского, переходящих одна в другую под действием хронологического Е-оператора, полностью соответствует представлениям ТШРВ об изохронах.

5. ИНЕРЦИАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

5.1. Локальное приближение модели шаровой расширяющейся Вселенной

При огромном значении *текущего* (современного нам) радиуса 4-шара сама кривизна 3-мерной Вселенной становится крайне малой. Вместо ряда концентрических сфер-изохрон для *локального* анализа становится достаточным и удобным рассматривать параллельные слои изохрон, отвечающие Вселенной в различные моменты времени. Мировые линии, направленные *по радиусу* 4-шара, т.е. вдоль вектора времени, являются ортогональными к параллельным изохронам и физически отвечают “дрейфу во времени” *неподвижных* частиц. Напротив, мировые линии, *пересекающие изохроны под непрямым углом*, отвечают равномерно движущимся частицам.

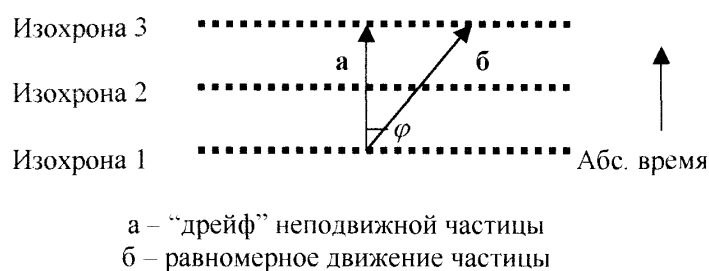


Рис. 5.1. Локальное представление расширения Вселенной

По мере расширения Вселенной (и исключительно за счет этого обстоятельства) расстояние между точками пересечения двух приведенных мировых линий вдоль текущей изохроны Вселенной изменяется *равномерно и прямолинейно*. Тем самым, как уже было отмечено, представление об инерциальном движении переводится из априорного (и часто приводящего к порочному кругу определений) во вторичное, которое непосредственно и естественно вытекает из порождающей его исходной модели.

Мы снова можем отметить существование естественного ограничения на возможный угол отклонения мировой линии от нормали к изохроне; очевидно, этот угол не может быть больше прямого, что, бесспорно, увязывается с наличием предельной скорости движения, равной упомянутой выше величине c . Отношение v/c скорости v движения частицы к скорости света оказывается мерой (синусом) угла отклонения вектора 4-мерного перемещения от нормали к изохроне. *Особо важным является то, что эта мера неаддитивна: при сложении углов результирующая относительная скорость не равна сумме относительных скоростей.* Наконец, понятно, что движение с предельной скоростью c (скоростью света) происходит *вдоль изохроны – текущего* сечения Вселенной, перпендикулярно к ее радиусу.

Мы можем приступить к установлению соответствия между СТО и ТШРВ. При этом необходимо проводить четкое различие между обычной системой координат (“время-перемещение”) и используемой в ТШРВ системой “нормаль-изохрона” (речь идет о поверхности 4-сферы). Именно последняя - вновь введенная - система координат позволит нам избежать привлечения концепции псевдоевклидовой метрики, лежащей в основе формализма Минковского.

Как мы видели выше, последовательность вложенных гиперповерхностей фактически определяет течение *абсолютного* времени в рамках СТО. На рис. 5.2 воспроизведена типичная для СТО система координат: по оси ординат отложено время t , по оси абсцисс - перемещение x . Прямой линией под углом 45° обозначен световой конус, выходящий из *начальной* точки движения O .

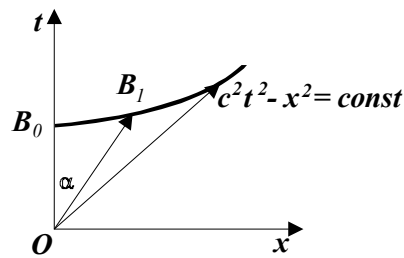


Рис. 5.2. Типичная система координат СТО

Для *всех* точек *этого* конуса выполняется условие $c^2 t^2 - x^2 = 0$. Это условие выполняется и в *любой другой* инерциальной системе, где значения t' и x' , в общем случае, отличаются от значений t и x .

Внутренней прямой линией под углом $\alpha < 45^\circ$ к оси времени изображена мировая линия частицы (от события O до события B_1), скорость которой меньше скорости света. Для такой линии угол α отклонения вектора скорости от оси времени будет меньше 45° ; этот угол определен соотношением

$$\operatorname{tg} \alpha = x/(c \cdot t) = v/c$$

Данный угол поворота относительно временной оси, собственно говоря, отвечает выбору в СТО системы отсчета. Все множество физически реализуемых систем отсчета соответствует совокупности допустимых углов поворота.

Перейдем теперь к построениям в ТШРВ. Как изобразить в системе “нормаль-изохрона” то, что ранее было построено в системе “время-перемещение”?

Прежде всего условимся в соответствии с рис. 5.1 изображать изохроны линиями, параллельными оси абсцисс. Далее, по вертикальной оси будем откладывать величину интервала (в терминологии СТО), деленного на скорость света, или абсолютного времени (в терминологии ТШРВ) – таким образом расстояние между указанными поверхностями, деленное на скорость света, для *неподвижного* наблюдателя в СТО будет совпадать с промежутком абсолютного времени между соответствующими изохронами.

Когда неподвижный наблюдатель (по его часам) в СТО достигает точки B_0 , движущийся наблюдатель по *собственным часам* достигнет точки B_1 (все прямые мировые линии, выходящие из начальной точки и заканчивающиеся на кривой $c^2 t^2 - x^2 = const$, согласно СТО, по определению обладают этим свойством). Если скорость движения наблюдателя B_1 очень мала, то время движения B_1 , показываемое часами *неподвижного* наблюдателя B_0 , будет практически равно абсолютному времени. Если же скорость движущегося наблюдателя велика, то время его движения до заданной изохроны по часам неподвижного наблюдателя будет больше, согласно СТО, в $[\sin (v/c)]^{-1}$ раз. Иначе говоря, в системе “нормаль-изохрона” время t , показываемое часами неподвижного наблюдателя, будет изображаться *наклонной* мировой линией, соединяющую начальную точку предшествующей изохроны с точкой последующей изохроны, отстоящей от конца мировой линии неподвижного наблюдателя в точности на расстояние x , которое определит этот неподвижный наблюдатель по *своей* линейке.

Спрашивается, как соотносятся между собой угол поворота α в системе “время-перемещение” (СТО) и угол φ отклонения вектора 4-мерного перемещения (с определенной скоростью, см. рис. 5.1) от кратчайшего 4-мерного пути (с нулевой скоростью) между сечениями Вселенной (в системе “нормаль-изохрона”)? Легко видеть, что угол φ на рис. 5.1 не равен углу α на рисунке 5.2; действительно, когда первый стремится к 90° , второй стремится к 45° . С учетом определений углов мы можем заключить, что $\operatorname{tg} \alpha = \sin \varphi$.

С другой стороны, между этими углами заведомо установлено взаимно-однозначное соответствие, так что переходу от одного вектора 4-мерного перемещения к другому в системе

“нормаль-изохрона” всегда отвечает совершенно определенное преобразование Лоренца (в системе “время-перемещение”). При этом в СТО инвариантом служит интервал, а в ТШРВ, как легко видеть из рис. 5.1 - промежуток абсолютного времени (расстояние) между изохронами.

Мы, таким образом, получили наглядную интерпретацию преобразования Лоренца средствами чисто евклидовой (а не псевдоевклидовой) геометрии, причем во вновь введенной системе координат аргумент преобразования определяется не через гиперболический арктангенс (как в СТО), а через обычный арксинус скорости. При этом необходимость в использовании (и физической интерпретации) мнимых отрезков и углов отпадает.

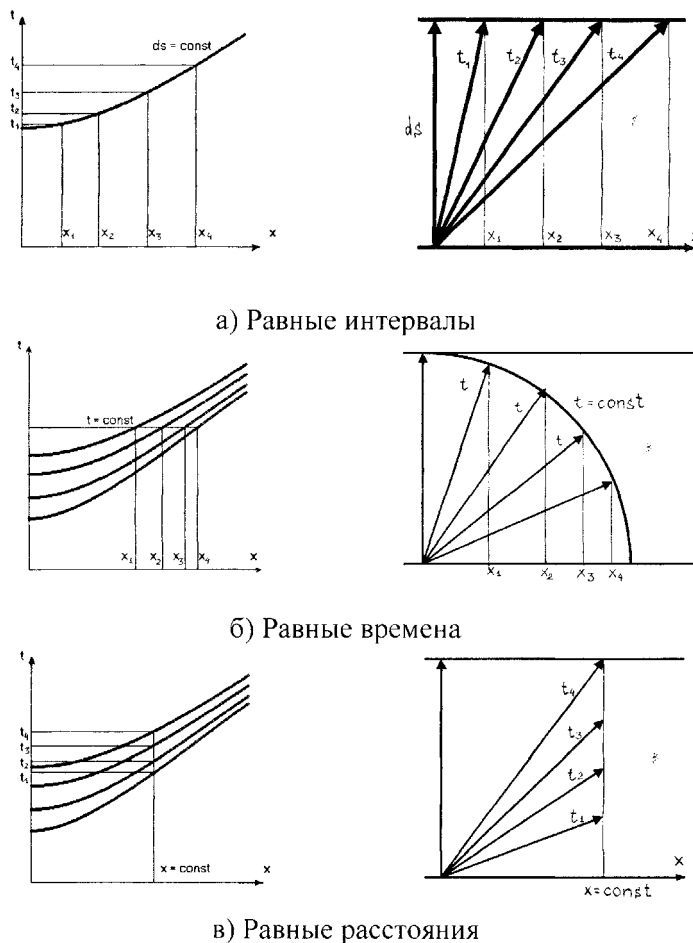


Рис. 5.3. Сопоставление представлений в СТО и в ТШРВ

Сопоставим некоторые характерные случаи, представленные, соответственно слева и справа на рис. 5.3 в СТО и в ТШРВ. На диаграмме (а) изображены события, отвечающие перемещениям из начала координат в точки линии, определенной условием *постоянства интервала* до них $c^2t^2 - x^2 = ds^2 = const$. Слева на традиционных осях отмечены координаты точек $\{x_1, t_1\}, \dots, \{x_4, t_4\}$. Справа в системе осей “нормаль-изохрона” показаны те же самые перемещения между двумя параллельными изохронами: здесь величина промежутка абсолютного времени (интервала) между изохронами отложена по вертикали, времени движения соответствуют наклонные линии, перемещения отложены вдоль изохроны (в данном случае все частицы перемещаются между одной и той же парой изохрон!).

На диаграмме (б) изображена ситуация, когда группа частиц, в одно и то же время (но с различными скоростями) покинувших начальную точку, *одновременно* (с точки зрения неподвижного наблюдателя СТО) достигнет ряда *различных* изохронных поверхностей. Соответственно и в ТШРВ концы перемещений, лежащих на окружности постоянного радиуса, принадлежат *разным* изохронам, т.е. *различным* сечениям Вселенной. Как получить

соответствующую диаграмму? Каждому значению скорости отвечает свое значение угла φ . Поэтому в данном случае справедливо условие $x = t \cdot \sin \varphi = \text{const} \cdot \sin \varphi$, что и соответствует окружности (в функции угла φ).

На диаграмме (в) изображена ситуация, когда группа частиц, в одно и то же время покинувших начальную точку, достигает *различных* изохронных поверхностей в точках, удаленных (с точки зрения неподвижного наблюдателя СТО) *на одно и то же* расстояние от этой начальной точки. Соответственно и в ТШРВ концы перемещений, лежащих на одной и той же вертикали, принадлежат *разным* изохронам, т.е. *различным* сечениям Вселенной.

5.2. Масса, энергия и импульс частиц

Когда мы рассматриваем Вселенную, как расширяющуюся 3-мерную гиперповерхность 4-мерного шара, то места локализации масс материальных частиц во Вселенной представляют собой точки пересечения этой гиперповерхности с мировыми линиями. Тем самым мировым линиям приписывается физический, а не абстрактный иллюстративный смысл. Уместно ожидать, что этот физический смысл может проявляться более существенным образом, нежели на уровне простой словесной констатации.

В частности, при глобальном рассмотрении Вселенной мы можем предположить, что такая фундаментальная характеристика частицы, как ее масса покоя, является некоторой относительной величиной. Такое отношение могло бы быть составлено, например, из радиуса 4-мерного шара-Вселенной и некоторого характерного размера, объективно связанного с физическими свойствами частицы.

Напомним теперь, что каждой частице с энергией E и импульсом P может быть сопоставлена волна де Бройля с периодом колебаний τ и длиной λ , причем:

$$E = h/\tau, P = h/\lambda$$

где h - постоянная Планка.

Выразив минимально возможные значения энергии E_0 и импульса P_0 через радиус кривизны Вселенной R , получим:

$$E_0 = c \cdot h/R, P_0 = h/R$$

и для любой частицы с энергией E и импульсом P найдем:

$$E/E_0 = R/(c \cdot \tau), P/P_0 = R/\lambda$$

Но отношения, стоящие в *левой* части каждого равенства, пропорциональны инертной массе частицы m ; в *правой* же стороне каждого из равенств стоит характерное соотношение между длиной волны де Бройля и радиусом кривизны Вселенной. Таким образом, масса оказывается квантовым числом, определяющим кратность волны де Бройля по отношению к базовому геометрическому параметру Вселенной, причем минимальная масса покоя (отвечающая энергии первой гармоники кривизны) равна:

$$m_0 = h/(R \cdot c) = h \cdot H/c^2$$

Эта величина крайне мала, порядка 10^{-66} г, тогда как масса электрона составляет около 10^{-27} г.

Теперь нам предстоит сделать важный шаг. Мы определили "текущую" массу частицы через отношение радиуса кривизны Вселенной к длине волны де Бройля. Но с течением времени радиус Вселенной возрастает. Как же ведет себя масса в целом?

Если бы длина волны де Бройля также возрастала пропорционально этому радиусу, мы, повидимому, вообще не смогли бы обнаружить изменение размеров Вселенной, в том числе и

знаменитого "красного смещения". Мне кажется логичным признать, что волновые параметры частиц неизменны. Этот факт может рассматриваться как подтверждение тезиса о том, что масса материи растет прямо пропорционально размеру и возрасту Вселенной.

Пусть $v_x = dx/dt$, $v_y = dy/dt$, $v_z = dz/dt$ – компоненты обычной 3-мерной скорости v . В СТО (система координат “время-перемещение”) вводится определение псевдоевклидового вектора нормированной 4-мерной скорости частицы – он направлен вдоль мировой линии частицы, его длина равна единице по определению. Умножив все компоненты этого вектора на величину скорости света c , представим полученный вектор в виде:

$$\mathbf{u}^* = \{c/(1-v^2/c^2)^{1/2}, iv_x/(1-v^2/c^2)^{1/2}, iv_y/(1-v^2/c^2)^{1/2}, iv_z/(1-v^2/c^2)^{1/2}\}$$

Из выражения для компонент вектора \mathbf{u}^* легко найти, что $(\mathbf{u}^*)^2 = c^2$.

В рамках нашей евклидовой модели (система координат “нормаль-поверхность”) логично считать \mathbf{u}^* не полной 4-скоростью, а ее проекцией на ось абсолютного времени. Тогда полная скорость \mathbf{u} представляется вектором

$$\mathbf{u} = \{c, v_x/(1-v^2/c^2)^{1/2}, v_y/(1-v^2/c^2)^{1/2}, v_z/(1-v^2/c^2)^{1/2}\},$$

а ее модуль будет равен величине $c/(1-v^2/c^2)^{1/2}$. Основанием для использования подобного вектора в ТШРВ может служить рис. 3.3. Действительно, если на этом рисунке положить $t_0=1$, то вертикальный и горизонтальный катеты этого треугольника будут равны соответственно c и $v/(1-v^2/c^2)^{1/2}$, а гипотенуза - $c/(1-v^2/c^2)^{1/2}$. Легко проверить, что синус угла φ отклонения от нормали будет при этом равен v/c . Таким образом, эти величины возникают в нашей модели весьма естественным образом.

Далее, в СТО (система координат “время-перемещение”) с помощью компонент вектора \mathbf{u}^* строится 4-мерный псевдовектор энергии-импульса

$$\{T^*\} = \{E_{\text{полн}}/c, iP_x, iP_y, iP_z\},$$

длина которого всегда равна mc , а пространственные компоненты выражаются через соответствующие компоненты вектора скорости:

$$P_x = mv_x/(1-v^2/c^2)^{1/2}, P_y = m v_y/(1-v^2/c^2)^{1/2}, P_z = m v_z/(1-v^2/c^2)^{1/2}$$

Соответственно, в нашей модели (система координат “нормаль-поверхность”) логично рассматривать чисто евклидовый 4-вектор энергии-импульса T , представленный в виде:

$$\{T\} = \{mc, P_x, P_y, P_z\},$$

длина которого равна $E_{\text{полн}}/c$. Таким образом, переходя от пространства Минковского к рассматриваемому нами 4-мерному евклидовому пространству, мы можем вывести тривиальное заключение, что полная механическая энергия $E_{\text{полн}}$ оказывается естественной мерой длины обычного вектора, поскольку

$$E_{\text{полн}}^2 = (mc^2)^2 + (Pc)^2,$$

а энергия покоя mc^2 есть проекция этого вектора на ось абсолютного времени, т.е. нормаль к 3-мерной изохроне. Следовательно, полная энергия механического движения в новой физической концепции определяется как углом отклонения мировой линии от нормали к сечению Вселенной (скоростью частицы), так и отношением радиуса 4-мерного шара к длине волны де Бройля (массой покоя частицы). Пока угол отклонения от нормали, т.е. скорость частицы,

остается без изменения, мы можем говорить о равномерном, строго инерциальном движении, поскольку энергия покоя остается неизменной.

Разумеется, при этом сохраняются все известные результаты СТО, в частности, в первом приближении механическая энергия оказывается простой суммой энергии покоя и классической кинетической энергией. Как и должно быть, для движущейся частицы эта полная энергия механического движения всегда больше энергии покоя и равна:

$$E_{\text{полн}} = m \cdot c^2 / (1 - v^2/c^2)^{1/2} \cong m \cdot c^2 + 1/2 m \cdot v^2$$

В специальной теории относительности состояние частицы при *инерциальном* движении полностью характеризуется именно вышеописанным псевдовектором энергии-импульса, который *сохраняется* при переходе к другой инерциальной системе, т.е. при параллельном сдвиге или повороте координатных осей. Инвариантность при сдвиге вдоль оси времени отвечает сохранению энергии, при сдвиге вдоль пространственных осей – сохранению импульса (однородность времени и пространства). Инвариантность при вращении в чисто пространственной плоскости отвечает сохранению момента импульса (изотропность пространства). Что же касается вращения в “смешанной” плоскости, образованной осью времени и одной из пространственных осей, то оно отвечает соответствующему преобразованию Лоренца – это очевидное следствие соединения в общий четырехмерный континуум трехмерного пространства с независимым в прежней теории одномерным временным континуумом. Изотропность поворота в смешанной плоскости ограничена, поскольку движение вспять во времени невозможно.

Предложенная мной теория в первом приближении (когда абсолютная скорость движения, т.е. угол отклонения от нормали к изохроне, имеет малую величину) приводит к тем же соотношениям, что и СТО. Однако при больших значениях абсолютной скорости преобразования Лоренца оказываются не вполне адекватными действительности.

5.3. Относительность и абсолютность движения

Принцип относительности Эйнштейна декларирует полное равноправие всех *инерциальных* систем. Напомним, что его концептуальное обоснование изначально было принято строить на двух положениях. Во-первых, исходя из опытов Майкельсона-Морли, констатировалось выполнение соотношения $cdt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2) = 0$ при распространении светового сигнала в *произвольной* системе отсчета. Во-вторых, делалось не основанное непосредственно на опыте допущение, что левая часть этого равенства сама по себе (т.е. при любом ее значении) также имеет одну и ту же величину в любой инерциальной системе отсчета, т.е. является инвариантом преобразования Лоренца. Справедливость этого допущения оправдывалась апостериори успешными теоретическими предсказаниями теории относительности.

Из сказанного вытекает, что в принципе допустимы логические попытки построить новую физическую модель, в которой справедливо лишь первое равенство, тогда как второе утверждение в общем случае выполняется не строго, а лишь в достаточном приближении.

С другой стороны, универсальность принципа относительности вызывает принципиальные сомнения в связи с его непригодностью для огромного класса явлений, связанных с неинерциальным (например, с вращательным) движением. Точно так же и в электродинамике, вопреки часто бытующему представлению, уравнения Максвелла строго ковариантны только для равномерно движущихся, но не для ускоренных тел. Цитируя это утверждение В.Паули и А.Эйнштейна, Г.И.Шипов в современной работе [Шипов, 1993] выводит условие, определяющее необходимую степень малости безразмерного ускорения. Из него следует, что и в сильных электромагнитных полях, и при ультрарелятивистских скоростях заряженных частиц специальный принцип относительности в электродинамике (как классической, так и квантовой) нарушается.

Как отмечалось выше, при наличии вращения в общем случае становится неправомерным использование принципа эквивалентности, лежащего в основе ОТО. Но неправомерностью применения принципа эквивалентности в данном случае дело не ограничивается. Понятно, что динамические эффекты, связанные с вращением, позволяют в принципе указать выделенную (абсолютную) систему отсчета, т.е. опять-таки ставят под сомнение и принцип относительности. Поэтому мы сталкиваемся с необходимостью пойти по одному из трех возможных путей:

- найти способ обобщить принцип относительности на вращающиеся системы отсчета
- признать несостоятельность принципа относительности
- предложить приемлемую схему модификации использования принципов эквивалентности и относительности.

По первому пути пошел Г.И.Шипов [Шипов, 1993]. Однако за подобное обобщение ему потребовалось заплатить довольно высокую цену – от геометрии 4-мерного (риманова) пространства он был вынужден перейти к геометрии более сложного 10-мерного пространства абсолютного параллелизма, в котором к четырем обычным пространственным координатам добавлены три угла Эйлера и три компоненты вектора ориентации точки. Решающим критерием истинности этого выбора должна стать практика, однако пока что работа Г.И.Шипова не получила общего признания.

Второй путь – простое отрицание принципов эквивалентности и относительности – вряд ли имеет шансы на успех спустя почти столетие после триумфа теории Эйнштейна и ее несомненных достижений в области астрофизики и космологии. Очевидно, речь в лучшем случае могла бы идти лишь о том, чтобы указанные принципы выступали в роли приближенных, точность которых определяется количественными критериями их справедливости.

Я надеюсь, что излагаемая здесь теория представляет собой конструктивную реализацию третьего пути. Она дает основания усомниться в строгой справедливости принципа относительности. Действительно, в СТО принято считать совершенно равноправными точки зрения двух движущихся один относительно другого наблюдателей. Но если мы опираемся на модель концентрических сечений Вселенной, то не можем допустить, чтобы угол наклона пересекающего их вектора был величиной относительной!

В ТШРВ принцип (ограниченного) равноправия всех инерциальных систем, напротив, является выводимым следствием модели, исходящей из универсальности механического движения как феномена, обусловленного расширением Вселенной. Чтобы показать это, рассмотрим рис. 5.4.

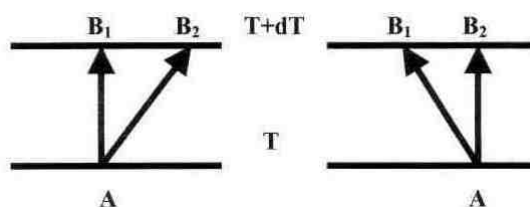


Рис. 5.4. Относительность систем отсчета

Пусть два наблюдателя в момент времени T находятся в *одной и той же* пространственно-временной точке A изохроны T , а впоследствии, двигаясь равномерно и прямолинейно, пересекают *в двух различных пространственно-временных точках* B_1 и B_2 другую изохрону (другую световую поверхность) $T+dT$. Какими измерительными возможностями обладают наши наблюдатели? Согласно как СТО, так и ТШРВ, они оба могут располагать часами, которые независимо от характера их движения, покажут одно и то же

(*собственное для каждого из них!*) время – время dT , разделяющее эти изохроны. Далее, каждый из них может обладать *линейкой, которая способна измерять расстояние между ними вдоль изохроны.*

Поскольку никаких других измерительных устройств в их распоряжении не имеется, у них сложится различное, хотя и симметричное представление о том, что происходит (см. рис. 5.4). Первый наблюдатель будет считать, что именно он неподвижен (“дрейфует” вдоль вектора времени из точки A в точку B_1), и что второй наблюдатель вследствие *своего* движения попадет в точку B_2 справа от него. Второй же наблюдатель будет считать, что это он неподвижен (“дрейфует” вдоль вектора времени из точки A в точку B_2), и что первый наблюдатель вследствие *своего* движения попадет в точку B_1 слева от него. Ни один из наблюдателей не имеет инструментов *для прямого определения угла отклонения своей траектории от нормали к изохроне.* А ведь именно этот угол (его синус) однозначно соответствует скорости движения!

Однако сказанное не означает, что не существует *косвенных* методов для определения этого угла и, тем самым, *абсолютной* системы отсчета. Действительно, процесс *непосредственного измерения* конкретной скорости с помощью часов и линейки в ТШРВ как будто бы не позволяет выделить систему отсчета наблюдателя по сравнению с движущейся относительно него другой инерциальной системой. Однако взгляд, брошенный на рис. 5.5, дает основание думать, что такое различие все же объективно существует и, следовательно, хотя бы каким либо *косвенным* образом могло бы быть установлено.

Чтобы лучше осмыслить ситуацию, рассмотрим пример из школьной (классической) физики. Пусть наблюдатель живет на маленьком острове среди безбрежной морской глади и измеряет скорость проходящих мимо пароходов. Для определенности будем считать, что каждый пароход проходит через участок эталонной длины, так что нашему наблюдателю достаточно только включить и выключить секундомер в соответствующие моменты времени.

Пока наш наблюдатель осуществляет каждое измерение независимо от всех остальных, никаких проблем у него не возникает, и на досуге он даже может пофилософствовать о том, что скорость парохода относительно него самого равна скорости наблюдателя относительно парохода.

Однако в один прекрасный день наш наблюдатель видит знакомый пароход, который теперь уже следует в обратную сторону. Из любопытства заглянув в старые записи, наблюдатель определяет, что скорость парохода в обратном рейсе *иная*, нежели в прямом. Любопытный наблюдатель спрашивает по радио капитана парохода, в чем причина различия. Но капитан отвечает, что режим работы двигателя тот же самый, а значит и скорость должна быть точно такой же.

Задумавшись, наш наблюдатель приходит к гипотезе о том, что (если капитан говорит правду) в море есть течение, скорость которого в одном случае складывается со скоростью парохода, а в другом случае вычитается из нее. Настойчивый наблюдатель просматривает свои записи за длительный период, выписывает для каждого корабля (обладающего своей индивидуальной, но неизменной скоростью) соответствующие записи, продельывает расчеты и убеждается в том, что все становится на свои места, *если в каждом случае приписать скорости течения одно и то же значение!*

Мораль, вытекающая из приведенного примера, такова. Одиночные измерения не позволяют наблюдателю установить наличие некоторого течения, универсальным образом влияющего на результаты всех измерений. Однако сопоставление результатов *многих* измерений, использование некоторой *априорной* информации (неизменность скорости каждого парохода относительно течения) позволяет вывести проверяемую (в новых, специально проведенных экспериментах) гипотезу, устанавливающую наличие такого течения. Если бы наш наблюдатель сразу безоговорочно поверил бы капитану, как если бы тот был *демоном* (или демиургом, или еще каким либо сверхъестественным существом, *знающим истину*), то он уже после двух экспериментов мог бы разгадать загадку!

Обратимся теперь к рис. 5.5. Пусть наш ТШРВ-наблюдатель *на самом деле* перемещается во времени (вследствие расширения Вселенной) от изохроны T до изохроны $T+dT$ по прямой

АВ. Он наблюдает движение двух удаляющихся от него в противоположных направлениях тел (одинаковых пароходов), которые *на самом деле* перемещаются во времени от изохроны **T** до изохроны **T+dT** по прямым **АВ₁** и **АВ₂** соответственно. Далее на усмотрение читателя предлагается любой из двух вариантов с участием *демона*.

Либо после измерения наш наблюдатель с помощью линейки устанавливает, что отрезки **В₁В** и **ВВ₂** равны, а *демон* утверждает, что углы **В₁АВ** и **ВАВ₂** не равны. Либо наоборот, наш наблюдатель с помощью линейки устанавливает, что отрезки **В₁В** и **ВВ₂** не равны, а *демон* утверждает, что углы **В₁АВ** и **ВАВ₂** равны. *Демон* ведь *знает*, что угол между изохроной и мировой линией наблюдателя **АВ** отличен от прямого!

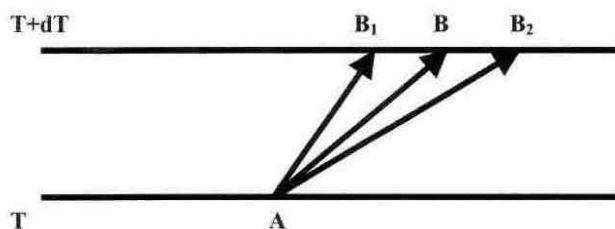


Рис. 5.5. Метод установления абсолютной системы отсчета

Ну, хорошо, - возразит читатель - ведь в действительности такого *демона* не существует! Я со вздохом соглашусь с читателем и отвечу, что, конечно, не существует, поэтому нам придется-таки проделать много-много измерений и использовать некоторую *априорную* информацию или информацию, априорно представляющуюся убедительной.

Оставим на короткое время нашего *демона* и обратимся к вопросу о погрешности, вносимой специальной теорией относительности в том случае, если абсолютная система отсчета действительно существует. Тогда инвариантность 4-мерного интервала в рамках ТШРВ точно выполняется лишь по отношению к *абсолютно неподвижному* наблюдателю. Если же, например, сам наблюдатель движется с некоторой абсолютной скоростью v в плоскости xt , то вместо инвариантного выражения для длины 4-мерного перемещения

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2$$

возникает, как можно показать, соотношение

$$ds^2 (1 + \sigma^2) = c^2 dt^2 - dx^2 - 2\sigma ds dx$$

где

$$\sigma = (v/c) / (1 - v^2/c^2)^{1/2} = \beta / \sqrt{1 - \beta^2} = \operatorname{tg} \varphi$$

5.4. О реальном существовании абсолютной системы отсчета

Вернемся к нашему *демону*. Необходимую информацию Создатель предоставил нам в действительности значительно раньше, чем сподобил меня придумать ТШРВ. Роль огромного числа одинаковых пароходов, идущих к нам с одинаковой скоростью (скоростью света) со всех сторон Вселенной, играют фотоны так называемого *реликтового* излучения (считается, что это излучение – остаток древней Вселенной).

Роль *демона* выполняет наша уверенность в полной изотропности Вселенной, что подкрепляется точнейшими многолетними результатами независимых измерений *температуры* этого излучения как функции направления, по которому к нам летят фотоны. *Но оказывается, что имеется малая (порядка 10^{-5}) дипольная анизотропия, которая объяснима,*

если принять, что мы движемся по направлению к созвездию Льва со скоростью порядка 400 км/с!

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

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

Запущенный 18 августа 1989 года спутник COBE (Cosmic Background Explorer), разработанный Центром космических полетов Годдарда Национального Аэрокосмического Агенства (NASA)², позволил надежно подтвердить этот результат. Спектр космического микроволнового фонового излучения был измерен с точностью 0.005%; было обнаружено, что этот фон имеет значимую анизотропию на относительном уровне порядка 10^{-5} .

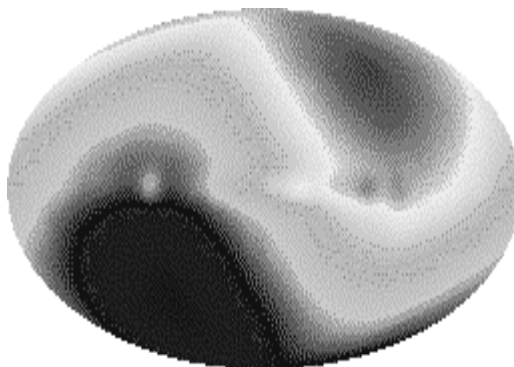


Рис. 5.6. Дипольная анизотропия фонового космического излучения

На рис. 5.6 показана черно-белая версия карты отклонений температуры излучений от средней величины (2.728 К) в микроволновой части спектра. Слоистая структура карты соответствует анизотропии дипольного вида, что является проявлением эффекта, связанного с движением Солнца относительно среды, в которой распространяется микроволновое фоновое излучение.

Помимо инфракрасной компоненты, было также исследовано космическое фоновое излучение в гораздо более широком спектре. Начиная с 1990 г. с помощью ряда спутников изучается область рентгеновского и гамма-излучения. Наблюдаемая в рентгеновских лучах

² Приведенная здесь информация подготовлена Центром космических полетов Годдарда, NASA, США (Goddard Space Flight Center) под руководством COBE Science Working Group и была предоставлена NSSDC.

дипольная анизотропия в пределах погрешностей измерений точно соответствует дипольной анизотропии фонового ЗК-излучения, что подтверждает ее интерпретацию как эффекта Доплера ([Кладдор-Клайнгротхаус, Цюбер, 2000]).

Итак, согласно предложенной в ТШРВ концепции, в каждой точке Вселенной *должно существовать свое уникальное пространственное направление и уникальное значение скорости движения в этом пространственном направлении, определяющее выделенную систему отсчета* (фактически это есть 4-мерная “стрела времени”). Этот результат был получен мною *до того*, как я узнал о вышеописанном экспериментальном открытии. Поэтому возник вопрос о дальнейшем экспериментальном подтверждении (или опровержении) новой теории, идея которого и рассматривается далее. Можно надеяться, что осуществление и результаты новых экспериментов представят самостоятельный интерес для физики безотносительно к мотивам их проведения и выдвинутым гипотезам.

Мое объяснение вышеописанного явления анизотропии таково. Любое ускоренное (в том числе вращательное и колебательное) движение в общем случае выделяет абсолютную систему отсчета. Поскольку любое электромагнитное излучение генерируется колеблющимися электрическими зарядами, то тем самым оно принципиально позволяет наблюдателю выделить абсолютную систему отсчета.

Если наблюдатель абсолютно неподвижен (“дрейфует” вдоль нормали к изохронной Вселенной), то относительно него излучение будет идеально изотропным. Если же мировая линия наблюдателя образует ненулевой (хотя и постоянный) угол с осью абсолютного времени, то такой движущийся наблюдатель (и именно с помощью эффекта Доплера) сможет определить абсолютную скорость своего движения, детектируя анизотропию этого излучения, которая обусловлена направлением и скоростью движения измерительного устройства относительно выделенной системы отсчета. Количественно эта анизотропия будет определяться отношением скорости движения к скорости света (v/c) и углом α относительно выделенного направления движения согласно теории эффекта Доплера.

Основываясь на современных данных по анизотропии космического радиоизлучения, мы можем заключить, что $v/c = 0.0015$. Если бы это численное значение и указанная зависимость от угла подтвердились в новых экспериментах, *не связанных* с приходящим из космоса электромагнитным излучением, мы могли бы сделать вполне определенные выводы об универсальном характере пространственно-временной анизотропии.

Будем исходить из того, что любое (электромагнитное) излучение является идеально изотропным для неподвижного относительно источника наблюдателя *лишь в выделенной системе отсчета*, которая в каждой точке Вселенной уникальна. Тогда в любой другой системе отсчета возникнет анизотропия, проявляющаяся благодаря эффекту Доплера, который обусловлен направлением и скоростью движения измерительного устройства относительно выделенной системы отсчета.

Одним из потенциально возможных способов проверки указанного эффекта является наблюдение излучения Солнца в различные моменты движения Земли по околосолнечной орбите. Условная схема расположения Земли относительно Солнца и созвездия Льва показана на рисунке 5.7.

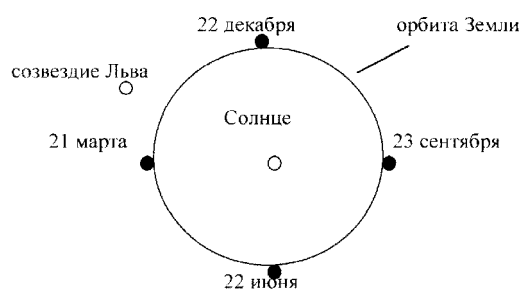


Рис. 5.7. Схема выявления годовой анизотропии излучения Солнца

Из приведенного рисунка очевидно, что предполагаемая анизотропия солнечного излучения, наблюдаемого с Земли, должна проявляться в максимальной степени в августе, когда и излучение Солнца, и фоновое излучение приходят на Землю со стороны созвездия Льва. В феврале эти источники расположены по отношению к Земле взаимно противоположным образом, поэтому и направление анизотропии для солнечного света должно измениться на противоположное. Ожидаемая величина эффекта при этом (с учетом прямого восхождения созвездия Льва и наклона эклиптики) составляет порядка 300 км/с, т.е. около одной десятой процента скорости света. В ноябре и мае анизотропия не должна наблюдаться практически совсем.

Возможно, указанная анизотропия может быть обнаружена и при помощи наблюдения отраженного излучения Луны. Положение естественного спутника нашей планеты относительно Земли меняется всего лишь за 27 суток, поэтому результат мог бы быть установлен значительно быстрее.

Наконец, возможно проведение эксперимента с искусственным источником излучения и неподвижным относительно него приемником в земной лаборатории. При этом следует иметь в виду, что вследствие суточного вращения Земли проекция направления на созвездие Льва в общем случае вращается относительно системы координатных осей, жестко связанной с точкой земной поверхности. Поэтому величина мгновенной скорости вдоль каждой из координатных осей по отношению к “выделенной” системе отсчета (движущейся к созвездию Льва) будет изменяться практически по синусоидальному закону с периодом в 24 часа. Расчеты показывают, что амплитуда компоненты скорости, направленной вдоль земного меридиана, достигает максимума (около 400 км/с) у полюсов и минимальна у земного экватора. Наоборот, амплитуда компоненты скорости, направленной в зенит, достигает максимума (около 400 км/с) у земного экватора и минимальна у полюсов. Амплитуда же компоненты скорости, направленной перпендикулярно меридиану, практически неизменна и также составляет около 400 км/с.

Я также думаю, что в принципе возможны и чисто механические эксперименты. Дело в том, что в релятивистской механике сила зависит от угла между векторами ускорения и скорости. В частном случае, когда скорость частицы изменяется только по величине, т.е. сохраняет свое направление (например, по оси x) выражение для силы равно:

$$dP/dt = mv / (1 - v^2/c^2)^{-3/2} dv/dt$$

В другом частном случае, когда скорость меняется только по направлению ($v^2 = \text{const}$), т.е. перпендикулярна силе, имеем

$$dP/dt = mv / (1 - v^2/c^2)^{-1/2} dv/dt$$

Однако в теории относительности скорость системы отсчета может выбираться произвольно, в частности – нулевой, тогда соответствующий множитель в любом случае оказывается равным единице. Напротив, в ТШРВ в вышеприведенных формулах фигурирует *абсолютная* скорость, определяемая углом отклонения мировой линии частицы от нормали к изохроне. Это означает, что если Земля движется с определенной скоростью v_{abc} относительно абсолютно неподвижной (выделенной) системы отсчета, то измеряя отношение силы к ускорению в направлении указанной скорости и в перпендикулярном ему направлении, можно экспериментально подтвердить наличие этой абсолютной скорости! Если подобная скорость действительно определяется величиной и направлением, следующими из эффекта анизотропии фонового космического излучения (см. следующий раздел), то при одной и той же по (модулю) силе можно рассчитывать на относительное различие продольного и поперечного ускорения порядка $2,25 \times 10^{-6}$.

Возможны опыты, дающие, например, в соответствующем направлении малое отклонение оси гироскопа от традиционно ожидаемого, однако пока такие эффекты не рассчитывались. Аналогичным образом, эксперименты типа маятника Фуко (если бы вектор абсолютной скорости удачно оказался направленным так, чтобы в максимальной степени складываться и вычитаться с вектором скорости движения маятника) могли бы привести к определенному отклонению вращения плоскости колебаний от той, что определена исключительно вращением Земли.

Имеет смысл подчеркнуть, что в отличие от парадигмы “старого эфира” выделенная система отсчета “нового эфира” связана не только с *определенным направлением* во Вселенной, которое выделялось бы в ходе экспериментов подобно тому, как стрелка компаса указывает на север. Эта выделенная система связана еще и с *определенной 3-мерной скоростью* движения в этом направлении. В совокупности же таким образом выделяется 4-мерный вектор нормали к сферической гиперповерхности шара - Вселенной.

6. ТЯГОТЕНИЕ И НЕИНЕРЦИАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

6.1. Почему тяготение приводит к неравномерности движения?

Тяготение искажает строго сферическую форму изохрон. Как, например, должны мы мыслить себе гравитационные поля частиц (звезд, планет и пр.), заполняющих Вселенную, в рамках предложенной концепции? Представим себе сначала все частицы неподвижными, дрейфующими в процессе расширения Вселенной строго вдоль радиальных мировых линий. Если в такой Вселенной существует феномен взаимного притяжения между двумя частицами, то для наблюдателя это будет выглядеть как искривление мировых линий, которые вместо радиального расхождения окажутся загнутыми в направлении одна к другой. По существу, вместо мировых линий мы можем говорить просто о силовых линиях поля тяготения, но тогда эта аналогия позволит нам отождествить изохронное сечение Вселенной с поверхностью равного потенциала, к которой эти силовые линии должны быть *нормальны*. Таким образом, мы приходим к представлению о том, что изохронное сечение Вселенной не является строго концентрической гиперсферой, а возмущено своего рода воронками (см. рис. 6.1), центрам которых отвечают гравитирующие частицы.

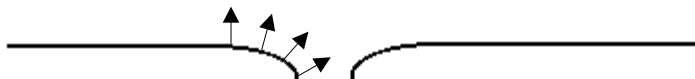


Рис. 6.1. Локальное поле тяготения

Угол отклонения профиля воронки от невозмущенной гиперсферы в точности равен углу отклонения нормали от идеально радиального направления. Следовательно, мера интенсивности локального гравитационного поля в каждой его точке фактически совпадает с использованной нами мерой скорости частицы, что и оправдывает перенос понятия энергии, связанной с механическим движением, на область гравитационных явлений.

Что касается формы воронки, то необходимо отметить, что на ее периферии возмущение исходного профиля мало, так что угол отклонения нормали от строго радиального направления незначителен. По мере приближения к центру этот угол возрастает в соответствии с выражением для гравитационного потенциала. Это означает, что находящаяся на периферии гравитационной воронки пробная частица приобретает некоторую скорость движения, направленную к центру воронки. Но чем ближе она к центру воронки, тем больше угол отклонения мировой линии от невозмущенной нормали и, следовательно, тем большую скорость движения она должна приобрести. Это и дает ответ на вопрос, почему движение в гравитационном поле оказывается эквивалентным ускоренному движению.

Какова же причина искажения пространственного профиля Вселенной локальными полями тяготения? Я думаю, ответ на этот вопрос заключается в тесной связи происхождения массы покоя частицы с волной де Бройля. Подобно тому, как *глобальная* сферичность мира проявляет себя величиной средней плотности материи во Вселенной, волновой параметр конкретной частицы определяет *локальное* искривление пространства и тем самым порождает эффект ее индивидуального гравитационного поля.

Попробуем уяснить себе геометрический смысл гравитационного радиуса. Как я уже писал, при переходе от периферии гравитационной воронки к ее центру угол отклонения нормали от радиального (по отношению к сферической Вселенной в целом) все более возрастает. Представляется, что гравитационный радиус, отвечающий *внутренней* границе области локализации гравитационной энергии частицы, соответствует предельно возможному углу отклонения в 90 градусов, что в нашей модели действительно отвечает скорости света! Таким образом, напряженность гравитационного поля достигает бесконечности не в центре тяжести тела, а на конечном, хотя обычно и очень малом, расстоянии от него, так что точки,

отстоящие от центра источника на расстоянии гравитационного радиуса, являются *точками перегиба* для внешнего профиля Вселенной.

6.2. Нужно ли использовать фиктивные гравитационные поля?

Как показано в главе 2, в ОТО обоснование расчета вариации времени на этапе торможения Космонавта основано на идее включения и отключения фиктивного внешнего гравитационного поля. Эйнштейн, автор этой фундаментальной идеи, считал ее одной из самых счастливых в своей жизни. Однако в этой же главе мы могли видеть, следуя замечательной идее [Лаури, 1963]³, что феномен изменения скорости движения ракеты с Космонавтом может быть интерпретирован и в терминах СТО – он сводится к переходу от одной сопутствующей инерциальной системы отсчета к другой, так что с этой ракетой уже нельзя связать единственную инерциальную систему отсчета. При торможении меняется угол наклона линии одновременности движущейся ракеты с Космонавтом и, соответственно, положение точки пересечения этой линии одновременности с осью времени неподвижного (инерциального) наблюдателя – Землянина. Может возникнуть (и действительно возникает) вопрос – а нужно ли на самом деле использовать фиктивные гравитационные поля?

Позволю себе воспроизвести нередко цитируемую выдержку из монографии [Ландау и Лифшиц, 1967]:

Поля, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, все же не вполне тождественны с “истинными” гравитационными полями, существующими и в неинерциальных системах. Между ними имеется существенное отличие в отношении их свойств на бесконечности. На бесконечном расстоянии от создающих поле тел “истинное” гравитационное поле всегда стремится к нулю. Поля же, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, на бесконечности, напротив, неограниченно возрастают или, в крайнем случае, остаются конечными по величине. Так, например, возникающие во вращающейся системе отсчета центробежные силы неограниченно растут при удалении от оси вращения; поле, которому эквивалентна ускоренно прямолинейно движущаяся система отсчета, одинаково во всем пространстве, в том числе и на бесконечности.

Поля, которым эквивалентны неинерциальные системы отсчета, исчезают, как только мы перейдем к инерциальной системе. В противоположность этому, “истинные” гравитационные поля (существующие и в инерциальной системе отсчета) невозможно исключить никаким выбором системы отсчета. Это видно уже из указанного выше различия между условиями на бесконечности в “истинных” гравитационных полях и в полях, которым эквивалентны неинерциальные системы; поскольку последние на бесконечности к нулю не стремятся, то ясно, что никаким выбором системы отсчета нельзя исключить “истинные” поля, обращаемые на бесконечности в нуль.

Приведенная цитата, с моей точки зрения, еще наводит на мысль об уязвимости логической позиции Эйнштейна, который считал возможным и необходимым свести описание неравномерного движения к описанию равномерного движения в гравитационном поле, опираясь на знаменитые принципы относительности и эквивалентности.

Эйнштейн, безусловно, трактовал принцип эквивалентности таким образом, что этот последний справедлив, так сказать, “в обе стороны”: как поле тяготения порождает неинерциальное движение (прямое утверждение), так и неинерциальное движение полностью (локально) сводимо к некоему эквивалентному полю тяготения (обратное утверждение). Если “прямой” тезис не вызывает возражений со времен Ньютона, то сомнения в неограниченной справедливости “обратного” тезиса не раз высказывались в физике.

³ Автор выражает благодарность Н.О.Ерохиной из Российской Государственной библиотеки за помощь в получении копии этой статьи.

Так, в работе [А.А. Логунов, 1988] указывается, что сам факт кривизны мировой линии может сделать более удобным использование криволинейных координат, но вовсе не порождает объективной необходимости в кривизне пространства-времени как таковой:

... инвариантность формы интервала в пространстве Минковского имеет место не только для класса инерциальных систем отсчета, но и для произвольно выбранного класса ускоренных систем отсчета. ... Это означает, что, имея дело с ускоренными системами отсчета, мы не выходим за рамки специальной теории относительности.

В качестве сильного, с моей точки зрения, аргумента, свидетельствующего о несправедливости в общем случае “обратного” тезиса об эквивалентности, А.А. Логунов приводит следующее соображение: если пробное тело, движущееся по геодезической линии в гравитационном поле, является заряженным, то оно должно излучать электромагнитные волны, поскольку оно движется с ускорением. Однако это излучение сможет зарегистрировать и жестко связанный с этим телом наблюдатель, который тем самым, вопреки принципу эквивалентности, обнаружит факт собственного ускорения.

Хорошей иллюстрацией к тезису об использовании системы криволинейных координат без промежуточного привлечения фиктивного гравитационного поля для описания парадокса близнецов содержится в работе [Долби и Гулл, 2001]. В гл. 2 приводились диаграммы из нее, на которых были представлены линии одновременности с использованием так называемого “радарного” времени. Авторы отмечают, что линии (гиперповерхности) одновременности Космонавта зависят только от кинематических параметров и полностью могут быть поняты без обращения к общей теории относительности.

С этой целью вводится специально подобранная метрика, так что в возникающей системе координат Космонавт движется по прямой траектории и при этом обладает ускорением. Хотя теперь уже траектория Землянина оказывается искривленной, он все еще движется по инерции, т.к. в этой метрике его траектория является геодезической линией. Собственные времена Землянина и Космонавта не изменяются при переходе к такой системе координат, так что все еще именно Землянин больше стареет во время их разлуки, чем Космонавт. Метрика в этих координатах является метрикой пространства Минковского, однако с изломом при пересечении линий $x = \pm t$, который вынуждает геодезические линии “поворачивать” при пересечении этих линий.



а) “равномерно-ускоренный” поворот

б) “мгновенный” поворот

Рис. 6.2. Линии одновременности (“радарное” время) Землянина, изображенные в системе координат Космонавта

В этой системе координат гиперповерхности одновременности Землянина очень похожи на гиперповерхности одновременности Космонавта в исходной системе координат. Однако Землянин сохраняет инерциальное движение. Изображение этих результатов в различных координатных системах приводит к такому же заключению. Кроме того, поскольку определение радарного времени не зависит от выбора системы координат, то любое утверждение Космонавта вида

“Землянин сделал то-то в такой-то момент времени” (с точки зрения Космонавта), или любое утверждение Землянина вида “Космонавт сделал то-то в такой-то момент времени” (с точки зрения Землянина), останется справедливым при переходе к другой системе координат.

6.3. Ускоренное движение и специальная теория относительности

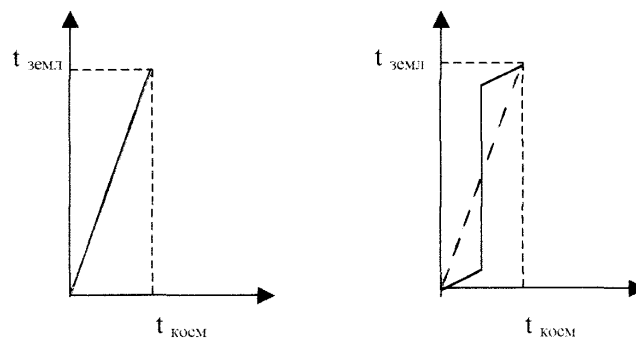
Возвратимся к рассмотрению течения времени с точки зрения Космонавта и Землянина, оставаясь в рамках концепций СТО. Будем исходить из того, что Землянин четко контролирует факт собственной непрерывной инерциальности (отсутствия ускорений), а Космонавт столь же надежно не только регистрирует ускорение и торможения своей ракеты, но и количественно способен определить его значение. Как же при этом выглядит процесс течения времени для каждого из наблюдателей?

Землянин знает, что часы Космонавта покажут время $t_{\text{КОСМ}}$, связанное с показанием часов Землянина $t_{\text{ЗЕМЛ}}$ соотношением:

$$t_{\text{КОСМ}} = t_{\text{ЗЕМЛ}} (1 - v^2/c^2)^{1/2}$$

При этом Землянину не надо учитывать ни *знак* скорости Космонавта, ни *изменение* этой скорости (т.е. ускорение и торможение ракеты Космонавта) – ему *достаточно* просуммировать отрезки (быть может, достаточно малые) прямолинейного равномерного движения ракеты и учесть лоренцево сокращение времени Космонавта на каждом из них. Для рассмотренного случая двух этапов движения ракеты (удаление и возвращение со скоростью v) графическая диаграмма течения времени с точки зрения Землянина будет выглядеть так, как показано на рис. 6.3а. На всем протяжении пути промежутки времени по часам Землянина *больше*, чем промежутки времени по часам Космонавта, поэтому угол наклона жирной линии будет больше 45° .

Что касается Космонавта, то для него на тех участках его движения, где ракета летит без ускорения или торможения, соотношение между промежутками времени по его часам и по часам Землянина должно быть *противоположным*. Соответствующие промежутки времени по часам Землянина теперь уже *меньше*, чем промежутки времени по часам Космонавта (а угол наклона жирной линии на этих участках – меньше 45°). Следовательно (как это вытекает и из ОТО), на *этапе торможения* должен возникнуть *скачок* времени, в точности *восстанавливающий результирующее соотношение* между полным временем движения по различным часам. Поэтому с точки зрения Космонавта графическая диаграмма будет выглядеть так, как показано на рис. 6.3б.



а) Изменение показаний часов Землянина и Космонавта с точки зрения Землянина
б) Изменение показаний часов Землянина и Космонавта с точки зрения Космонавта

Рис. 6.3. Изменение показаний часов Землянина и Космонавта с различных точек зрения

Таким образом, в системе отсчета Космонавта часы Землянина в рассматриваемом случае претерпевают положительный скачок времени, который следует прибавить к “правильным”, по мнению Космонавта, показаниям его (Космонавта) часов.

Итак, подсчет времени на часах Землянина, производимый Космонавтом, движущимся (в общем случае) неравномерно, состоит из двух алгоритмических процедур:

- Учет лоренцева сокращения времени Землянина, поскольку тот движется относительно Космонавта.
- Учет *положительных* скачков времени Землянина при *ускорении* Космонавта в направлении к Земле и *отрицательных* скачков времени Землянина при *ускорении* Космонавта в направлении от Земли.

Как мы видели в главе 2, каждый такой скачок отвечает мгновенному изменению положения линии одновременности и, вообще говоря, может быть любого знака. Последнее обстоятельство, однако, не может привести к тому, чтобы время на часах Космонавта превысило показание часов Землянина! С одной стороны, к этому выводу приводит результат подсчета времени в инерциальной системе отсчета Землянина. С другой стороны, дело здесь в том, что в псевдоевклидовом пространстве (в противоположность евклидовому) сумма интервалов (псевдодлина) для ломаной линии всегда *меньше*, чем для прямой. Таким образом, возможные отрицательные скачки времени Землянина (в системе отсчета Космонавта) к моменту их встречи неизбежно окажутся скомпенсированы и превышены положительными скачками.

Это наводит на мысль, что возможен иной подход к подсчету времени Землянина в системе отсчета Космонавта, отличный от вышеописанной двучленной алгоритмической процедуры, который бы на каждом отрезке равномерного движения Космонавта объяснял бы его однозначную “экономия” времени по сравнению с Землянином и не использовал бы *кажущееся* лоренцево сокращение времени в одной системе отсчета относительно другой. Такой подход, демонстрирующий “парадокс часов”, действительно существует и проиллюстрирован на рис. 6.4.

На этом рисунке, как и на рис. 2.5, мировая линия Землянина изображается отрезком **ОАВС** оси времени t (особо подчеркну, что точки **A** и **B** на оси t – те же самые, т.е. в точности совпадают с точками пересечения оси t с линиями одновременности ракеты Космонавта в точке **T** поворота).

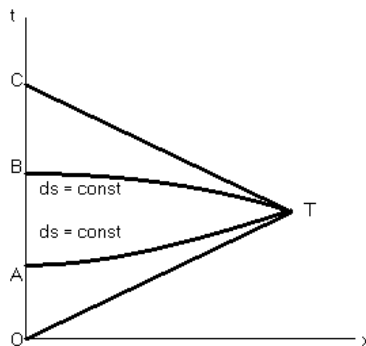


Рис. 6.4. Собственное время Землянина меньше, чем собственное время Космонавта

Космонавт же движется на ракете по отрезкам мировой линии **OT** и **TC**. Так как кривая **AT** отвечает множеству точек-событий с *одинаковым интервалом относительно точки O*, то на этапе удаления ракеты от Земли и часы Землянина (на отрезке мировой линии **OA**), и часы Космонавта (при движении по мировой линии **OT**) покажут одинаковое время ds/c в соответствующих системах отсчета. Аналогичным образом, на этапе приближения ракеты к Земле и часы Землянина (на отрезке мировой линии **BC**), и часы Космонавта (при движении по

мировой линии $ТС$) покажут одинаковое время ds/c в соответствующих системах отсчета, поскольку кривая BT отвечает множеству точек-событий с *одинаковым интервалом, отделяющим их от точки С*. Поэтому собственное время Космонавта составит $2ds/c$, тогда как собственное время Землянина окажется *больше* этой величины на длину отрезка AB .

Замечание: обратим внимание на полную симметрию этапов удаления и возвращения Космонавта. Из этого следует, что, в случае наличия не двух, а большего числа этапов ускорения и торможения, построения для каждого из них, включая последний, могут быть совершенно идентичны построениям на первом этапе.

Обобщая наш мысленный опыт, мы можем отказаться от условия *симметрии* этапов удаления и возвращения Космонавта. Мы можем также допустить не одну, а произвольное число точек торможения и ускорения (с ломаной или даже волнистой мировой линией), лишь бы последнее 4-мерное событие состояло в возвращении Космонавта на Землю, движение которой (в составе Солнечной системы) мы полагаем *инерциальным*, т.е. равномерным и прямолинейным. В этом случае Землянин может смело доверять своим часам, а Космонавт должен разбить свою мировую линию на приблизительно прямолинейные отрезки и суммировать их длины, деленные на скорость света.

Наконец, мы можем рассмотреть неравномерное движение двух (или более) космонавтов, вылетевших из одной общей пространственной точки и позднее встретившихся в той же или даже в другой пространственной точке. В этом случае *каждый* космонавт должен разбить свою мировую линию на приблизительно прямолинейные отрезки и суммировать их длины, деленные на скорость света. Вместо реальной Земли мы можем при этом мысленно рассмотреть воображаемые часы, инерциальным образом движущиеся из места (и в момент) их разлета в точку (и момент) их встречи - такая система отсчета физически всегда реализуема, и именно эти часы покажут время, заведомо меньшее, чем время путешествия на часах любого из космонавтов.

6.4. Связь хода времени с величиной энергии

Из рис. 6.4 нетрудно видеть, что “скачок времени” происходит при изменении скорости, т.е. именно в точке Т. Если инерциальный (например, покоящийся) наблюдатель равномерно пересекает с течением времени одну изохрону за другой, то *изменяющий* свою скорость путешественник осуществляет как бы “прыжок” с одной изохроны на другую, отделенную от текущей конечным интервалом времени. В пределе (когда скорость меняется от c до минус c) “выигрыш во времени” может стать максимальным и равным всему времени “дрейфа” покоящегося наблюдателя. Но такое изменение скорости всегда связано с соответствующим изменением кинетической энергии, поэтому возникает естественное соображение – вместо использования фиктивного гравитационного поля увязать пертурбации во времени с реальным изменением именно кинетической энергии!

Согласно СТО, интервалы времени Δt в движущейся системе *меньше*, чем в покоящейся, причем лоренцев фактор сокращения равен $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$. С другой стороны, энергия E движущегося тела точно в такое же число раз *больше* энергии этого же тела в состоянии покоя. Подобное соответствие явно не случайно и требует своего истолкования.

В рамках формализма СТО это обстоятельство может быть объяснено инвариантностью 4-мерного скаляра – действия S – при преобразовании Лоренца, поскольку

$$E = \partial S / \partial t, \quad E' = \partial S / \partial t'$$

При изменении скорости ракеты с Космонавтом от значения v до значения $(v + \Delta v)$ проекция его линии одновременности на ось времени Землянина займет такое новое положение, которое в точности отвечает новому значению энергии и, соответственно, новому фактору лоренцева сокращения времени. С точки зрения Космонавта это будет выглядеть так, что *скачок времени на часах Землянина пропорционален затрате энергии на изменение*

скорости ракеты (в случае достаточно малых изменений этой энергии и скорости по величине и направлению), а также расстоянию от Космонавта до Земли.

“Энергетические” аргументы, связанные с разностью потенциалов гравитационного поля и изменяющие, например, энергию пролетающего через него фотона, фигурировали, как мы помним, при установлении эквивалентности ускоренных систем и систем, находящихся в поле тяготения. Когда речь идет о реальном поле тяготения, такая аргументация выглядит вполне убедительной и связана с характеристиками этого реального поля. Однако в случае произвольных неравномерно движущихся объектов реально наблюдаемым феноменом является лишь изменение энергии самих этих объектов. Заменяя потенциал *фиктивного* (искусственно вводимого) гравитационного поля *реальным* изменением (удельной, т.е. на единицу массы) кинетической энергии и именно с ним связывая изменение хода времени, мы изгоняем, как мне кажется, из физики ненужные призраки.

Вместе с тем интерпретация связи между ходом времени и величиной энергии, предлагаемая СТО, не является, как мне кажется, исчерпывающей с точки зрения физической наглядности. В самом деле, требуется уточнить, что же собой представляет ход времени? Неожиданный, но интуитивно содержательный ответ на этот вопрос мы находим в квантовой механике: всякий квантовый объект несет в себе свои собственные “встроенные” часы, характеризующиеся частотой колебаний де Бройля, которая прямо пропорциональна энергии этого объекта (коэффициент пропорциональности представляет собой единицу, деленную на постоянную Планка)!

Макроскопическое тело представляет собой определенную совокупность квантовых объектов, каждый из которых характеризуется своей де-Бройлевой частотой или набором соответствующих частот. Различие частот не играет роли, т.к. при постоянной скорости движения и энергии тела соотношение между ними всегда одинаково. В самом деле, в жизни мы пользуемся часами с различным механизмом и продолжительностью колебаний (песочными, механическими, атомными), но всегда приводим их показания к тому или иному выбранному нами эталону. Если теперь мы изменим скорость тела, то тем самым изменим его энергию и частоты всех колебаний, причем *в одно и то же число раз!* Я думаю, этот пример наилучшим образом и объясняет нам, *что такое ход времени*. Сам процесс изменения скорости есть переходной процесс от колебаний с одной частотой (энергией) к колебаниям с другой частотой (энергией) и, естественно, связан с результирующей вариацией суммарного времени движения. Замечу, что аналогичные рассуждения можно провести для размеров тел в связи с длиной волны де Бройля.

7. ВРЕМЯ, ПРОСТРАНСТВО И ИЗЛУЧЕНИЕ

7.1. Близкодействие и дальноедействие

В общепринятой трактовке теории электромагнитного поля (см. [Ландау и Лифшиц, 1967]) действие для частицы с зарядом e и массой m описывается (без учета внешнего поля и в отсутствие других зарядов) выражением

$$S = -m \int ds - (e/c) \int A_k dx^k$$

где c – скорость света, A_k – компоненты вектор-потенциала поля, а интегралы берутся по 4-мерной мировой линии от точки, отвечающей началу движения, до конечной точки. Реальной мировой линии отвечает экстремум этого интеграла.

Традиционная концепция описания электромагнитного излучения одиночного заряда лишь запаздывающими потенциалами создает, как может показаться, определенную коллизию с *обратимостью исходных уравнений электродинамики*, которая приводит к формальной допустимости использования симметричного во времени решения – линейной комбинации выражений $f(t - x/c)$ и $f(t + x/c)$. При этом нельзя не отметить, что и *обратимые* уравнения механики чаще всего используются лишь для описания *будущего* поведения объектов. В то же время именно *обратимость* уравнений механики является, как убедительно показано в [Хайгун, 1996], непреодолимым препятствием для *априорного* обоснования необратимости стохастического поведения физических ансамблей.

Между тем, идея *симметричного* во времени процесса электромагнитного взаимодействия в начале 20-го века начала завоевывать умы физиков. Так, авторы работы [Уилер и Фейнман, 1945] приводят яркое и глубокое высказывание Тетроде (1922 год), который считал излучение следствием непосредственного взаимодействия между излучателем и поглотителем (перевод мой – М.Х.Ш.):

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

В результате Фоккером и другими физиками была сделана попытка представить действие в более симметричной по отношению ко времени форме (см. [Владимиров и Турыгин, 1985]), где интегралы в выражении для действия (в пространстве Минковского) берутся уже не от *начальной* точки движения до *конечной*, а *от некоторой 4-мерной точки в прошлом до симметричной ей точки в будущем*, причем вектор-потенциал A представляет собой просто сумму таких симметризованных во времени парных взаимодействий выбранной (излучающей) частицы с каждой из остальных частиц Вселенной. В результате действие поля заменяется совокупностью *прямых* и *нелокальных* в пространстве-времени межчастичных взаимодействий.

Такой формализм эквивалентен уравнениям Максвелла, однако “опережающее” взаимодействие, которое в нем присутствует наравне с “запаздывающим”, входит в противоречие с физической интуицией и отвечающим ей принципом причинности. Более того, как будет видно из дальнейшего изложения, в целом проблема необратимости таким образом вовсе не устраняется, а лишь проявляет себя в другом месте. С другой стороны, имеются глубокие физические основания использовать именно симметричный во времени формализм для описания *микроскопических* взаимодействий.

Дальнейшее развитие эти идеи получили в середине 20-го века, когда были опубликованы знаменитые работы [Уилер и Фейнман, 1945, 1949], придавшие идее нелокального дальнего действия зарядов вполне конкурентоспособный статус по сравнению с идеей ближнего действия. Напомню, что согласно последней поле распространяется локально – от одной точки к другой, соседней с ней. Акт и источник излучения в теории ближнего действия никак не связываются с актом поглощения и его будущим приемником (поглотителем). Напротив, в теории дальнего действия источник и приемник излучения связываются воедино этим процессом. При этом в основе всех моделей симметризованного во времени процесса излучения лежит представление о существовании во Вселенной распределенной среды, состоящей из *большого числа вторичных зарядов*, которые и определяют важнейшие особенности этого феномена.

Надо сказать, что роль такого рода среды велика и в классической электродинамике. В частности, эта роль заключается в эффекте замедления скорости распространения по сравнению со скоростью света в вакууме. Данный эффект связан с наличием в той или иной среде связанных зарядов, которые создают вторичные поля, т.е. переизлучают электромагнитные колебания с определенной фазовой задержкой. Действительно, в отсутствие *промежуточных зарядов* исходный осциллирующий заряд создавал бы для *пробного* заряда поле, пропорциональное множителю $\cos(\omega t - r/c)$, где r – расстояние между исходным и пробным зарядами. Однако исходный заряд действует также и на промежуточные заряды, которые вследствие этого (с фазовой задержкой) создают *дополнительное* воздействие на пробный заряд. В результате действия большого числа таких связанных зарядов возникает (см. [Фейнман и др., 1963]) так называемый показатель преломления среды. При прохождении света через среду показатель преломления может быть комплексным. Появление мнимой части означает, что кроме сдвига фазы происходит еще и поглощение энергии колебаний излучения.

Фейнман рассматривает механизм *обратного* воздействия вторичных зарядов на первичный, вводя два основных предположения. Первое из них состоит как раз в *симметричном* использовании *опережающего* потенциала реакции наряду с *запаздывающим*. Оно, однако, позволяет вывести значение для силы радиационного трения, пропорционального самому исходному ускорению (а не его производной по времени, как должно быть в окончательном результате) излучающего первичного заряда и объемной концентрации вторичных зарядов, окружающих источник излучения.

Ситуацию исправляет второе предположение, которое заключается в обязательном наличии достаточно большого количества вышеупомянутых вторичных зарядов, распределенных во Вселенной (и связанного с ними показателя преломления). Благодаря этому при интегрировании по всему множеству вторичных зарядов учитывается дополнительный фазовый множитель, также зависящий от объемной концентрации частиц. В результате после интегрирования зависимость от объемной концентрации исчезает (интеграл берется от нуля до бесконечности, в случае конечного радиуса “облака зарядов” зависимость оставалась бы), и для каждой отдельной частотной компоненты силы появляется множитель, равный ее частоте, что соответствует переходу от самой функции к ее производной по времени.

7.2. Обсуждение модели излучения Уилера-Фейнмана

В данном параграфе я позволю себе обнародовать критическую оценку модели излучения Уилера и Фейнмана. Прежде всего, авторы этой концепции утверждают, что из исходной симметричной суммы опережающих и запаздывающих потенциалов удастся вывести в итоге правильное результирующее соотношение, в котором (в согласии с опытом) остаются лишь запаздывающие слагаемые. Должен к стыду своему честно признаться, что формальное доказательство этого факта (как в оригинальной статье, так и в изложении других авторов) не показалось мне ни ясным, ни бесспорным.

Между тем опережающие потенциалы привлекаются не столько с целью добиться формальной симметрии решения во времени как таковой, сколько для того, чтобы *объяснить* так называемое *радиационное трение обратным действием* вторичных зарядов (поглотителей)

на первичный (излучающий), а не “самодействием электрона” по Лоренцу. Именно в успехе такого объяснения и кроется привлекательность гипотезы Уилера-Фейнмана. А нельзя ли соединить такой механизм обратной связи с традиционным использованием одних только запаздывающих потенциалов?

Анализ рассуждений Уилера и Фейнмана показывает, что они оперируют с сугубо *стационарным* процессом электромагнитных колебаний, используя разложение поля в ряд Фурье по отдельным гармоникам. Этот прием, во всяком случае, характерен для первых двух из четырех альтернативных способов, с помощью которых указанные авторы приходят к окончательному результату. При таком подходе исходное электромагнитное воздействие не имеет во времени ни начала, ни конца, и каждый конкретно рассматриваемый период колебаний при соответствующем выборе фазы *не отличим* от любого другого, предшествующего ему или следующего за ним. Замечу, что аналогичный подход подразумевается и при традиционном рассмотрении, поскольку подсчет силы радиационного трения основан на оценке мощности *стационарного* излучения, т.е. на зависимости от частоты для *равновесного (установившегося)* процесса.

Таким образом, для обоснования механизма обратной связи достаточно, чтобы обратное *гармоническое* воздействие приходило к излучающему заряду в *нужной фазе*. Но такое обратное воздействие может создаваться не за счет *реально* опережающего воздействия, а за счет запаздывающего влияния поглотителя, удаленного на определенное расстояние от излучателя, причем очевидно, что это (выделенное) расстояние должно быть *кратно длине волны*.

А как быть с обратным воздействием от всех *остальных* поглотителей, которые расположены не в этих *узловых* точках? Я полагаю, что их суммарный вклад равен нулю. Действительно, рассмотрим любую пару таких точек, расположенных *симметрично* по обе стороны от узла. В силу строгой нечетности синусоиды фазы приходящей от них к излучателю реакции противоположны и поэтому взаимно компенсируют друг друга.

Если принять такую интерпретацию, то конкретный механизм возникновения радиационного трения, предложенный Фейнманом, утрачивает всякие элементы мистики и становится адекватным природе вещей.

Следует отметить, что сам факт существования реакции, т.е. обратной связи, совершенно не обязательно должен связываться с наличием *опережающего* воздействия. Скорее, напротив. Так, сила F_{mp} обычного *механического* трения возникает, как физическое следствие внешней движущей силы F , и никоим образом не является опережающей. Учет трения производится заменой закона движения Ньютона $a = F/m$ на $a = (F - F_{mp})/m$, где a – ускорение, m – масса тела. Скорректированное выражение показывает, что *реальное* ускорение оказывается меньше *потенциально возможного* из-за потери энергии вследствие реакции.

Что касается электромагнитных явлений, то процесс излучения в пространстве имеет глубокое и неслучайное внутреннее сходство с распространением сигнала в электрической цепочечной схеме или в длинной линии. Поэтому учет *радиационного* трения аналогичным образом может быть осуществлен в эквивалентной электрической схеме замещения путем перехода в законе Ома от величины тока $i = E/z$ к величине $i = (E - U_{rad})/z$. Здесь E – внешняя электродвижущая сила (в реальности обусловленная механическими колебаниями первичного излучающего заряда), z – импеданс вакуума (477 Ом). Слагаемое U_{rad} , ответственное за радиационное трение, может быть интерпретировано как падение напряжения на *внутреннем сопротивлении* источника, который, таким образом, является не *идеальным*. *Реальный* ток оказывается меньше *потенциально возможного* из-за потери энергии вследствие реакции.

Возможность существования колебаний в пространстве обычно воспринимается как само собой разумеющийся факт. В действительности это требует наличия *специфической среды*, заполняющей пространство. Такая среда обладает способностью (выраженной строго количественно) запасать, возвращать и передавать с конечной скоростью далее энергию электромагнитного поля, и притом с определенными типом и степенью инерционности, что и приводит к появлению колебаний, стоячих, прямых и отраженных бегущих волн.

Трактовка радиационного трения как обычной (не опережающей в истинном смысле этого слова) реакции имеет глубокий физический смысл еще по одной причине. Эта реакция, как известно, описывается уравнением третьего порядка по координате колеблющегося заряда. В случае стационарного гармонического колебания это, как и для членов первого порядка, приводит, в полном соответствии с действительностью, к *необратимой* потере активной энергии.

Хотел бы дополнительно обратить внимание читателя на следующую непоследовательность, присущую, как мне кажется, модели Уилера-Фейнмана. Авторы этой модели, с одной стороны, говорят о *прямом* межчастичном взаимодействии, а с другой стороны (при описании этого взаимодействия) учитывают наличие *промежуточной* среды и соответствующего показателя преломления. Хотя зависимость от величины этого показателя при бесконечном радиусе поглощающей среды, как мы видели, исчезает, но он играет важную роль, если этот радиус конечен.

Добавлю, что учитывая потери энергии на радиационное трение для первичного излучателя, авторы модели совершенно не затрагивают вопрос о подобных потерях энергии для вторичных зарядов (поглотителей). Если этот фактор учитывать, получается, что среды без поглощения не бывает (что, видимо, сушая правда). Более того, фактор рассеяния энергии вследствие обратного воздействия введен Уилером и Фейнманом “руками”, вне рамок волнового уравнения, поскольку это уравнение выводится из уравнений Максвелла для области, свободной от зарядов. Учет зарядов и их взаимодействия должен привести – в принципиальном плане – к замене обычного волнового уравнения на более сложное, а его решение должно будет содержать, в том числе, полное описание обратного влияния зарядов на излучатель и эффекта радиационного трения.

7.3. Излучение и теория шаровой расширяющейся Вселенной

Значит ли вышесказанное, что прямое межчастичное взаимодействие – фикция? Как соотносятся представления о *прямом* межчастичном взаимодействии с новыми представлениям, излагаемым в настоящей работе?

С одной стороны, как неоднократно отмечалось в предшествующем изложении, ТШРВ исходит из представления об абсолютной одновременности всех тех и только тех физических событий, которые принадлежат *изохронным* гиперповерхностям 4-мерного шара, представляющим соответствующие сечения истории Вселенной. Из этого в конечном счете следует, что свет распространяется нормально направлению времени, т.е. вдоль гиперповерхностей. Когда световой квант от звезды движется к глазам земного наблюдателя, его (кванта) движение может быть связано с *единственной* инерциальной системой отсчета, сравнить показания часов в этой системе и в системе отсчета Землянина *невозможно*, так что гипотеза Тетроде о *прямом* взаимодействии излучателя (звезды) и поглотителя (глаза земного наблюдателя) оказывается удивительным образом верна!

С другой стороны, как только мы говорим об *обратном* действии поглотителя на излучатель в связи с моделью непосредственного межчастичного взаимодействия, мы вынуждены вернуться к уже известному нам решению (в предельном случае световой скорости) для парадокса часов. Вначале, когда световой квант уносится от источника, ему можно соотнести одну инерциальную систему. При отражении сигнала эта сопутствующая ему инерциальная система благополучно продолжает свой мысленный полет, а отраженный квант “перепрыгивает” в *другую* (движущуюся назад к Земле) инерциальную систему отсчета и на *другую* изохрону, *меняя* при этом *знак* скорости и вектора *импульса* на противоположный. Если считать, что этот процесс прыжка занимает все же какое-то (очень малое) время, то частота фотона как бы очень быстро снижается до нуля, а затем снова возрастает до исходной величины; тут-то и возникает скачок времени! Именно поэтому между посылкой исходного сигнала (например, на Луну или на Марс) и приемом отраженного сигнала возникает пауза, которая в точности равна двойному промежутку времени, необходимому для распространения

света на соответствующее расстояние. Таким образом, в ТШРВ, насколько я понимаю, возникает та же система представлений о доминировании “запаздывающего” потенциала, что и в традиционной электродинамике.

Обратимся теперь снова к фоновому излучению. Современная физика без колебаний приписывает его происхождение процессам в ранней Вселенной, т.е. полагает, что это излучение приходит из глубины времен. Считается, что мы наблюдаем “постаревшее” фоновое излучение ранней Вселенной (спустя лишь три тысячи лет после Большого Взрыва), когда существовали свободные электроны, способные легко рассеивать космическое фоновое излучение. Хотя подобные представления о распространении света вдоль светового конуса из прошлого в будущего в достаточной степени согласуются с традиционной трактовкой электродинамики, они, как было сказано, вступают в противоречие с идеями излагаемой здесь теории, согласно которой свет (и любое другое излучение, распространяющееся со световой скоростью) может приходиться лишь от объектов, расположенных в том же изохронном сечении Вселенной, что и приемник излучения, т.е. современных ему в абсолютном времяисчислении.

Что же представляет собой фоновое излучение с нашей точки зрения? Как было отмечено ранее, спектр этого излучения полностью отвечает теоретическому распределению для абсолютно черного тела. Но так и должно быть для *теплового* излучения, испускаемого всей составляющей ее материей и глобальным потоком пронизывающего Вселенную, т.к. в ней отсутствуют какие бы то ни было “перегородки”, отражающие такое излучение. Что же касается численного значения температуры фонового излучения, то оно несет важную информацию, связанную с глобальными параметрами Мира. Действительно, согласно закону Стефана-Больцмана удельная энергия ε излучения в единице объема (в Джоулях) пропорциональна четвертой степени температуры Θ черного тела (в Кельвинах):

$$\varepsilon \approx 8.8 \cdot 10^{-16} \cdot \Theta^4$$

Эта энергия должна составлять определенную долю по отношению к удельной энергии покоя, обусловленной средней плотностью материи во Вселенной, значение которой выводится в нашей модели из модифицированных уравнений Эйнштейна Фридмана:

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

Если бы вся соответствующая энергия покоя $\rho \cdot c^2$ преобразовывалась в энергию теплового излучения, то мы получили бы для средней плотности материи во вселенной значение порядка $5.4 \cdot 10^{-34}$ г/см³, а для возраста вселенной – значение порядка 3 триллионов лет. Повидимому, это не так; приняв на основе современных измерений постоянной Хаббла возраст Вселенной меньшим на 2 порядка, а плотность – на 4 порядка большей, можно заключить, что средняя энергия теплового излучения материи во вселенной составляет от ее энергии покоя долю, приблизительно равную одной сотой процента, т.е. 10^{-4} .

8. О НЕОБРАТИМОСТИ

Как говорилось в самом начале работы, в науке уже давно обсуждается так называемая “стрела времени” (И.Пригожин [Пригожин, Стенгерс, 1994] говорит о “парадоксе времени”), связанная с необратимостью подавляющего большинства природных явлений и вторым началом термодинамики. С моей точки зрения, замечательно глубокий анализ физических аспектов этой проблемы дал С.Д.Хайтун, в книге [Хайтун, 1996] которого приведена и исчерпывающая библиография, а также основополагающее определение В. Томсона:

В абстрактной динамике мгновенное обращение движения каждой движущейся частицы системы вызывает движение системы в обратном направлении, каждая частица движется вдоль ее старого пути и с той же скоростью, что и раньше, когда оказывается в том же месте. Говоря математическим языком, всякое решение остается решением, когда t заменяется на $-t$. В физической динамике эта простая и абсолютная обратимость перестает иметь место, если учесть силы, зависящие от трения твердых тел, неидеальную текучесть жидкостей, неидеальную упругость твердых тел ...

Я позволю себе в дальнейшем изложении ограничиться ссылками лишь на две вышеупомянутые работы, а также на книгу С.Хокинга [Хокинг, 1990]. Считаю уместным также напомнить здесь основные определения:

- Равновесное состояние – состояние с наибольшей вероятностью (с максимальным значением энтропии).
- Закрытая (изолированная) система – система, не обменивающаяся со средой ни энергией, ни веществом.
- Консервативная система – система, гамильтониан которой (механическая энергия) не содержит явной зависимости от времени, т.е. для которой $dH/dt = 0$.
- Открытая система – система, обменивающаяся со средой и энергией, и веществом ($dH/dt \neq 0$).
- Замкнутая система – система, обменивающаяся со средой только энергией ($dH/dt \neq 0$).

8.1. Необратимость и космология

Остановимся вначале на так называемой *космологической* стреле времени. В соответствии со сказанным в разделе 3, космологическая модель Эйнштейна-Фридмана допускает три класса решений, одно из которых явно выделяет стрелу времени, отвечающую необратимому расширению Вселенной. По крайней мере для такого решения необратимость эволюции усугубляется самим фактом рождения Вселенной, или Большого Взрыва. Вот что пишет автор [Пригожин, Стенгерс, 1994]: “Большой Взрыв можно рассматривать как необратимый процесс в самом что ни на есть чистом виде. В самом деле, что может быть более необратимым, чем процесс перехода из “ничего” (квантового вакуума) в нашу Вселенную с ее материей-энергией?”.

В данной книге я попытался показать, что само время как таковое неразрывно связано с реальным направлением изменения радиуса Вселенной. Замечу, что если бы ее радиус уменьшался, время текло бы в *обратную* сторону, а если этот радиус станет постоянным, время остановится (это решающее для нашей модели утверждение вряд ли может быть проверено экспериментально - впрочем, как говорится в одной финской притче о двух соседях и их несчастьях, кто знает).

8.2. Необратимость и термодинамика

Рассмотрим теперь вопрос о *термодинамической* стреле времени. Пригожин [Пригожин, Стенгерс, 1994] пишет: “Второе начало термодинамики в том виде, как его сформулировал Клаузиус, т.е. утверждение о том, что все происходящие в природе процессы вызывают увеличение энтропии, относится к физико-химическим процессам. К этим процессам относятся химические реакции, перенос тепла или вещества, диффузия и т.д. Все эти процессы увеличивают энтропию и не могут быть описаны в терминах обратимых преобразований, как в примере с колебаниями маятника. Каждая химическая реакция устанавливает некоторое различие между прошлым и будущим: она эволюционирует к равновесному состоянию, которое должно существовать в нашем будущем. Аналогичным образом в изолированной системе все неоднородности распределения температуры сглаживаются, и в будущем распределение становится однородным. Таким образом, эволюция обретает весьма ограниченный смысл: она приводит к исчезновению порождающих ее причин”.

“Проблема необратимости проста по формулировке. Как физика является фундаментом естествознания, так и сама физика покоится на механике Ньютона-Гамильтона. Но уравнения механики симметричны во времени, ее мир обратим, тогда как реальные процессы необратимы”, отмечается в [Хайтун, 1996] (речь идет о замкнутых физических системах).

Пригожин, который являлся выдающимся современным специалистом в области физики необратимых процессов, в работе [Пригожин, Стенгерс, 1994] попытался преодолеть это фундаментальное противоречие за счет использования более “богатого” (чем пространство Гильберта) пространства функций, описывающих квантовомеханическую эволюцию состояний. В используемой им модели к действительной части показателя экспоненциального множителя добавляется или вычитается (в зависимости от знака времени) малая мнимая часть, что автоматически позволяет внести различие между прошлым и будущим. Однако Хайтун справедливо указывает на произвольность такой модификации решения, если исходные уравнения остаются неизменными.

Более того, автор [Хайтун, 1996] убедительно доказывает, что общность понимания проблемы необратимости и представления о ее решении у крупнейших физиков и математиков мира 19-го и 20-го столетий является мифом. Их взгляды зачастую значительно расходятся, а то, в чем многие из них единодушны, основывается на принципиальнейших ошибках. Важнейшая и наиболее типичная из них состоит в получении необратимых уравнений из обратимых путем неявного отбрасывания одной из двух альтернативных ветвей развития процесса или явления. Хайтун перечисляет основные направления статистической теории необратимых процессов и показывает, что четыре из них (кинетическая теория, теория флуктуаций, эргодическая теория и теория обратимого динамического хаоса) теснейшим образом связаны с механикой Гамильтона и не могут ей противоречить, а значит, не могут привести к адекватному описанию необратимых процессов. Пятое же направление – синергетика – изучающая необратимый динамический хаос, напротив, является существенно негамильтоновой и поэтому не может быть выведена в качестве следствия из динамики замкнутых систем. Еще раз повторю, что автор работы [Хайтун, 1996] подробно исследует практически все известные линии получения необратимых соотношений и каждый раз указывает то конкретное место, где допущена логическая или математическая ошибка.

8.3. Необратимость и неупругие взаимодействия

Важнейшим идейным пунктом монографии [Хайтун, 1996] является обращение к формулировке второго начала термодинамики, данной Вильямом Томсоном, согласно которой в ходе необратимых процессов происходит диссипация механической энергии. При таком понимании именно *диссипация энергии является необходимым и достаточным условием необратимости* процесса. Хайтун апеллирует к классическим (Больцман, Гиббс) мысленным опытам с расплыванием газа шаров (вследствие строго упругих соударений) из угла по всему

объему сосуда или расплыванием капли красителя в прозрачной несжимаемой жидкости и утверждает, что в отсутствие диссипации энергии оба эти процесса обратимы.

Я также разделяю данное убеждение и думаю, что необходим тщательный теоретический и экспериментальный анализ представлений о *неупругом взаимодействии микрообъектов*, физическая сущность которого и является ключом к пониманию и происхождению необратимости. Решение парадокса тепловой необратимости я предлагаю искать в ситуации, когда уравнения гамильтоновой механики *не полностью* определяют физическую ситуацию, т.е. допускают более одного решения. В этом случае дополнительный фактор, действующий при микровзаимодействии, мог бы иметь и вероятностную природу, что сняло бы кажущееся противоречие.

Возможны ли ситуации, не описываемые однозначно гамильтоновой механикой? Да, возможны. Известно, в частности, что при упругом соударении более чем двух точечных частиц законы сохранения (энергии, импульса и момента импульса) дают меньшее число уравнений, чем требуется для однозначного нахождения всех скоростей. Вместе с тем подобные групповые соударения крайне маловероятны, поэтому в случае *упругого* взаимодействия существенной роли играть не могут. Однако в случае *неупругого* взаимодействия дело, как мне кажется, обстоит иначе.

Когда говорят о неупругом соударении макрообъектов, привлекаются представления об энергии деформации тел и т.п. Однако в случае микрообъектов мы не можем игнорировать теплового электромагнитного излучения, всегда присутствующего в объеме, где происходит теплопередача. При неупругом соударении происходит перестройка молекул и атомов, при этом испускаются и поглощаются тепловые фотоны. Но это означает, что фактически в *неупругом* взаимодействии всегда участвует *более двух* частиц, поскольку фотон практически является лишь *промежуточным* носителем избыточной энергии и импульса!

С точки зрения классических представлений необратимость возникает при неупругих соударениях уже за счет того, что кинетическая энергия разлетающихся частиц всегда строго меньше их суммарной энергии до соударения. Однако с квантовой точки зрения равновероятны как излучение, так и поглощение фотона, поэтому “демон необратимости” спрятан не здесь. В действительности необратимость связана с тем, что дополнительно “вовлекаемые” в соударение частицы выбираются фотоном-посредником абсолютно “случайно”. Именно акт излучения и поглощения фотона позволяет, как мне кажется, природе задействовать вероятностный механизм взаимодействия на микроуровне.

Во всяком случае, механизм, приводящий к установлению равновесия и формирующий “энтропийную” стрелу времени, с необходимостью должен быть определен уже на *микроуровне*. Точно так же и *биологическая* макроэволюция, выделяющая “антиэнтропийную” стрелу времени, может иметь место только в том случае, когда в ее основе заложен соответствующий негэнтропийный микромеханизм (например, запрограммированность сценариев эволюции на генетическом уровне). Вероятностное описание любого процесса в конечном счете всего лишь устанавливает его интегральные характеристики, тогда как суть явления с необходимостью обусловлена свойствами элементарных его составляющих.

8.4. Необратимость и электромагнитное излучение

Специально остановимся на проблеме необратимости применительно к электромагнитному излучению. Первый вопрос, который здесь кажется очевидным, это выделенное направление времени при макроскопическом излучении. В традиционной электродинамике это непосредственно связано с выбором одних лишь запаздывающих потенциалов. В трактовке же Уилера – Фейнмана это обусловлено ролью поглотителя в качестве фактора *несимметрии*. Действительно, попытка устранить несимметрию за счет введения опережающих потенциалов наравне с запаздывающими тут же оборачивается скрытым поражением, т. к. поглотителю приписывается существенно несимметричное поведение во времени. С одной стороны, любое излучение первичного источника поглощается

с течением времени в положительном направлении, т.е. *в будущем*. С другой стороны, воздействие на первичный заряд в виде излучения вторичных зарядов *из прошлого* принимается равным нулю. Если инвертировать ситуацию, допустить отсутствие поглотителя в будущем и, наоборот, наличие излучающей среды в прошлом, то в конечном соотношении останутся лишь *опережающие* слагаемые.

Итак, осциллирующий заряд, окруженный поглощающей средой, *теряет* энергию вследствие излучения. Почему же эта несимметрия возникает в рамках классической электродинамики, уравнения которой изначально симметричны относительно прошлого и будущего? Использование одного только запаздывающего члена Ритца и Тетраде связывали со вторым началом термодинамики на уровне каждого индивидуального элементарного акта, тогда как Эйнштейн считал эту связь с необратимостью сугубо статистической. Уилер и Фейнман вместе с Эйнштейном также приходят к выводу, что необратимость процесса излучения представляет собой феномен статистической механики, связанный с *необратимостью начальных условий относительно направления времени*.

Только несимметрией начальных условий может быть, повидимому, объяснена направленность во времени процесса эмиссии энергии. В этом случае получается решение уравнения движения, соответствующее обычно используемому. И в этом нет ничего, противоречащего физической интуиции, поскольку при рассмотрении антенны, принимающей излучение из внешней среды, ситуация становится в точности обратной, если только считать процессы излучения и поглощения *идеальными*. Идеальным, в частности, является случай, когда мы исследуем *изолированную* систему двух микроскопических объектов – атомов, один из которых испустил фотон, а другой непосредственно поглотил этот же фотон. Процесс излучения обратим на микроскопическом уровне (вероятность излучения равна вероятности поглощения).

В то же время *реальный* макроскопический излучатель теряет энергию *не только* на излучение во внешнюю среду, но и на радиационное трение. *Первая* составляющая связана с числовыми значениями параметров *внешней* распределенной среды (магнитная и диэлектрическая проницаемость), т.е. с импедансом вакуума (при обращении ситуации эта же энергия принимается антенной из внешней среды). *Вторая* составляющая связана с неидеальностью колеблющегося заряда как источника энергии, конечностью запаса этой энергии. Как уже отмечалось выше, на языке электротехники ситуацию можно изобразить эквивалентной схемой, в которой “идеальный” источник электродвижущей силы нагружен на импеданс вакуума последовательно с собственным (отличным от нуля) импедансом.

Необратимость радиационных потерь создает интересную коллизию. Такие потери обычно (в механических, электротехнических и иных процессах) связывают с тепловым излучением, навсегда уносящим энергию из рассматриваемой системы. В данном же случае, во-первых, исходный процесс сам по себе является излучением, а во-вторых область, где этот процесс происходит, занимает ни чем теоретически не ограниченную область пространства, т.е. всю Вселенную. Поэтому остается считать, что исходное излучение первичного заряда в некоторой своей части трансформируется в хаотическую компоненту произвольной частоты и направления, выпадающую из направленного поля излучения и не учитываемого в относящемся к ней балансе энергии.

Второй вопрос возникает, если все же принять подход Фейнмана-Уилера, основанный на реальном существовании опережающего воздействия, т.е. на том, что наряду с обычным *запаздывающим* действием частицы *a* на *b*, возможно также и *опережающее* действие *b* на *a*. Это приводит к хорошо известным временным парадоксам, при которых событие-следствие загадочным образом могло бы влиять на событие-результат и даже предотвратить его, что само по себе абсурдно. Чтобы решить парадокс, следует, по мнению Уилера и Фейнмана, дополнительно декларировать принцип запрета на подобные замкнутые во времени (петлеобразные) цепочки событий. По моему же мнению, опережающее действие, если бы оно имело место в макроскопических масштабах, вступило бы в гораздо более радикальное противоречие с действительностью, и подобным сравнительно слабым запретом такого

противоречия избежать бы не удалось. Если уже Лапласовский детерминизм полностью исключает *различные* варианты дальнейшей эволюции Вселенной, сохраняя лишь один из них, то встречный детерминизм опережающего воздействия всего на все, как мне кажется, просто заблокировал бы какую бы то ни было эволюцию вообще!

8.5. Связь между космологической и термодинамической необратимостью

В отношении процессов, связанных с диссипацией механической энергии, Хайтун считает невозможным построить корректную термодинамическую теорию на основе законов гамильтоновой механики. Он, в частности, отклоняет возможность (идею Козырева) рассматривать Вселенную в целом в качестве системы, в которой не выполнялся бы закон сохранения энергии. Как понял читатель из чтения предыдущего материала, моя точка зрения на этот тезис прямо противоположна, что позволяет наметить подход к решению проблемы глобальной термодинамической необратимости. Более того, я уверен, что вообще любая попытка построить теорию, приводящую к необратимости, эквивалентна утверждению о неоднородности времени относительно законов этой теории и тем самым означает и несохранение энергии.

При вычислении энтропии системы рассматривается распределение элементов подсистемы по энергии. Если считать минимально возможную “порцию” энергии неизменной, то увеличение суммарной энергии Вселенной (в соответствии с предложенной мною системой представлений) с течением времени увеличивает и множество возможных вариантов распределения по энергиям, т.е. уменьшает вероятность каждого отдельного состояния.

Поясню это с помощью “железнодорожной” аналогии. Предположим, что вчера утром определенное число пассажиров должно было разместиться по одному в купе поезда, причем число купе больше числа пассажиров. Состоявшийся вариант размещения пассажиров имеет определенную вероятность, которую несложно рассчитать. Далее предположим, что на следующее утро (сегодня) число пассажиров осталось тем же, но был подан поезд с увеличенным числом купе. В этом случае конкретный вариант сегодняшнего размещения пассажиров по купе будет иметь меньшую вероятность относительно всех возможных (сегодня) вариантов, чем вчерашний вариант.

Следует отметить, что увеличение массы и энергии покоя в предложенной модели никоим образом не происходит равномерно по объему Вселенной. Наоборот, основной прирост массы и энергии связан с местами *локализации материальных тел*. Поскольку *относительный* рост массы определяется только возрастом Вселенной, то чем больше масса тела, тем больше ее *абсолютный* прирост. Поэтому основными источниками потоков энергии и неэнтропии во Вселенной являются массивные центры галактик и звезды. Об этом же свидетельствуют и астрофизические данные - мощность излучения большинства звезд пропорциональна четвертой степени их массы.

Таким образом, наличие космологической стрелы времени обуславливает *уменьшение* энтропии расширяющейся Вселенной. Она (энтропия) убывает, а значит, имеет место фактор, способствующий внесению асимметрии в начальные/финальные условия. Но это с необходимостью влечет за собой реакцию - восстановление симметрии, процесс релаксации, связанный с диффузией в пространстве координат и/или скоростей; напомним, что решение диффузионного уравнения всегда порождает переход от менее вероятного состояния к более вероятному, от несимметричного состояния к симметричному как в пространстве (например, расплывание газового шлейфа от летящего самолета), так и во времени (выравнивание температур). Такой процесс и приводит в соответствующих случаях к (спровоцированному) росту энтропии с течением космологического времени. Этот рост энтропии не противоречит симметрии уравнений механики относительно знака времени, поскольку несимметрия вносится *внешним* (за счет космологии) образом в начальные/финальные и/или краевые условия. Более того, *он в принципе не может превзойти* уменьшение энтропии, вызванное этим последним фактором - в крайнем случае, лишь скомпенсировать его.

8.6. С.Хокинг о психологической стреле времени

Что же касается совпадения направлений термодинамической стрелы с *психологической*, то в общем можно согласиться с аргументацией С.Хокинга [**Хокинг, 1990**], цитату из книги которого я с удовольствием воспроизвожу:

Я докажу, что психологическая стрела определяется термодинамической и обе эти стрелы направлены одинаково... Мне кажется вполне логичным предположить, что и у компьютеров, и у людей психологическая стрела одна и та же. Если бы это было не так, то, имея компьютер, который помнил бы завтрашний курс акций, можно было бы прекрасно играть на бирже... (Для запоминания)... надо затратить некоторое количество энергии... Эта энергия перейдет в тепло и тем самым увеличит степень беспорядка во Вселенной. Можно показать, что это увеличение беспорядка будет всегда больше, чем упорядочение самой памяти. Необходимость охлаждения компьютера вентилятором говорит о том, что, когда компьютер записывает что-то в память, общий беспорядок во Вселенной все-таки увеличивается. Направление времени, в котором компьютер запоминает прошлое, оказывается тем же, в котором растет беспорядок.

Итак, у демона Максвелла нет никаких шансов!

8.7. Специфика необратимости в квантовой теории

В квантовой механике проблема необратимости приобретает специфические и принципиальные особенности. Важность этой проблемы детально обрисовал Джон фон Нейман в знаменитой монографии [**фон Нейман, 1932**]. Он рассмотрел эволюцию квантовой системы и указал два ее возможных типа (1 и 2). Если процесс 2 (U-процедура по классификации Р. Пенроуза) соответствует унитарной эволюции и обратимому уравнению Шредингера, то процесс 1 (R-процедура по классификации Р. Пенроуза) отвечает необратимому процессу измерения, при котором реализуется только одна из квантовых альтернатив, т.е. происходит неунитарная редукция (коллапс) волновой функции. С такой R-процедурой связан целый комплекс проблем, которые не только выходят на все более заметный план, но и активно исследуются в последние десятилетия экспериментально.

Одной из таких ключевых проблем при этом является следующая: почему наш мир “классичен” (т.е. почему в обычной жизни мы никогда не встречаем системы в состоянии квантовой суперпозиции, а только лишь в одном из альтернативных состояний)? Заметим, что этот вопрос имеет и весьма практическое значение, поскольку в квантовых компьютерах используются именно состояния с суперпозицией, которые не только должны храниться в течение произвольного времени, но и подвергаться операциям, не приводящим к утрате их специфически квантового статуса.

Претензии на решение этой проблемы активно декларируются современным научным направлением, которое принято называть теорией декогеренции. Вот что пишет один из активных создателей этой теории [**Зурек, 2002**] (перевод мой – М.Х.Ш.):

Проблема измерения имеет долгую и очень занимательную историю. Первое широко распространенное объяснение того, как единственный вариант возникает из множества потенциально возможных, было предложено копенгагенской интерпретацией, данной Нильсом Бором, который утверждал, что для выявления результата измерения необходим классический прибор. Таким образом, квантовая теория объявлялась неуниверсальной. Ключевым моментом копенгагенской интерпретации является разделительная линия между квантовой и классической теориями. Бор подчеркивал, что этот водораздел должен быть подвижным, так что даже “оконечный прибор” – человеческая нервная система – в принципе может быть

измерена и проанализирована в качестве квантового объекта, имея в виду, что подходящее классическое устройство может быть выбрано в зависимости от задачи.

В отсутствие жесткого критерия для выявления различия между квантовыми и классическими объектами часто использовалось отождествление классического объекта с макроскопическим. Неадекватность этого подхода стала понятной только в результате относительно недавних исследований: криогенный вариант шины Вебера (Weber bar) – гравитационно-волновой детектор – должен рассматриваться как квантовый гармонический осциллятор даже в предположении, что он может весить тонну. Неклассические конденсированные состояния могут описывать колебания подходящим образом приготовленных электромагнитных полей с макроскопическим числом фотонов. Наконец, квантовые состояния, связанные с токами в сверхпроводящих переходах Джозефсона, порождают макроскопическое число электронов, но все еще могут туннелировать через минимум эффективного потенциала, отвечающего противоположному направлению вращения.

Но если макроскопические системы не могут всегда использоваться в качестве надежно установленного классического объекта, то, может быть, границы между классическими и квантовыми объектами вообще не существуют? ...

Несмотря на глубокие корни указанных трудностей, в последние годы выявился растущий консенсус относительно того, что прогресс может быть достигнут при увязке этих вопросов с общей проблемой измерения (обычный эвфемизм для коллекции интерпретационных головоломок, описанных выше). Выявился ключевой (и бесспорный) факт, восходящий едва ли не к началам квантовой теории, однако его значение для перехода от квантовой к классической области было осознано лишь теперь: макроскопические системы никогда не изолированы от своего окружения. Поэтому ... не следует ожидать, что они подчиняются уравнению Шредингера, которое справедливо лишь для замкнутой системы. Как следствие, системы, обычно рассматриваемые как классические, естественным образом теряют квантовую когерентность, которая как бы “вытекает” в их окружение. Результирующая “декогеренция” не может игнорироваться, когда речь идет о проблеме редукции квантовомеханического волнового пакета: декогеренция действительно накладывает соответствующее “embargo” на потенциально возможные исходы, позволяя наблюдателю регистрировать потенциально возможные альтернативы, но следуя лишь одной из ветвей – одной из “декогерентных историй” в терминологии М. Гелл-Мана.

Теория декогеренции предлагает следующий инструментарий для решения проблемы. Во-первых, в качестве *средства* описания квантовой системы, ее представителя, используется не сама волновая функция системы, а получаемая из нее матрица плотности (для чистых, т.е. не смешанных, состояний эти два описания эквивалентны). Матрица плотности имеет то преимущество, что в ней явно присутствуют *недиагональные* члены, ответственные за интерференцию различных базисных состояний, т.е. за состояние суперпозиции как таковое. Поэтому переход от состояния суперпозиции к (классической) смеси состояний теория декогеренции предлагает трактовать как переход к новой матрице, в которой остаются только диагональные члены, а недиагональные члены с течением времени более или менее быстро стремятся к нулю.

Во-вторых, теория декогеренции предлагает аппарат для количественного исследования именно самого процесса, приводящего к исчезновению недиагональных членов. С этой целью строятся те или иные модели и выписываются соответствующие уравнения, описывающие *взаимодействие с окружающей средой*. В таких уравнениях слева фигурирует производная матрицы плотности по времени, а справа, наряду с обычным коммутатором матрицы плотности и гамильтониана, вводятся дополнительные слагаемые, ответственные за “классическую” диссипацию и за специфически квантовую декогеренцию. Таким образом необратимость, по существу, закладывается непосредственно в основу данного подхода, а в ходе его реализации

действительно удается получить *количественное* описание процесса декогерентизации, имеющего много общего с процессом диссипации. Очень подробное и интересное описание этого и смежных подходов можно найти на русском языке в содержательных обзорах [Менский, 1998, 2003].

В уже цитировавшейся мною работе [Зурек, 2002] ее автор пишет далее:

С 1991 г. была проделана большая работа по исследованию основного уравнения и его модификаций для различных случаев... Возможно, наиболее важное развитие изучение декогеренции получило в экспериментальной области. За прошедшее десятилетие был осуществлен ряд экспериментов по изучению декогеренции в разных системах. В частности, Michel Brune, Serge Haroche, Jean-Michel Raimond и их коллеги из Ecole Normale Supérieure в Париже ... осуществили серию экспериментов в микрополостях, в которых они манипулировали электромагнитными полями над суперпозициями типа “кошки Шредингера”⁴, используя атомы рубидия. Они исследовали процесс разрушения квантовой когерентности. Эти эксперименты подтвердили основные положения теории декогеренции. С тех пор французские ученые использовали ту же самую технику для внедрения различных квантово-информационных технологий. Они совершенствуют свое оборудование, создавая все более “крупных” кошек Шредингера и изучая процесс их декогеренции.

Немного позже Wineland, Monroe и их сотрудники ... использовали замороженные ионы (Ion traps) (в связи с внедрением фрагмента разработки для квантовых вычислений) для изучения декогеренции ионов под действием излучения. И снова теория была подтверждена, дальнейшее развитие статуса декогеренции и как ключевого элемента объяснения возникающей “классичности”, и как угрозы для квантовых вычислений. Дополнительно к этим новым моментам, которые при проверке различных аспектов декогеренции, обаянных реальной и имитированной существенной среды ... , Pritchard и его сотрудники из Массачусетского технологического института осуществили красивую серию экспериментов с использованием атомной интерферометрии, исследуя роль передачи информации между атомами и фотонами Наконец, “аналоговые эксперименты”, моделирующие поведение уравнения Шредингера в оптике ... выявили некоторые другие тайные закоулки пространства параметров.

В дополнение к этим существенным экспериментам по мезоскопической декогеренции объектов типа кошки Шредингера, в некоторых лабораториях были исследованы значительно более существенные “кошки” (например, зеркала в суперпозициях квантовых состояний).

Итак, классичность измерительного прибора теория декогеренция связывает с его ролью посредника между квантовой системой и внешней средой. Т.е. как бы сама по себе квантовая система не способна перейти в состояние смеси (или, по крайней мере, вероятность этого не слишком велика), но это становится крайне вероятным под воздействием окружения (так же многие родители пытаются объяснить плохое поведение своих чад). Если же включить рассматриваемый объект в состав более широкой системы вместе с определенной частью окружения, то для этой расширенной системы можно надеяться обойтись вполне обратимой моделью поведения и U-эволюцией по Шредингеру.

Однако при этом возникает та же проблема, что и при объяснении “классической” необратимости. Если считать для определенности Вселенную конечной и замкнутой, то рано или поздно мы будем вынуждены расширить рассматриваемую систему до размеров всей Вселенной, и нам потребуется принципиально иное объяснение необратимости. Здесь, конечно, дело заключается не в конечности, а в замкнутости Вселенной, т.е. в предположении о том, что ее полная энергия остается неизменной. Как мне представляется, именно это предположение

⁴ Имеются в виду объекты с двумя базисными состояниями (М.Х.Ш.)

оказывается несостоятельным, а отказ от него приводит к идее, восходящей к Козыреву и обосновываемой в настоящей работе. Согласно ей, в *каждой* точке Вселенной с течением времени возникает прирост энергии и, как следствие, негэнтропийные потоки. Особенностью этого процесса, как можно теперь заключить, являются дополнительные “квантовые” нюансы: всегда и повсеместно энтропийному процессу *декогеренции* противостоит (инициируя его) антиэнтропийный процесс *генерации квантовых объектов, находящихся в состоянии суперпозиции*. Здесь, правда, предстоит прояснить еще очень и очень многое.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настало время подвести некоторые итоги, которые, возможно, представят некоторый интерес не только для того, кто мужественно дочитал книгу до этого места, но и для нетерпеливого читателя, сразу заглянувшего в ее конец (автор и сам так иногда поступает).

Прежде всего, я хотел бы со всей определенностью заявить, что ни развитие современной физики вообще, ни идеи, лежащие в основе данной работы, невозможно представить себе без специальной и общей теории относительности Альберта Эйнштейна, первым пришедшего к концепции единого пространственно-временного континуума, геометрия которого в общем случае может быть неевклидовой. Тем, кто дал себе труд прочесть написанное выше, понятно, что в этом смысле данная работа является попыткой развития, некоторого переосмысления, но уж никак не отрицания или опровержения теории относительности.

Едва ли в начале 21-го века найдется консерватор от науки, который в принципе не допускал бы возможности какой-либо модификации или ревизии СТО и ОТО. В качестве известного мне примера попытки обобщения ОТО сошлюсь, например, на [Шипов, 1993]. Вопрос заключается, очевидно, лишь в том, достойна ли внимания та или иная конкретная попытка сделать это. Стало уже традицией, что каждый претендент защищает свою концепцию по таким критериям, как согласие в первом приближении с известными фактами, обоснованная критика общепринятой парадигмы, объяснение необъясненных и предсказание новых явлений.

Читатель моей книги должен был заметить, что предлагаемые в ней идеи в первом приближении действительно соответствуют идеям Эйнштейна и даже, как я выше отметил, не могли бы быть найдены без осмысления положений теории относительности. Что же касается критики общепринятой парадигмы, то я, как автор, должен сознаться в несомненной дерзости, поскольку подверг ревизии такие неприкасаемые догматы, как принцип относительности, принцип эквивалентности и закон сохранения энергии. Попробую оправдаться.

Принцип относительности является очень красивым математическим принципом, декларирующим равноправие систем отсчета. Физический же смысл этого принципа должен объясняться либо волей Создателя, которому важно, чтобы в его владениях царил демократия по отношению ко всем возможным наблюдателям, либо каким-либо еще экзотическим образом, что делает этот самый принцип достаточно уязвимым для критики. Взамен мной предложена наглядная геометрическая модель, в которой принцип относительности сводится к приближенному выполнению теоремы Пифагора для достаточно малых величин абсолютной скорости по отношению к выделенной системе отсчета, которая существует в любой точке пространства.

Принцип эквивалентности Эйнштейна является теоретическим постулатом, основанным на эмпирическом факте пропорциональности гравитационной и инертной массы. Однако этот принцип, как я попытался показать выше, неявно базируется еще на одной предпосылке, которая состоит в использовании представлений механики точечной частицы. Иными словами, принцип эквивалентности, использующий идею локально однородного поля, справедлив только для области пространства, размеры которой существенно больше, чем собственные размеры частицы, помещенной в поле внешнего источника. Если же гравитационный радиус пробного тела близок по величине к размеру области, в которой локализовано поле внешнего источника, то необходимо использовать более мощный понятийный и математический уровень механики сплошной среды. Крайне важно, что мы сталкиваемся именно с такой ситуацией в двух противоположных, как кажется на первый взгляд, предельных случаях - при рассмотрении Вселенной в целом и в задачах гравитационного коллапса.

Учет влияния собственного гравитационного поля материальных тел производится путем непосредственной и открытой легализации статического давления гравитирующей материи, что в некотором смысле равносильно введению в уравнения Эйнштейна знаменитой космологической постоянной. Выдающимся результатом такой модификации уравнений для нестационарного случая оказывается появление нового замечательного решения, которое

практически позволяет отождествить физическое Время с эволюцией радиуса кривизны Вселенной, а плотность материи – с самой величиной этого радиуса. Но высока и плата за новое решение - в нем масса покоя Вселенной не сохраняется во времени, а изменяется по линейному закону. Что же, это катастрофа для новой концепции?

Обратившись к теоретическому обоснованию закона сохранения энергии (в классической механике), опирающемуся на однородность времени, уместно спросить – а можно ли говорить об однородности времени для Вселенной с изменяющимся радиусом кривизны? Мне кажется, что ответ может быть только отрицательным, поэтому консерватизм в неаргументированном отстаивании закона сохранения энергии можно поставить в один ряд с судьбой пятого постулата Евклида. И, разумеется, нет никакого конфликта с реальностью – отклонение от закона сохранения составляет порядка 10^{-10} . Нет и ущерба для логики научной теории, так как на смену одному закону (сохранения) приходит новый закон (линейной эволюции), а не произвол и неопределенность.

Перехожу к объяснению необъясненных и предсказанию новых явлений. Для меня и тем и другим одновременно оказался феномен анизотропии реликтового излучения и связанное с ним наличие выделенной системы координат (см. раздел 5). К осознанию необходимости существования выделенной системы отсчета меня привели чисто теоретические соображения, однако сильно смущало видимое противоречие с общепринятой системой взглядов (и всеми известными мне экспериментами). Осенью 1996 года я рассказал об этой проблеме А.В.Московскому, который вспомнил, что он что-то читал об этом в [Вайнберг, 2000]. Затрудняюсь передать свое удивление и вспыхнувший энтузиазм после прочтения комментария Я.Б.Зельдовича к проблеме анизотропии фонового излучения, но это был психологически решающий момент в моей работе!

Что касается новых экспериментальных результатов, которые могли бы подтвердить новую концепцию, то я предполагаю, что они могут быть получены именно для тех двух предельных классов ситуаций, о которых уже говорилось выше. Это класс эффектов, характерных для Вселенной в целом (подобно анизотропии излучения), а также явления, связанные с гравитационным коллапсом или очень сильными гравитационными полями, разумеется, после построения правильной количественной теории, учитывающей статическое давление. Помимо этого, если предложенная мною модель Вселенной верна, и абсолютное движение земного наблюдателя в направлении на созвездие Льва (см. в разделе 3 об анизотропии реликтового излучения) со скоростью 0,15 % от скорости света действительно имеет место, то вполне вероятно, что удастся обнаружить аналогичную анизотропию в этом же направлении, например, при измерениях эффекта Доплера в радио- и оптическом диапазонах, как это описано в разделе 5.

Важнейшим достижением новой концепции я считаю прояснение представлений о сущности времени и движения. Впервые факт течения времени в качестве явного постулата введен в теорию и отождествлен с расширением сферической 3-мерной Вселенной в 4-мерном пространственно-подобном континууме. Впервые представление о трехмерных движениях бесчисленного множества тел сведено к единственному процессу расширения 3-мерной оболочки, “пронзаемой” мировыми линиями, откуда следуют и закон Хаббла, и новые физические представления о движении.

Опираясь на объективное существование волн де Бройля, мы сформулировали также гипотезу о массе как о квантовом числе, возрастающем одновременно с радиусом Вселенной. Последнее утверждение, в свою очередь, дало основание отказаться от принципа сохранения во времени массы и энергии Вселенной и заменить модель “большого взрыва” в момент рождения Вселенной на концепцию “энергетического насоса”.

Новая концепция времени, как было показано, связана с космологической необратимостью эволюции. Реальное расширение Вселенной есть первоисточник космологической необратимости, позволяющий через измерение кривизны пространства объективно регистрировать ход времени. Связанный с ним рост массы и энергии увеличивает число возможных состояний в фазовом пространстве (при фиксированном объеме

элементарной фазовой ячейки). Тем самым постоянно понижается полная энтропия Вселенной. Рост массы происходит неравномерно - чем больше масса тела, тем больше абсолютный ее прирост в единицу времени. Именно поэтому генератором эволюции являются звезды, изливающие энергию в окружающую среду и накачивающие отрицательной энтропией планеты. С другой стороны, поля, распространяющиеся со скоростью света, выравнивают температуру среды и создают встречные (т.е. вторичные) энтропийные потоки, рождая у наблюдателей иллюзии о неизбежном наступлении тепловой смерти Вселенной. Трудно недооценить роль подобного конструктивного ответа (если он, конечно, соответствует истине) на вопросы, поставленные наукой много десятков лет тому назад.

И, наконец, еще об одном важном обстоятельстве. В публикациях ряда ведущих теоретиков ОТО часто приходится встречаться с утверждением о необходимости ограничиться лишь анализом локального “гравитационного рельефа” в локальных же системах координат, о бессмысленности попыток построить глобальную картину Вселенной. Я убежден в противоположном и надеюсь, что предложенная мною модель может служить основанием для такой уверенности.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [Вайнберг, 2000] Вайнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. Москва. Издательство РХД. 2000.
- [Владимиров и Турыгин, 1985] Владимиров Ю.С., Турыгин А.Ю. *Теория прямого межчастичного взаимодействия*. Москва, Энергоатомиздат, 1985.
- [Долби и Гулл, 2001] С.Е. Dolby and S.F.Gull. *On radar time and the twin "paradox"*. Am. J. Phys. **69** (12), December, 2001.
- [Зельдович, Новиков, 1975] Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. *Строение и эволюция Вселенной*. Москва, Наука, 1975.
- [Зурек, 2002] Zurek H. Woitech. *Decoherence and the Transition from Quantum to Classical*. Los Alamos Science, Number 27, 2002 (текст доступен на сайте <http://quantum3000.narod.ru/>)
- [Клапдор-Клайнгротхаус, Цюбер, 2000] Клапдор-Клайнгротхаус Г. В., Цюбер К. *Астрофизика элементарных частиц*. Москва, Редакция журнала "Успехи физических наук", 2000
- [Козырев, 1991] Козырев Н.А. *Избранные труды*. Ленинград, Издательство ЛГУ, 1991.
- [Лаури, 1963] Edward S. Lowry, *The Clock Paradox*. American Journal of Physics, vol. 31, p. 59, 1963
- [Ландау и Лифшиц, 1967] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теория поля*. Москва, Наука, 1967.
- [Логунов, 1988] Логунов А.А. *Новые представления о пространстве, времени и гравитации*. Международный ежегодник "Наука и человечество", 1988.
- [Менский, 1998] Менский М.Б. *Явление декогеренции и теория непрерывных квантовых измерений*. УФН, том 168, № 9, стр. 1017, 1998
- [Менский, 2003] Менский М.Б. *Диссипация и декогеренция квантовых систем*. УФН, том 173, № 11, стр. 1999
- [Нэйв Р., 2003] Nave R, HyperPhysics, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>
- [Паули, 1947] Паули В. *Теория относительности*. Москва-Ленинград, ОГИЗ, 1947.
- [Пригожин, Стенгерс, 1994] И.Пригожин, И.Стенгерс. *Время, хаос, квант*. Москва, Прогресс, 1994.
- [Сажин, 2002] Сажин М.В. *Современная космология в популярном изложении*. Москва, Издательство "Едиториал УРСС", 2002.
- [Сажин] Сажин М.В., *Теория относительности для астрономов*. ГАИШ, Москва. Доступно по адресу <http://www.astronet.ru:8101/db/msg/1170927>
- [Толмен, 1974] Толмен Р. *Относительность, термодинамика и космология*. Москва, Наука, 1974.
- [Тэйлор и Уилер, 1971] Э. Ф. Тейлор, Дж. А. Уилер, *Физика пространства-времени*. 2-е изд., Москва, Мир, 1971
- [Уилер, Фейнман, 1945] Wheeler J.A., Feynman R.P. *Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation*, Reviews of Modern Physics, **17**, 156, (1945)
- [Уилер, Фейнман, 1949] Wheeler J.A., Feynman R.P. *Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action*, Reviews of Modern Physics, **vol. 21**, numb. 3, p. 425-433 (1949)
- [Фейнман и др., 1963] Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике*. Москва, Мир, 1978
- [Фридман, 1922] Фридман А.А. *О кривизне пространства*. В сб. "Альберт Эйнштейн и теория гравитации", Москва, Мир, 1979
- [фон Нейнман, 1932] фон Нейнман И. *Математические основы квантовой механики*. Москва, Наука, 1964.
- [Хайтун, 1996] Хайтун С.Д. *Механика и необратимость*. Москва, Янус, 1996.
- [Хокинг, 1990] Хокинг С. *Краткая история времени. От большого взрыва до черных дыр*. Москва, Мир, 1990.

-
- [Шаров, Новиков, 1989] Шаров А.С., Новиков И.Д. *Человек, открывший взрыв Вселенной. Жизнь и труд Эдвина Хаббла*. Москва, Наука, 1989.
- [Шипов, 1993] Шипов Г.И. *Теория физического вакуума*. Москва, НТ-Центр, 1993.
- [Шульман, 2003] Шульман М.Х. *Теория шаровой расширяющейся Вселенной*. Москва, Едиториал УРСС, 2003.
- [Шульман, 2004] Шульман М.Х. *Вариации на темы квантовой теории*. Москва, Едиториал УРСС, 2004.
- [Шульман, 2005] Шульман М.Х. *Логика и парадоксы времени*. Доступно по адресу http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/shulman_logika.pdf
- [Эйнштейн, 1916] Эйнштейн А. *Основы общей теории относительности*. В сб. “Альберт Эйнштейн и теория гравитации”, Москва, Мир, 1979
- [Эйнштейн, 1917] Эйнштейн А. *Вопросы космологии и общая теория относительности*. В сб. “Альберт Эйнштейн и теория гравитации”, Москва, Мир, 1979.
- [Эйнштейн, 1953] Эйнштейн А. *Сущность теории относительности*. Москва, ИЛ, 1955.
- [Ям, 2004] Ям Филлип. *Повсеместный Эйнштейн*. “В мире науки”, № 12, 2004, с.30-35