Раздел 1. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

1.1. ФИЗИКА

УДК 114 + 115 + 530.1

Л.С. Шихобалов

Памяти Николая Александровича Козырева,
увидевшего во Времени жизненное начало Вселенной

ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ СУБСТАНЦИОНАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ВРЕМЕНИ?[2]

1. Введение

Время - одно из наиболее фундаментальных понятий физики. Оно, или точнее характеризующая его переменная (обозначаемая обычно буквой t от английского time – время), входит в уравнения движения классической механики Ньютона, в уравнение Шредингера квантовой механики, в уравнения, описывающие эволюцию систем в термодинамике и статистической физике, и во многие другие уравнения практически всех разделов физики.

[2] Статья «Что может дать субстанциональная концепция времени?» написана в 1992 году и опубликована в 1996 году на английском языке: Shikhobalov L. S. What can be obtained from the substantial conception of time? // On the way to understanding the time phenomenon: the constructions of time in natural science. Part 2. The «active» properties of time according to N.A. Kozyrev / Editor A.P. Levich. – Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1996. - P. 174 – 221. - (Series on advances in mathematics for applied sciences; Vol. 39).

Вместе с тем, время все еще остается одной из величайших тайн природы. Такие принципиальные вопросы, как: «Что есть течение времени?», «Существует или нет направленность времени?» и ряд других, до сих пор не получили в физике окончательного, строго доказательного разрешения.

В современном научном мировоззрении известны две принципиально разные концепции времени - реляционная и субстанциональная [1-3]. Согласно первой в природе нет никакого времени «самого по себе», а время - это всего лишь отношение (или система отношений) между физическими событиями, или, говоря другими словами, время есть специфическое проявление свойств физических тел и происходящих с ними изменений.

Вторая концепция - субстанциональная - наоборот, предполагает, что время представляет собой самостоятельное явление природы, особого рода субстанцию, существующую наряду с пространством, веществом и физическими полями. Реляционная концепция времени обычно связывается с именами Аристотеля, Г.В. Лейбница, А. Эйнштейна. Наиболее яркими выразителями субстанциональной концепции времени являются Демокрит, И.-Ньютон, Н. А. Козырев.

Физика ныне стоит исключительно на позиции реляционной концепции времени. Это проявляется в том, что во всех физических теориях в качестве материальных объектов рассматриваются только вещество и физические поля, и ни о какой «особого рода» временно́й субстанции речи не идет. При таком подходе к описанию реальности в принципе невозможно чисто логическим путем установить, существует или нет в действительности временная субстанция, ибо нельзя доказать наличие или отсутствие того, что не определено.

Цель настоящей работы - сформулировать исходные положения физической теории, основанной на альтернативной - субстанциональной - концепции времени. К этой разработке побудили автора идеи Н.А. Козырева об активной роли времени в явлениях нашего Мира [4].

2. Некоторые сведения из линейной алгебры и специальной теории относительности

Здесь приведены сведения из линейной алгебры [5-10] и специальной теории относительности [3, 7, 9-27], которые прямо или косвенно используются в дальнейшем построении.

Все физические события, происходящие в природе, определенным образом упорядочены. Это выражается в том, что пространственное и временной местоположения событий подчиняются строго фиксированной закономерности - они образуют многообразие со вполне определенными свойствами. Его называют обычно *пространственно-временным многообразием* или просто *пространством-временем*. Для круга задач, решаемых специальной теорией относительности, оказывается возможным считать, что данное многообразие обладает геометрией пространства Минковского. Напомним соответствующее определение.

Пространством Минковского называется четырехмерное вещественное псевдоевклидово пространство сигнатуры (1, 3). (Иногда работают с сигнатурой (3, 1).) Как и всякое евклидово пространство, пространство

Минковского состоит из трех элементов: базисного множества, векторного пространства со скалярным умножением векторов, которое называется ассоциированным с пространством Минковского, и отображения, сопоставляющего каждой упорядоченной паре точек из базисного множества вектор ассоциированного пространства. С учетом такого строения пространства Минковского о нем иногда говорят как о точечно-векторном. Векторы ассоциированного пространства и точки базисного множества обычно называют векторами и точками самого пространства Минковского, а метрическую форму, определенную на прямом произведении ассоциированного пространства на себя, - метрической формой пространства Минковского.

В специальной теории относительности термином *«пространство Минковского»* принято обозначать именно многообразие, образованное пространственно-временными местоположениями физических событий, то есть пространство-время. Точки данного многообразия называются *событиями*. (Последнее название отражает то обстоятельство, что «физическое событие» понимается здесь в идеализированном смысле - как нахождение точечного объекта в данном месте пространства в данный момент времени.)

Подчеркнем, что в специальной теории относительности пространство Минковского, образованное точками-событиями, выступает как физическая реальность, а не просто как математическая абстракция. Важно также, что пространство Минковского представляет собой единое многообразие, не разделенное на время и пространство. В этом оно принципиально отличается от нашего интуитивного представления о Вселенной. То обстоятельство, что мы воспринимаем время и пространство раздельно, связано, по-видимому, со спецификой наших органов чувств (под которые мы подстраиваем и физические приборы).

Эта специфика состоит в том, что мы способны воспринимать только такие характеристики физических систем, которые отвечают не самим векторам пространства Минковского, а лишь по-отдельности их составляющим - пространственным и временным. Отметим, что для одного и того же вектора его составляющие, вычисленные в разных системах координат, могут иметь различные значения. Этим обусловлен известный в теории относительности эффект, заключающийся в том, что пространственный размер тела или промежуток времени между двумя событиями может оказаться различным при измерениях его в разных системах координат.

Метрическая форма $\boldsymbol{g}$, задающая скалярное умножение векторов пространства Минковского, представляет собой каноническую вещественнозначную невырожденную симметричную билинейную форму сигнатуры (1, 3). Операция скалярного умножения обозначается точкой между сомножителями:

$$\boldsymbol{g}\,(\vec{\boldsymbol{x}},\vec{\boldsymbol{y}}) = \vec{\boldsymbol{x}} \cdot \vec{\boldsymbol{y}}, \qquad \textbf{(2.1)}$$

где $\vec{\boldsymbol{x}}$, $\vec{\boldsymbol{y}}$ - произвольные векторы пространства Минковского.

Известно, что любая билинейная форма **T** на конечномерном векторном пространстве **X** может рассматриваться как двухвалентный аффинный тензор над **X**, причем, если на **X** задано скалярное умножение векторов, то для установления соответствия между формой и тензором может быть использован закон: $\mathbf{T}(\vec{x}, \vec{y}) = \vec{x} \cdot \mathbf{T} \cdot \vec{y}$, здесь в левой части равенства **T** - форма, в правой части **T** - тензор; $\vec{x}, \vec{y} \in \mathbf{X}$. Точно так же всякий линейным оператор **P**, определенный в **X**, может трактоваться как двухвалентный аффинный тензор над **X**, при этом соответствие между оператором и тензором может быть выражено законом: $\mathbf{P}(\vec{x}) = \mathbf{P} \cdot \vec{x}$, где слева **P** - оператор, справа **P** - тензор; $\vec{x} \in \mathbf{X}$.

Выписанные законы устанавливают взаимно однозначные линейные отображения множества всех двухвалентных аффинных тензоров над **X** на множество всех билинейных форм на **X** (в первом случае) и на множество всех линейных операторов в **X** (во втором случае), причем, что важно, эти отображения определяются только внутренними свойствами связываемых ими множеств.

Иначе говоря, выписанные законы устанавливают *канонические изоморфизмы* между множествами. Наличие канонического изоморфизма, как известно, позволяет отождествить связываемые им элементы множеств. Поэтому мы и обозначили соответственные элементы множеств одним и тем же символом. Разумеется, канонические изоморфизмы между указанными множествами могут быть установлены также с помощью иных законов, например, таких: $\mathbf{T}(\vec{x}, \vec{y}) = \vec{y} \cdot \mathbf{T} \cdot \vec{x}$, $\mathbf{P}(\vec{x}) = \vec{x} \cdot \mathbf{P}$ или $\mathbf{T}(\vec{x}, \vec{y}) = -\vec{x} \cdot \mathbf{T} \cdot \vec{y}$, $\mathbf{P}(\vec{x}) = 2\mathbf{P} \cdot \vec{x}$ (заметим, что в общем случае $\vec{x} \cdot \mathbf{T} \cdot \vec{y} \neq \vec{y} \cdot \mathbf{T} \cdot \vec{x}$, $\mathbf{P} \cdot \vec{x} \neq \vec{x} \cdot \mathbf{P}$). В дальнейшем используются законы, выписанные ранее.

Метрическая форма $\boldsymbol{g}$, согласно сказанному, есть одновременно двухвалентный аффинный тензор, в связи с чем ее называют также *метрическим* или *фундаментальным тензором* пространства Минковского. На основании выписанного выше закона соответствия между формой и тензором следует, что метрическая форма $\boldsymbol{g}$ удовлетворяет при всех $\vec{x}, \vec{y}$ зависимости

$$\vec{x} \cdot \vec{y} = \vec{x} \cdot \boldsymbol{g} \cdot \vec{y}, \tag{2.2}$$

где учтено обозначение (2.1). Используя эту зависимость и свойства формы $\boldsymbol{g}$, можно доказать, что в качестве тензора форма $\boldsymbol{g}$ удовлетворяет для любых вектора $\vec{x}$ и тензора **T** соотношениям

$$\boldsymbol{g} \cdot \vec{x} = \vec{x} \cdot \boldsymbol{g} = \vec{x}; \quad \boldsymbol{g} \cdot \mathbf{T} = \mathbf{T} \cdot \boldsymbol{g} = \mathbf{T}. \tag{2.3}$$

Отсюда и из сказанного ранее о связи тензоров и операторов вытекает, что форма представляет собой также тождественный (единичный) линейный оператор, поэтому ее обозначают еще символом **I**: $\boldsymbol{g} = \mathbf{I}$.

В пространстве Минковского в соответствии со свойствами его метрической формы $\boldsymbol{g}$ скалярный квадрат $\vec{x} \cdot \vec{x}$ вектора $\vec{x}$ может быть положительным, отрицательным или нулевым. В первом случае вектор $\vec{x}$ называется *времениподобным*, во втором – *пространственноподобным*. А ненулевой вектор $\vec{x}$, имеющий нулевой скалярный квадрат, называется *изотропным*. Пусть $\vec{x}_0, \vec{x}_1, \vec{x}_2, \vec{x}_3$ – любые четыре вектора пространства Минковского, имеющие ненулевые скалярные квадраты и попарно ортогональные между собой (последнее условие означает, что $\vec{x}_i \cdot \vec{x}_j = 0$ при $i \neq j$; $i, j = 0, 1, 2, 3$). Из того обстоятельства, что метрическая форма $\boldsymbol{g}$ имеет сигнатуру (1, 3), на основании *закона инерции* вытекает, что среди указанных четырех векторов обязательно имеются ровно один времениподобный вектор и ровно три пространственноподобных вектора. Обычно времениподобный вектор обозначается индексом 0, а пространственноподобные векторы – индексами от 1 до 3. При такой нумерации указанных векторов $\vec{x}_0 \cdot \vec{x}_0 > 0$; $\vec{x}_i \cdot \vec{x}_i < 0_i$, i= 1, 2, 3.

Если **A** и **B** – две точки пространства Минковского и $\vec{\mathbf{R}}_A$, $\vec{\mathbf{R}}_B$ – их радиусы-векторы, то скалярный квадрат вектора $\overrightarrow{\mathbf{AB}} = \vec{\mathbf{R}}_B - \vec{\mathbf{R}}_A$ называется *квадратом интервала* $\mathbf{1}^2$ между этими точками:

$$\mathbf{1}^2 = \overrightarrow{\mathbf{AB}} \cdot \overrightarrow{\mathbf{AB}} = (\vec{\mathbf{R}}_B - \vec{\mathbf{R}}_A) \cdot (\vec{\mathbf{R}}_B - \vec{\mathbf{R}}_A). \qquad \mathbf{(2.4)}$$

Иногда вводят представление о длине (модуле) вектора, определяя ее как число

$$|\,\vec{x}\,| = \sqrt{\vec{\boldsymbol{x}} \cdot \vec{\boldsymbol{x}}}\,, \qquad \mathbf{(2.5)}$$

где берется неотрицательное значение радикала при $\vec{x} \cdot \vec{x} \geq \mathbf{0}$ или значение его со знаком плюс при мнимой единице в случае $\vec{x} \cdot \vec{x}$ [**0.**

Длина времениподобного вектора положительная, пространственноподобного – чисто мнимая, изотропного – нулевая. Вектор, длина которого равна единице (мнимой единице), называется *единичным* (соответственно *мнимоединичным*). Отметим, что понятие длины вектора вводится исключительно по традиции, берущей начало в привычном способе изложения евклидовой геометрии. Понятие длины вектора не является внутренне присущим теории пространства Минковского, потому что в векторном пространстве не используется операция извлечения корня. Более того, это понятие даже вносит в теорию противоречие, так как пространство Минковского вещественное и в нем не могут фигурировать мнимые величины. Длина вектора всегда может быть исключена из рассмотрения путем замены ее вещественнозначным скалярным квадратом вектора.

Вследствие билинейности метрической формы $\boldsymbol{g}$, для любых вектора $\vec{x}$ и вещественного числа k выполняется равенство $(k\vec{x}) \cdot (k\vec{x}) = k^2\ \vec{x} \cdot \vec{x}$. Отсюда вытекает, что для каждого $\vec{x}$ знаки скалярных квадратов векторов k $\vec{x}$ одинаковы при всех $k \neq 0$, поэтому в пространстве Минковского все ненулевые векторы, принадлежащие одной прямой, относятся к одному типу – времениподобных, пространственно подобных или изотропных векторов. Учитывая это, аналогичные названия дают и прямым; в частности, прямую, содержащую изотропный вектор, называют *изотропной.* Такие же названия дают линиям, все касательные векторы к которым относятся к одному типу.

Совокупность всех изотропных прямых, проходящих через некоторую точку **O**, называется *изотропным* или *световым (гипер) конусом* с вершиной в точке **O** (рис. 1); он описывается уравнением

$$\overrightarrow{\mathbf{OA}} \cdot \overrightarrow{\mathbf{OA}} = (\vec{\mathbf{R}}_A - \vec{\mathbf{R}}_O) \cdot (\vec{\mathbf{R}}_A - \vec{\mathbf{R}}_O) = 0, \qquad \mathbf{(2.6)}$$

где **A** – произвольная точка светового конуса; $\vec{\mathbf{R}}_A$, $\vec{\mathbf{R}}_O$ – радиусы-векторы точек **A** и **O**.

Из выражений (2.4) и (2.6) следует, что квадрат интервала между любой точкой светового конуса и его вершиной равен нулю.

Каждый световой конус разбивает пространство Минковского на три подмножества: сам конус, являющийся трехмерной гиперповерхностью, внутренность конуса и его внешнюю область. Максимальная размерность евклидова подпространства, проходящего через вершину светового конуса и всеми остальными точками лежащего во внутренности конуса, равна единице. Максимальная размерность евклидова подпространства, проходящего через вершину конуса и в остальном лежащего во внешней области конуса, равна трем.

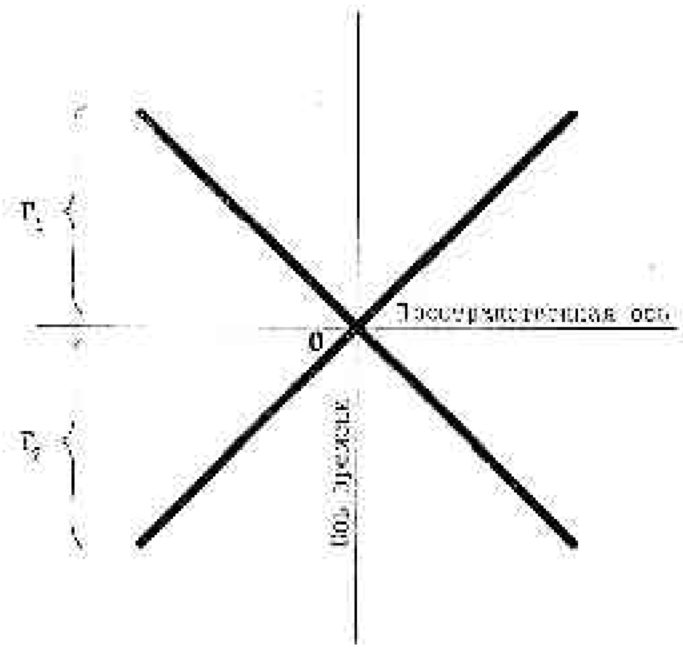


Рис. 1. Сечение светового конуса двухмерной плоскостью, проходящей через вершину конуса. Одна из половин светового конуса, $Г_1$ или $Г_2$, – конус прошлого, другая половина – конус будущего; О – вершина конуса

Каждому точечному материальному объекту отвечает в пространстве Минковского определенная линия, описывающая временную эволюцию объекта. Эта линия называется *мировой линией* данного объекта. Все мировые линии объектов ненулевой массы времениподобные, а объектов нулевой массы (фотонов и др.) изотропные.

Принципиально важным опытным фактом является объективная выделенность для каждой мировой линии ориентации, указывающей направление временной эволюции объекта. Важно также, что ориентации всех мировых линий согласованы. Последнее позволяет говорить об общем для всех объектов направлении течения времени и ввести понятия прошлого и будущего, как объективных характеристик природы, не зависящих от выбора нами направления возрастания временной координаты.

Примером физического проявления согласованности ориентаций мировых линий может служить поведение фотонов, испущенных из одной пространственно-временной точки: мировые лучи всех таких фотонов располагаются только на одной половине светового конуса, имеющего вершиной данную точку, хотя другая его половина геометрически в точности идентична первой (см. рис. 1). Первую из этих половин светового конуса называют *световым конусом будущего*, вторую – *световым конусом прошлого.*

Указанный факт объективной выделенности и согласованности ориентаций мировых линий может быть интерпретирован как нереализуемость в природе любых решений динамических уравнений, которые отвечают движению объектов из будущего в прошлое. Запрет на реализацию таких решений называют иногда *принципом космологической цензуры*. Физический механизм, лежащий в основе данного факта, пока что не выяснен.

Тождественным преобразованием пространства Минковского называется такое отображение его на себя, которое оставляет неизменными все его точки и векторы.

Инверсией пространства Минковского относительно точки **C** назовем преобразование этого пространства, которое обращает знаки всех векторов и переводит каждую точку в точку, симметричную ей относительно **C**; последнее означает, что произвольная точка **A** пространства Минковского переводится в точку **B** такую, что $\overrightarrow{\mathbf{CB}} = -\overrightarrow{\mathbf{CA}}$ (данное равенство эквивалентно равенству $\vec{\mathbf{R}}_B - \vec{\mathbf{R}}_C = -(\vec{\mathbf{R}}_A - \vec{\mathbf{R}}_C)$ или $\vec{\mathbf{R}}_B = 2\vec{\mathbf{R}}_C - \vec{\mathbf{R}}_A$, где $\vec{\mathbf{R}}_A$, $\vec{\mathbf{R}}_B$, $\vec{\mathbf{R}}_C$ – радиусы-векторы соответственно точек **A, B, C**). Точка **C** называется *центром инверсии.*

Тождественное преобразование и инверсия пространства Минковского представляют собой взаимно однозначные аффинные отображения пространства Минковского на себя. Отметим, что их составными частями являются линейные преобразования векторного пространства, ассоциированного с пространством Минковского, которые естественно именовать тождественным преобразованием и инверсией ассоциированного пространства. Эти преобразования могут быть выражены с помощью метрического тензора $\boldsymbol{g}$, рассматриваемого как линейный оператор. А именно, *тождественное преобразование* векторного пространства, ассоциированного с пространством Минковского, осуществляется оператором $\boldsymbol{g}$, действующим по правилу

$$\boldsymbol{g}(\vec{x}) = \boldsymbol{g} \cdot \vec{x} = \vec{x}, \qquad \mathbf{(2.7)}$$

инверсия – оператором $-\boldsymbol{g} = (-1)\,\boldsymbol{g}$:

$$-\boldsymbol{g}(\vec{x}) = -\boldsymbol{g} \cdot \vec{x} = -\vec{x}, \qquad \mathbf{(2.8)}$$

где $\vec{x}$ – произвольный вектор ассоциированного пространства и использовано первое из соотношений (2.3).

На основании выражений (2.7), (2.8) можем записать,

$$(\boldsymbol{g} \cdot \vec{x}) \cdot (\boldsymbol{g} \cdot \vec{y}) = (-\boldsymbol{g} \cdot \vec{x}) \cdot (-\boldsymbol{g} \cdot \vec{y}) = \vec{x} \cdot \vec{y},$$

где $\vec{x}$, $\vec{y}$ – произвольные векторы ассоциированного пространства. Отсюда вытекает, что тождественное преобразование и инверсия ассоциированного пространства сохраняют скалярные произведения векторов, то есть они являются изометрическими преобразованиями этого пространства. Это означает, что операторы $\boldsymbol{g}$ и $-\boldsymbol{g}$ принадлежат к группе ортогональных преобразований векторного пространства, ассоциированного с пространством Минковского.

Сдвигом или *трансляцией* пространства Минковского на вектор $\vec{x}$ называется такое преобразование этого пространства, при котором все его векторы остаются неизменными, а каждая точка **A** переходит в точку **B**, удовлетворяющую условию $\overrightarrow{\mathbf{AB}} = \vec{x}$ (или, что то же самое, $\vec{\mathbf{R}}_B = \vec{\mathbf{R}}_A + \vec{x}$). Сдвиг можно наглядно представить как параллельный перенос всего пространства Минковского на вектор $\vec{x}$. Отметим, что по отношению к векторному пространству, ассоциированному с пространством Минковского, сдвиг ведет себя как тождественное преобразование. Подобно определенным выше преобразованиям, сдвиг является взаимно однозначным аффинным отображением пространства Минковского на себя.

Движения материальных тел всегда определяются по отношению к другим телам. Поэтому в физике важную роль играют *системы отсчета.* Они представляют собой совокупность часов и (трехмерной) системы пространственных координат, связанных с телом, и по отношению к которому изучается движение других тел и которое называется *телом отсчета.*

В специальной теории относительности инерциальным системам отсчета, то есть системам, в которых выполняется первый закон Ньютона, принято ставить в соответствие (четырехмерные) ортогональные декартовы системы координат пространства Минковского.

Пусть $\{ \mathbf{x}^0, \mathbf{x}^1, \mathbf{x}^2, \mathbf{x}^3 \}$ – такая система координат с началом в точке **0**, $\{ \vec{\mathbf{e}}_0, \vec{\mathbf{e}}_1, \vec{\mathbf{e}}_2, \vec{\mathbf{e}}_3\}$ – ортонормированный базис этой системы координат (здесь $\mathbf{x}^0$, $\vec{\mathbf{e}}_0$ – временная координата и направляющий орт оси времени; остальные координаты и векторы – пространственные). В соответствии со свойствами метрической формы ***g*** и определением ортонормированного базиса

$$\vec{e}_0 \cdot \vec{e}_0 = +1; \quad \vec{e}_1 \cdot \vec{e}_1 = \vec{e}_2 \cdot \vec{e}_2 = \vec{e}_3 \cdot \vec{e}_3 = -1;$$

$$\vec{e}_i \cdot \vec{e}_j = 0 \quad (i \neq j; \quad i, j = 0, 1, 2, 3), \tag{2.9}$$

то есть $\vec{\mathbf{e}}_0$ – единичный и $\vec{\mathbf{e}}_1, \vec{\mathbf{e}}_2, \vec{\mathbf{e}}_3$ – мнимоединичные векторы (при использовании метрической формы сигнатуры (3, 1) будет $\vec{\mathbf{e}}_0 \cdot \vec{\mathbf{e}}_0 = \mathbf{-1};$ $\vec{\mathbf{e}}_1 \cdot \vec{\mathbf{e}}_1 = \ldots\mathbf{+1}$). Заметим, что каждый из ортов $\vec{\mathbf{e}}_i$ может быть направлен в любую из двух возможных сторон вдоль своей координатной оси; в частности, орт $\vec{\mathbf{e}}_0$, указывающий направление возрастания временной координаты $\mathbf{x}^0$, может быть направлен вдоль оси времени как из прошлого в будущее, так и из будущего в прошлое.

Обозначим через $\{\vec{\mathbf{e}}^0, \vec{\mathbf{e}}^1, \vec{\mathbf{e}}^2, \vec{\mathbf{e}}^3\}$ базис, являющийся *взаимным (дуальным)* к базису $\{\vec{\mathbf{e}}_0, \vec{\mathbf{e}}_1, \vec{\mathbf{e}}_2, \vec{\mathbf{e}}_3\}$.

Он определяется условиями

$$\vec{e}^0 \cdot \vec{e}_0 = \vec{e}^1 \cdot \vec{e}_1 = \vec{e}^2 \cdot \vec{e}_2 = \vec{e}^3 \cdot \vec{e}_3 = 1; \quad \vec{e}^i \cdot \vec{e}_j = 0 \quad (i \neq j). \tag{2.10}$$

Из выражений (2.9) и (2.10) следует, что орты взаимного базиса выражаются через орты исходного базиса следующим образом:

$$\vec{e}^0 = \vec{e}_0; \quad \vec{e}^1 = -\vec{e}_1; \quad \vec{e}^2 = -\vec{e}_2; \quad \vec{e}^3 = -\vec{e}_3. \qquad (2.11)$$

Пусть $\{\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3\}$ – система координат с началом в точке 0, связанная с взаимным базисом. При совместном рассмотрении координат $\{\mathbf{x}^i\}$ и $\{\mathbf{x}_j\}$ принято называть первые *контравариантными*, а вторые *ковариантными* координатами. Из выражений (2.11) сразу следует, что в данном случае координатные линии контра- и ковариантных систем координат совпадают, а сами координаты связаны соотношениями

Произвольный вектор **x** пространства Минковского записывается в

$$x_0 = x^0; \quad x_1 = -x^1; \quad x_2 = -x^2; \quad x_3 = -x^3. \qquad (2.12)$$

рассматриваемых базисах в виде

где орты $\vec{\mathbf{e}}_i$ **и** $\vec{\mathbf{e}}^j$ связаны зависимостями (2.11), а компоненты (координаты)

$$\vec{x} = x^i \vec{e}_i = x_j \vec{e}^j, \qquad (2.13)$$

$\mathbf{x}^i$ и $\mathbf{x}_j$ вектора $\vec{x}$ удовлетворяют зависимостям (2.12); кроме того, здесь применено обычное правило: по повторяющимся верхнему и нижнему индексам подразумевается суммирование от 0 до 3.

Любой двухвалентный аффинный тензор над пространством, ассоциированным с пространством Минковского, может быть представлен в следующих формах в четырех тензорных базисах, составленных из попарных тензорных произведений ортов введенных выше базисов:

$$T = T^{ij}\vec{e}_i\vec{e}_j = T_{ij}\vec{e}^i\vec{e}^j = T^i_{\cdot j}\vec{e}_i\vec{e}^j = T_i^{\cdot j}\vec{e}^i\vec{e}_j, \qquad (2.14)$$

где тензорное произведение векторов обозначено без знака умножения между ними.

Метрическая форма (метрический тензор) $\boldsymbol{g}$ в этих четырех тензорных базисах имеет вид

$$\begin{aligned} g &= g^{ij}\vec{e}_i\vec{e}_j = (\vec{e}^i\cdot\vec{e}^j)\vec{e}_i\vec{e}_j = \vec{e}_0\vec{e}_0 - \vec{e}_1\vec{e}_1 - \vec{e}_2\vec{e}_2 - \vec{e}_3\vec{e}_3 = \\ &= g_{ij}\vec{e}^i\vec{e}^j = (\vec{e}_i\cdot\vec{e}_j)\vec{e}^i\vec{e}^j = \vec{e}^0\vec{e}^0 - \vec{e}^1\vec{e}^1 - \vec{e}^2\vec{e}^2 - \vec{e}^3\vec{e}^3 = \\ &= g^i_{\cdot j}\vec{e}_i\vec{e}^j = (\vec{e}^i\cdot\vec{e}_j)\vec{e}_i\vec{e}^j = \vec{e}_0\vec{e}^0 + \vec{e}_1\vec{e}^1 + \vec{e}_2\vec{e}^2 + \vec{e}_3\vec{e}^3 = \\ &= g_i^{\cdot j}\vec{e}^i\vec{e}_j = (\vec{e}_i\cdot\vec{e}^j)\vec{e}^i\vec{e}_j = \vec{e}^0\vec{e}_0 + \vec{e}^1\vec{e}_1 + \vec{e}^2\vec{e}_2 + \vec{e}^3\vec{e}_3, \end{aligned} \qquad (2.15)$$

где компоненты тензора $\boldsymbol{g}$ в рассматриваемых базисах равны

$$g^{ij} = \vec{e}^{\,i}\cdot\vec{e}^{\,j}; \quad g_{ij} = \vec{e}_i\cdot\vec{e}_j; \quad g^{i}_{\cdot j} = \vec{e}^{\,i}\cdot\vec{e}_j; \quad g_i^{\cdot j} = \vec{e}_i\cdot\vec{e}^{\,j}. \qquad (2.16)$$

Из выражений (2.15), (2.16) видно, что матрицы компонент тензора $\boldsymbol{g}$ во всех использованных базисах являются диагональными;

$$\left(g^{ij}\right) = \left(g_{ij}\right) = diag(1,\ -1,\ -1,\ -1);$$
$$\left(g^{i}_{\cdot j}\right) = \left(g_i^{\cdot j}\right) = diag(1,\ 1,\ 1,\ 1). \qquad (2.17)$$

Докажем выражения (2.15) и (2.16). Подставим в равенство (2.2) величины $\vec{x} = \vec{e}^{\,i}$, $\vec{y} = \vec{e}^{\,j}$, $\boldsymbol{g} = g^{kl}\,\vec{e}_k\,\vec{e}_l$. Используя зависимости (2.10), находим:

$$\vec{e}^{\,i}\cdot\vec{e}^{\,j} = \vec{e}^{\,i}\cdot(g^{kl}\vec{e}_k\vec{e}_l)\cdot\vec{e}^{\,j} = g^{kl}(\vec{e}^{\,i}\cdot\vec{e}_k)(\vec{e}_l\cdot\vec{e}^{\,j}) = g^{ij},$$

откуда вытекает первое из равенств (2.16). Остальные равенства в (2.16) выводятся аналогичным способом. На основании этих равенств и выражений (2.9)-(2.11) сразу же получаем зависимости (2.15), чем и завершается доказательство.

С помощью компонент метрического тензора $\boldsymbol{g}$ можно производить так называемое «жонглирование индексами», то есть взаимный перевод ортов исходного и взаимного реперов, а также компонент векторов и тензоров, относящихся к разным базисам:

$$\vec{e}_i = g_{ij}\vec{e}^{\,j}; \quad \vec{e}^{\,i} = g^{ij}\vec{e}_j;$$
$$x^i = g^{ij}x_j; \quad x_i = g_{ij}x^j;$$
$$T^{ij} = T_{kl}\,g^{ik}g^{jl} = T^{i}_{\cdot k}\,g^{jk} = T_k^{\cdot j}\,g^{ki}. \qquad (2.18)$$

Доказательство. Разложим вектор $\vec{e}_i$ по ортам взаимного репера: $\vec{e}_i = e_{ik}\,\vec{e}^{\,k}$. Умножая скалярно обе части этого равенства на орт $\vec{e}_j$ – и учитывая зависимости (2.10) и (2.16), находим: $e_{ij} = g_{ij}$. Подстановка данного значения e_{ij} приводит к первому из равенств (2.18). Второе равенство доказывается аналогично. Остальные равенства легко выводятся из первых двух равенств и выражений (2.13), (2.14). Например, на основании (2.14) и второго из равенств (2.18) имеем: $T^{ij}\,\vec{e}_i\,\vec{e}_j = T_k^{\ j}\,\vec{e}^{\,k}\,\vec{e}_j = T_k^{\ j}g^{ki}\,\vec{e}_i\,\vec{e}_j$, откуда следует $T^{ij} = T_k^{\ j}g^{ki}$.

Всякий двухвалентный аффинный тензор **T** может быть представлен как линейный оператор, действующий на векторы либо слева: $\mathbf{T}(\vec{x}) = \mathbf{T}\cdot\vec{x}$, либо справа: $\mathbf{T}(\vec{x}) = \vec{x}\cdot\mathbf{T}$ (в общем случае $\mathbf{T}\cdot\vec{x} \neq \vec{x}\cdot\mathbf{T}$). При матричном представлении векторов и линейных операторов вектору $\vec{x}$ сопоставляется матрица-столбец или матрица-строка (x_1), а тензору **T** сопоставляется квадратная матрица его компонент: либо (T^i_j) в случае действия на $\vec{x}$ слева, $((\mathbf{T}\cdot\vec{x})^i) = (T^i_j)\bullet(x^j)$; либо (T_i^j) в случае действия на $\vec{x}$ справа, $((\vec{x}\cdot\mathbf{T})^j) = (\vec{x}^{\,i})\bullet(T_i^j)$ (здесь • – операция умножения матриц). *Следом* и *определителем* тензора **T** называются соответственно след и определитель указанных матриц:

$$spT = sp\left(T^{i}_{\cdot j}\right) = T^{i}_{\cdot i} = sp\left(T_{i}^{\cdot j}\right) = T_{i}^{\cdot i};$$

$$\det T = \det\left(T^{i}_{\cdot j}\right) = \det\left(T_{i}^{\cdot j}\right). \qquad (2.19)$$

След и определитель тензора могут быть определены также иным способом, который не опирается на координатное представление тензора и при котором зависимости (2.19) выводятся в качестве следствий. Так, след ***sp*T** двухвалентного тензора **T** может быть определен как число, получающееся в результате свертывания тензора (по единственной паре индексов). При таком определении на основании выражений (2.14), (2.16), (2.17) имеем:

$$\begin{aligned} spT &= T^{ij}\vec{e}_i\cdot\vec{e}_j = T^{ij}g_{ij} = T^{00} - T^{11} - T^{22} - T^{33} = \\ &= T_{ij}\vec{e}^{\,i}\cdot\vec{e}^{\,j} = T_{ij}g^{ij} = T_{00} - T_{11} - T_{22} - T_{33} = \\ &= T^{i}_{\cdot j}\vec{e}_i\cdot\vec{e}^{\,j} = T^{i}_{\cdot j}g_{i}^{\cdot j} = T^{0}_{\cdot 0} + T^{1}_{\cdot 1} + T^{2}_{\cdot 2} + T^{3}_{\cdot 3} = T^{i}_{\cdot i} = \\ &= T_{i}^{\cdot j}\vec{e}^{\,i}\cdot\vec{e}_j = T_{i}^{\cdot j}g^{i}_{\cdot j} = T_{0}^{\cdot 0} + T_{1}^{\cdot 1} + T_{2}^{\cdot 2} + T_{3}^{\cdot 3} = T_{i}^{\cdot i}. \end{aligned}$$

Отсюда вытекает, как следствие, первая из зависимостей (2.19). Заметим, что ***sp*T** $\neq$ ***sp*** **(T$_{ij}$)** (равенство ***sp*** **(T^{ij})** = ***sp*** **(T$_{ij}$)** проверяется с помощью (2.17), (2.18)). Аналогичным образом, хотя и более громоздко, можно определить независимо от выбора системы координат определитель **det T** тензора **T** и затем вывести вторую из зависимостей (2.19).

Согласно выражениям (2.17), (2.19) следы и определители метрического тензора ***g*** и тензора ***-g***, задающих соответственно тождественное преобразование (2.7) и инверсию (2.8), имеют вид

$$sp\,g = -sp(-g) = 4; \quad \det g = \det(-g) = 1. \qquad (2.20)$$

В специальной теории относительности принято измерять координаты в пространстве Минковского в единицах длины. Вместе с тем, при измерениях времени используют традиционные единицы – секунду, минуту, час и т. д. Поэтому временную координату $\mathbf{x}^0$ выражают через время **t** с помощью постоянного положительного переводного коэффициента **c** размерности скорости:

$$\mathbf{x^0 = ct}. \qquad \mathbf{(2.21)}$$

Укажем физический смысл коэффициента **c**. Для этого рассмотрим объект, у которого мировая линия – изотропная прямая. Пусть $\vec{\mathbf{R}}$ – его радиус-вектор. Будем представлять $\vec{\mathbf{R}}$ в виде

$$\vec{\mathbf{R}} = \mathbf{ct}\vec{\mathbf{e}}_0 + \vec{\mathbf{r}}, \qquad \mathbf{(2.22)}$$

где $\mathbf{ct}\vec{\mathbf{e}}_0 = \mathbf{x}^0\vec{\mathbf{e}}_0$ – временна́я и $\vec{\mathbf{r}} = \mathbf{x}^1\vec{\mathbf{e}}_1 + \mathbf{x}^2\vec{\mathbf{e}}_2 + \mathbf{x}^3\vec{\mathbf{e}}_3$ – пространственная составляющие радиуса-вектора $\vec{\mathbf{R}}$. Возьмем какие-либо две близкие точки мировой линии рассматриваемого объекта с радиусами-векторами

$$\vec{R} = ct\vec{e}_0 + \vec{r} \quad \text{и} \quad \vec{R} + d\vec{R} = c(t + dt)\vec{e}_0 + (\vec{r} + d\vec{r})$$

$$(\text{где } d\vec{r} = dx^1\vec{e}_1 + dx^2\vec{e}_2 + dx^3\vec{e}_3).$$

В соответствии со свойствами изотропной прямой скалярный квадрат соединяющего эти точки вектора

$$(\vec{R} + d\vec{R}) - \vec{R} = d\vec{R}\ (= c\,dt\,\vec{e}_0 + d\vec{r})$$

принимает нулевое значение:

$$0 = d\vec{R}\cdot d\vec{R} = c^2(dt)^2 + d\vec{r}\cdot d\vec{r}, \qquad (2.23)$$

здесь учтены выражения (2.9). На основании (2.9) имеем также:

$$d\vec{r}\cdot d\vec{r} = -(dx^1)^2 - (dx^2)^2 - (dx^3)^2 = -(dr)^2 \leq 0, \qquad (2.24)$$

где обозначено **dr** = $\sqrt{(dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2}\ ;\ dr \geq 0.$

Величина **dr**, очевидно, представляет собой расстояние между теми точками нашего трехмерного физического пространства, в которых рассматриваемый объект находится в моменты времени **t** и **t+dt.** Подставляя значение $\mathbf{d\vec{r}} \cdot \mathbf{d\vec{r}}$ из (2.24) в (2.23), получаем

$$0 = c^2(dt)^2 - (dr)^2 = (dt)^2(c^2 - v^2), \qquad (2.25)$$

где введено обозначение **v = |dr/dt|** и считается, что $\mathbf{dt \neq 0}$. Величина **v,** как легко убедиться, есть модуль скорости рассматриваемого объекта. Из выражения (2.25) вытекает, что **c = v.** Следовательно, переводной коэффициент **c** в формуле (2.21) равен модулю скорости объекта, у которого мировая линия является изотропной прямой. К таким объектам относятся, как известно, фотоны и другие частицы нулевой массы (при движении их в пустоте). Таким образом, физический смысл величины **c** состоит в том, что она описывает скорость фотонов и других безмассовых частиц, в связи, с чем ее называют обычно *скоростью света в вакууме.*

3. Субстанциональная модель пространства-времени

Субстанциональная концепция времени, на которую опирается последующее построение, имеет долгую историю. Как и субстанциональная концепция пространства, она восходит к идеям Демокрита, приписывавшего пустоте особый род бытия. Наиболее стройное воплощение эта концепция получила в ньютоновом понятии абсолютного времени.

Согласно И. Ньютону абсолютные время и пространство представляют собой самостоятельные сущности, которые не зависят ни друг от друга, ни от находящихся в них материальных объектов и протекающих в них процессов. Можно сказать, что ньютоново представление о времени завершило этап становления субстанциональной концепции времени.

Дальнейший существенный шаг в развитии субстанциональной концепции времени сделал Н.А. Козырев [4]. В книге «Причинная или несимметричная механика в линейном приближении», изданной в 1958 г., ученый сформулировал ряд аксиом, наделяющих время в дополнение к обычному свойству длительности также другими свойствами, благодаря которым время взаимодействует с различными физическими объектами и процессами. Эти свойства времени он назвал *физическими* или *активными*.

Для того чтобы пояснить различие между временем Ньютона – абсолютным и ни от чего не зависящим, и временем Козырева – изменчивым и взаимодействующим с объектами природы, приведем следующий пример. В механике при описании твердых тел используются, в частности, понятия абсолютно жесткого тела и деформируемого твердого тела. Постулируя, что твердое тело является абсолютно жестким, мы ограничиваем весь круг его кинематических свойств лишь способностью к движению как целое.

Отказываясь же от идеи абсолютной жесткости и принимая, что тело может деформироваться, мы получаем объект с гораздо более разнообразным набором кинематических свойств: такое тело способно не только двигаться как целое, но также обратимо или необратимо деформироваться, оно может содержать неподвижные или движущиеся внутренние источники напряжений, в нем могут распространяться различного вида волны и т. д. Аналогичным образом и осуществленный Н. А. Козыревым отказ от представления об абсолютности времени и наделение времени наряду с длительностью иными свойствами может значительно обогатить это одно из самых фундаментальных понятий физики.

К сожалению, Н.А. Козырев в своих работах не дал строгой математической формализации понятию временной субстанции. Следует отметить, что ученый вообще не употреблял по отношению к времени термин «субстанция», а высказывался о времени в менее определенном смысле, как о «явлении природы», которое посредством своих «активных свойств» может воздействовать на ход событий. Отсутствие четкого определения временной субстанции присуще также другим публикациям, посвященным субстанциональной концепции времени.

В этих публикациях, кроме того, не учитывается принципиальное отличие временной субстанции от любых физических полей и вещества, которое заключается в том, что временная субстанция, если она существует, обязательно является объектом четвертого измерения, ортогонального объемлющему вещество и поля трехмерному физическому пространству. Именно такой вывод о свойствах временной субстанции с несомненностью вытекает из результатов теории относительности.

Учитывая сказанное, будем строить теорию, базируясь на следующем подходе. Объединим субстанциональную концепцию времени и фундаментальное положение современной физики о том, что время и пространство образуют единое многообразие . Для простоты ограничимся рассмотрением случая, изучаемого специальной теорией относительности, когда это многообразие представляет собой четырехмерное вещественное псевдоевклидово пространство сигнатуры (1, 3) – пространство Минковского (см. разд.2). Итак, примем следующий постулат.

Постулат I. *Время и пространство есть единая четырехмерная субстанция; она наделена геометрией пространства Минковского и обладает определенными физическими свойствами, благодаря которым взаимодействует с веществом, физическими полями и протекающими процессами.*

Назовем постулированный объект *пространственно-временной субстанцией* и обозначим через S.

В настоящей работе мы не будем конкретизировать физические свойства субстанции **S**, а обсудим следствия, которые вытекают из данного постулата и нескольких постулатов, формулируемых далее.

В связи с тем, что физика является наукой о трехмерных телах, целесообразно ввести понятие, объединяющее все изучаемые физикой трехмерные материальные объекты – всё вещество и физические поля. Обычно это объединение называют физическим пространством. Мы, для краткости, будем называть его нашим Миром. Уточним данное понятие.

Зафиксируем в пространственно-временной субстанции **S** какую-либо ортогональную декартову систему координат. Наш *Мир* **M** в момент времени **t** определим (в согласии с представлениями специальной теории относительности) как трехмерную гиперплоскость одномоментных событий, ортогональную оси времени **τ** и пересекающую ее в точке с координатой **ct**, где **c** – скорость света в вакууме (рис. 2).

Мир **M** состоит из вещества и физических полей в состояниях, отвечающих данному моменту времени **t.** Отметим, что в силу специфики псевдоевклидовой геометрии гиперплоскость **M**, ось времени **τ** и момент **t**, вообще говоря, различны в разных системах координат. Назовем совокупность Мира **M** и пространственно-временной субстанции **S** *физическим пространством-временем.* Это понятие включает в себя все рассматриваемые предлагаемой моделью материальные объекты – вещество, поля и пространственно-временную субстанцию.

Гиперплоскость нашего Мира **M** занимает в пространственно-временной субстанции **S** в разные моменты времени различные положения, смещенные относительно друг друга по оси времени.

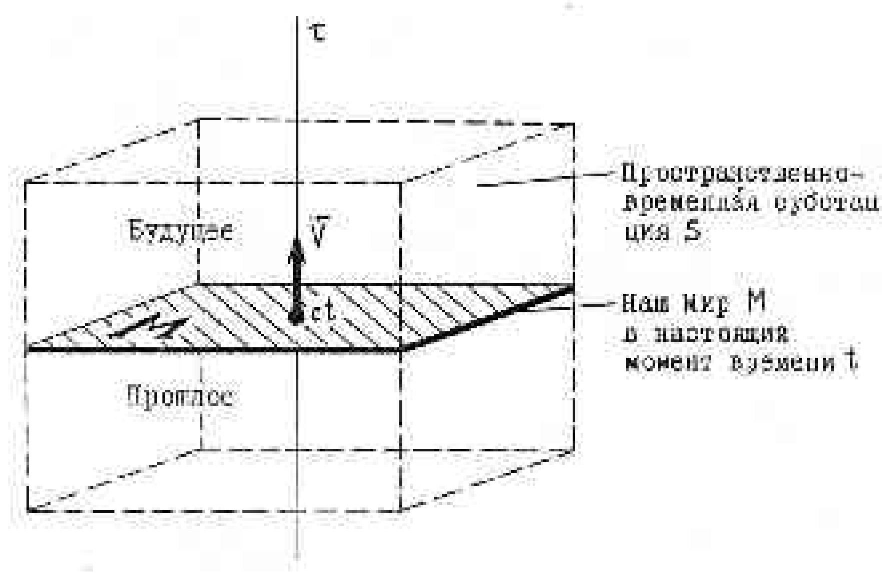


Рис. 2. Трехмерный Мир **M**, окруженный четырехмерной пространственно-временной субстанцией **S**. Многообразия **M** и **S** изображены с понижением размерности на единицу; **τ** – ось времени; **ct** – временная координата;

$\vec{\mathbf{V}}$ – направленность времени (определена в тексте)

Преобразование пространства, сохраняющее геометрические свойства фигур, называется *движением* [28]. Поэтому можно сказать, что гиперплоскость Мира движется сквозь пространственно-временную субстанцию вдоль оси времени. Как отмечено в разделе 2, для каждого физического объекта нашего Мира объективно выделена ориентация его мировой линии, указывающая направление временной эволюции объекта, причем для всех объектов ориентации мировых линий согласованы. Данный опытный факт свидетельствует о возможности приписать вполне определенное *направление* движению Мира вдоль оси времени. Назовем область субстанции **S**, откуда движется Мир, *прошлым*, а область, куда он движется, *будущим*. Рассматриваемое (текущее) состояние Мира есть его *настоящее* состояние.

Введем вектор $\vec{\mathbf{V}}$, параллельный оси времени, направленный из прошлого в будущее и имеющий модуль, равный **c**; будем именовать его *направленностью времени* (см. рис. 2). Вектор $\vec{\mathbf{V}}$ имеет смысл «скорости» движения Мира сквозь субстанцию **S**, потому что он указывает направление движения Мира и его модуль $|\vec{\mathbf{V}}|$ **(= c)** может быть представлен как отношение «пути» $|\mathbf{c\ dt}|$, проходимого гиперплоскостью **M** вдоль оси $\boldsymbol{\tau}$ за время **dt,** к абсолютной величине $|\mathbf{dt}|$ этого самого промежутка времени. Мы заключаем термины «скорость» и «путь» в кавычки, отмечая этим условность употребления их к описанию движения вдоль временной оси.
Вектор $\vec{\mathbf{V}}$ представляет собой «скорость» Мира в целом; применительно к конкретным физическим объектам, содержащимся в **M** и движущимся в нем, $\vec{\mathbf{V}}$ выступает как временная составляющая их «скоростей» относительно субстанции **S**.

Подчеркнем, что направления вектора $\vec{\mathbf{V}}$ во всех системах координат согласованы в силу отмеченной согласованности ориентации мировых линий всех физических объектов (при этом сам вектор $\vec{\mathbf{V}}$ в разных системах координат может быть различен аналогично тому, как различны в них в общем случае ось времени $\boldsymbol{\tau}$ и гиперплоскость **M**). Очевидно, что вектор $\vec{\mathbf{V}}$, названный нами направленностью времени, связан с ортом $\vec{\mathbf{e}}_0$ оси времени равенством

$$\vec{\mathbf{V}} = \pm\, \mathbf{c}\,\vec{\mathbf{e}}_0, \tag{3.1}$$

где знак плюс берется в случае, когда орт $\vec{\mathbf{e}}_0$ выбирается направленным из прошлого в будущее, а знак минус – при противоположном направлении $\vec{\mathbf{e}}_0$.

В соответствии с изложенным наш Мир **M** движется сквозь пространственно-временную субстанцию **S** из прошлого в будущее со «скоростью» $\vec{\mathbf{V}}$. Вместе с тем для наблюдателя, неразрывно связанного с **M**, это движение представляется так, как будто субстанция **S** течет сквозь наш Мир из будущего в прошлое со «скоростью» $-\vec{\mathbf{V}}$. Таким образом, направленность времени $\vec{\mathbf{V}}$ есть объективно выделенная характеристика, описывающая относительное движение двух физических реальностей – нашего Мира и пространственно-временной субстанции.

Сделаем одно замечание, касающееся рассматриваемой модели. Для данной модели принципиальным является представление о взаимодействии пространственно-временной субстанции с нашим Миром. Однако маловероятно, чтобы могли взаимодействовать между собой физические объекты, имеющие строго разные геометрические размерности. (Например, вряд ли могла бы служить для нас препятствием стена, имеющая в точности нулевую толщину.) По-видимому, наш Мир все же имеет некоторую толщину по направлению оси времени. При этом его толщина, скорее всего, очень мала, так как иначе данное обстоятельство не прошло бы мимо внимания исследователей.

Представление о ненулевой толщине Мира допускает две различные интерпретации. Можно понимать ее как некую фиксированную, детерминированную характеристику Мира, а можно трактовать ее в духе представлений квантовой механики как микроскопическую неопределенность или «размазанность» Мира по временной оси, отражающую неопределенность значений временных координат событий Мира.

Если Мир действительно имеет ненулевую толщину по оси времени, то моделирование его гиперплоскостью следует рассматривать как идеализацию, как первое приближение. При этом в тех случаях, где важна именно нулевая толщина **M**, например, при использовании операции отражения в **M** (см. далее), под символом **M** нужно понимать срединную гиперплоскость Мира.

В следующих разделах анализируются следствия постулата I, в том числе описываются возможные наблюдаемые эффекты в нашем Мире, обусловленные воздействием на него пространственно-временной субстанции. Вводятся также определения и постулаты, развивающие модель.

4. Течение времени и направленность времени

Принятие постулата I о существовании пространственно-временной субстанции позволяет придать ясный физический смысл общенаучным понятиям течения времени и его направленности. Действительно, ранее было отмечено, что с позиции наблюдателя, связанного с нашим Миром **M**, движение Мира сквозь пространственно-временную субстанцию **S** представляется как течение субстанции **S** сквозь наш Мир из будущего в прошлое со «скоростью» $-\vec{\mathbf{V}}$. То обстоятельство, что субстанция **S** пересекает Мир в направлении, параллельном оси времени, позволяет говорить о ней как о «потоке времени», пронизывающем наш Мир. В связи с этим может быть придан следующий смысл понятиям течения времени и его направленности.

Течение времени есть воспринимаемое изнутри Мира его движение сквозь пространственно-временную субстанцию. (Механизм этого восприятия может быть детализирован после задания физических свойств субстанции.) *Направленность времени* – понятие, отражающее тот факт, что направление указанного движения является фиксированным в каждой ортогональной системе координат пространства Минковского. Данное направление задается вектором $\vec{\mathbf{V}}$, с учетом чего мы и назвали вектор $\vec{\mathbf{V}}$ направленностью времени. Образно говоря, наш Мир – ковчег, плывущий сквозь океан-время, и направленность времени есть вектор, задающий направление и скорость его движения.

В связи с тем, что пространственно-временная субстанция **S** воспринимается изнутри Мира как «поток времени», оправданно назвать ее *временнóй субстанцией*. Далее мы будем пользоваться в качестве названия субстанции **S** также и этим, более кратким термином.

Отметим, что при реляционном взгляде на время невозможно дать трактовку течению времени и его направленности, подобную указанной. Невозможно также ввести характеристику, аналогичную вектору $\vec{\mathbf{V}}$. Дело в том, что в рамках реляционной концепции времени в пространстве-времени не имеется никакого независимого от **M** тела отсчета, по отношению к которому можно было бы рассматривать движение Мира от прошлого к будущему. Такое движение в этом случае есть чисто умозрительный образ, а не физическая реальность.

Известно, что в современной физике не удается последовательно провести идею направленности времени, несмотря на всю ее кажущуюся очевидность и многочисленные попытки сделать это [29 (§8), 30-32 и др.]. Поэтому такие разделы физики, как классическая механика, теория относительности, квантовая механика, статистическая физика, оперируют временем, не имеющим объективно выделенного направления.

Результаты настоящего исследования позволяют заключить, что причина, по которой до сих пор в физике не дано строгого определения направленности времени, состоит, скорее всего, в том, что современная физика базируется на реляционной концепции времени.

Необходимо подчеркнуть, что используемое во многих работах определение направленности времени как свойства Мира быть различным в прошлом и будущем [26 (с. 125) и др.] обладает рядом недостатков.

Во-первых, здесь направленность времени фактически подменяется его *неоднородностью*, которая, как хорошо известно, сопряжена с нарушением закона сохранения энергии. Однако в настоящий момент нет веских оснований для сомнения в справедливости этого закона.

Во-вторых, указанное определение неоправданно суживает область возможных проявлений направленности времени в нашем Мире, ибо причисляет к ним только эффекты, переменные во времени. (Наиболее часто упоминаются в качестве таких эффектов расширение Вселенной и общий рост энтропии.) Между тем, как будет доказано в последующих разделах, в нашем Мире могут существовать эффекты, связанные с временем, которые постоянны во времени.

Третий недостаток рассматриваемого определения кроется в использовании понятий прошлого и будущего. Наличие этих понятий в формулировке определения направленности времени требует введения для них самостоятельного определения, причем не связанного с представлением о направленности времени. Ныне известно только одно такое определение.

Оно опирается на понятие причинности и использует тот факт, что причина всегда находится в прошлом по отношению к следствию, а следствие – в будущем по отношению к причине. Иными словами, это определение выражает временнóй порядок событий Мира через их причинный порядок.

Представление о взаимообусловленности временного и причинного порядков событий не является новым в науке. Еще три столетия назад его обсуждал Г.В. Лейбниц. При этом он считал временной порядок событий Мира результатом причинно-следственного порядка. Однако исследования современных философов [33-35 и др.] показывают, что, скорее всего, имеет место обратное взаимоотношение между временным и причинным порядками: временной порядок представляет собой основу порядка причинно-следственного, а не наоборот. Этот результат приводит к выводу о логической некорректности обсуждаемого определения направленности времени.

Рассматриваемое определение неудовлетворительно также и с методологической точки зрения. Его содержание фактически сводится к признанию существования некоторой монотонно изменяющейся функции времени, характеризующей временную неоднородность Мира. И только градиент от нее может дать желаемую векторную характеристику – направленность времени. Таким образом, направленность времени вводится этим определением опосредованно через другую величину. Между тем, анализ проблемы времени показывает [31], что методологически более последовательно определять направленность времени как самостоятельное свойство.

5. Пространственно-временная субстанция как тело отсчета в пространстве Минковского

Сопоставим между собой способы задания систем координат в специальной теории относительности и в классической механике.

Классическая механика описывает движения тел в трехмерном пространстве, поэтому используемые в ней системы координат состоят в общем случае из трех пространственных координат. Поскольку движения материальных тел изучаются всегда по отношению к другим телам, то каждая система координат связывается с некоторым материальным телом – телом отсчета. Точнее, система координат вводится таким образом, чтобы определенная точка тела отсчета (например, центр масс) имела фиксированные значения координат, не меняющиеся при изучаемом процессе. Система координат как бы «скрепляется» с телом отсчета в этой точке. Более того, во многих случаях система координат «скрепляется» вообще со всем телом отсчета.

По-другому обстоит дело в специальной теории относительности. Здесь движения тел рассматриваются в четырехмерном пространственно-временном многообразии, поэтому системы координат включают в себя в дополнение к трем пространственным координатам четвертую – временную. В данном случае пространственные координаты, как и в классической механике, связываются с некоторым телом отсчета, а значения четвертой координаты – временной – определяются по показаниям часов, неподвижных относительно тела отсчета. Тот факт, что часы всегда предполагаются идущими, означает, что их временная координата, служащая также временной координатой тела отсчета, есть величина переменная. Поэтому тело отсчета, хотя и представляется нам покоящимся относительно задаваемой системы координат, в действительности имеет фиксированными только три пространственные координаты, временная же его координата не является таковой (рис. 3). Это означает, что системы координат, вводимые в пространстве Минковского, не «скреплены» ни с каким материальным телом, они как бы висят в (четырехмерной) пустоте. Следовательно, способ задания систем координат в специальной теории относительности не соответствует принятому в механике.

Причина отмеченного недостатка кроется в использовании в теории относительности реляционной концепции времени, предполагающей, что кроме вещества и физических полей не существует никаких других материальных объектов.

Если же в соответствии с постулатом I принять, что наряду с этими объектами имеется особого рода материальная среда – временная субстанция **S**, то указанный недостаток пропадает, так как данная субстанция и служит тем телом отсчета, с которым «скреплены» рассматриваемые в теории относительности системы координат. (Это «скрепление» имеет место, так как системы координат, используемые в специальной теории относительности, в нашей модели с самого начала вводятся как фиксированные относительно субстанции **S**.) Таким образом, постулат I позволяет привести одно из основных построений теории относительности в согласие с общими принципами механики.

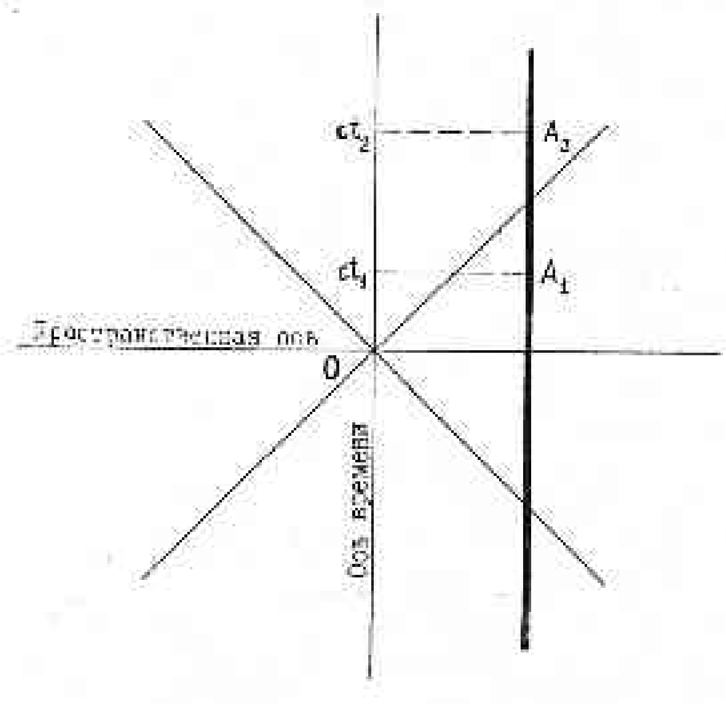


Рис. 3. Мировая линия покоящегося тела.
Пространственные координаты тела имеют фиксированные значения,

временная его координата принимает в точках A_1 и A_2 различающиеся значения ct_1 и ct_2

6. «Частицы» и «античастицы»

Наличие временной субстанции и движение нашего Мира сквозь нее делают неравноправными две стороны гиперплоскости Мира **М**: одна из них обращена навстречу «потоку времени», другая смотрит вслед ему. Допустим, что в нашем Мире имеются объекты, которые несимметричны относительно отражения в гиперплоскости **М**. Такие объекты математически могут быть описаны векторами, ортогональными гиперплоскости Мира. Назовем «*частицей»* (в кавычках) объект, который характеризуется вектором $a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$, направленным навстречу «потоку времени», и *«античастицей»* объект, характеризуемый вектором $-b\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$, направленным в противоположную сторону. Будем считать «частицу» и «античастицу» *соответствующими друг другу,* если они описываются векторами $a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$ и $-a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$ с одним и тем же коэффициентом а (рис.4).

Рис. 4. Поперечное сечение Мира **М**, пересекающее «частицу» и соответствующую ей «античастицу».

$\vec{e} = \frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$ – единичный вектор, ортогональный гиперплоскости **М** и направленный в ту же сторону, что и $\vec{\mathbf{V}}$

Здесь а>0, Ь>0; физическую размерность величин а и Ь не уточняем, так как для дальнейшего она не имеет значения; $\vec{\mathbf{V}}/|\vec{\mathbf{V}}|$ единичный вектор, направленный так же, как и $\vec{\mathbf{V}}$; предполагается, что $\vec{\mathbf{V}} \neq \vec{\mathbf{0}}$. Учитывая сказанное о длине вектора в разд. 2, заметим, что употребление здесь длины вектора $|\vec{\mathbf{V}}|$ не является существенным, так как орт $\vec{\mathbf{V}}/|\vec{\mathbf{V}}|$ всегда может быть определен без обращения к $|\vec{\mathbf{V}}|$.

Гипотетическими примерами «частицы» и «античастицы» могут служить объекты, показанные на рисунке 5*а* для случая Мира, имеющего по оси времени нулевую толщину, и на рисунке 5*б* для случая Мира ненулевой толщины (рисунок 5 носит чисто иллюстративный характер; не имеется в виду сопоставлять изображенные на нем объекты с какими-либо реальными физическими телами, единственная цель рисунка – продемонстрировать, что, по крайней мере, с геометрической точки зрения существование требуемых объектов возможно).

Естественно ожидать, что взаимодействие рассматриваемых объектов с временной субстанцией **S**, если оно имеет место, описывается величиной, включающей в себя скалярное произведение вектора направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$ и вектора, характеризующего объект (см. рис. 4). Для «частицы» и соответствующей ей «античастицы» указанное скалярное произведение равно

$$\vec{\mathrm{V}}\cdot\left(\pm\,\mathrm{a}\frac{\vec{\mathrm{V}}}{|\vec{\mathrm{V}}|}\right)=\pm\mathbf{ac}\ , \quad (6.1)$$

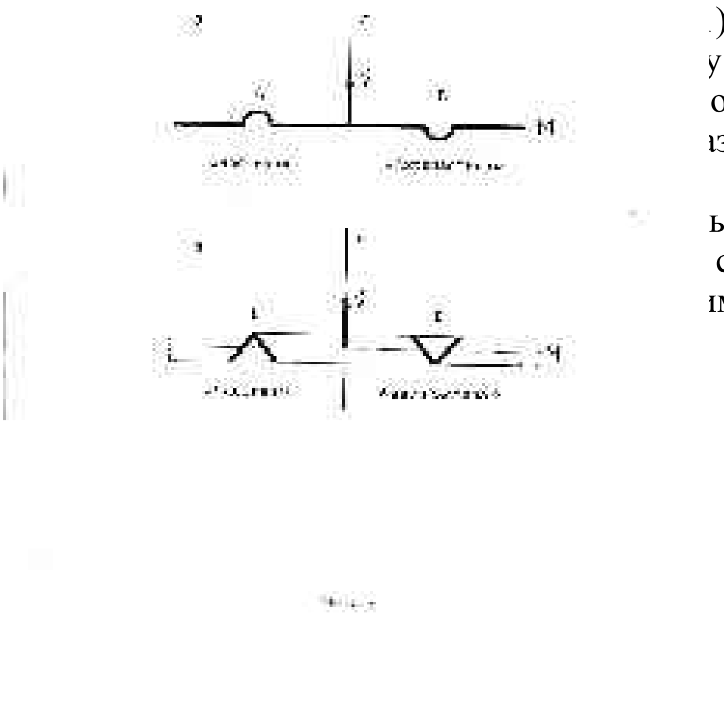


Рис. 5. Примеры «частиц» и «античастиц» в случаях Мира **M**, имеющего нулевую (а) и конечную (б) толщину по оси времени. A, B – объекты, вызывающие локальные вздутия Мира в направлении, ортогональном **M**; C, D – объекты, не искажающие срединную гиперплоскость Мира

...с относятся соответственно к
...) следует, что «частица» и со-
...у взаимодействуют с потоком
...он Мира. Это обстоятельство
...зличие каких-то свойств дан-

...ых эффектов в нашем Мире,
... субстанции, может быть раз-
...м «античастиц».

Изменим направление движения Мира вдоль оси времени на противоположное, то есть поменяем знак направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$. Из определения «частицы» и «античастицы» и из рис. 4, 5 видно, что при этом все «частицы» превратятся в «античастицы, а «античастицы» – в «частицы». В то же время изнутри Мира эта трансформация будет восприниматься по-разному в зависимости от способа идентификации данных объектов.

Здесь возможны два различных случая. Один состоит в том, что «частицы» и «античастицы» идентифицируются по их свойствам, определяемым только внутренними характеристиками Мира. Для наглядности можно представить себе, что некоторый объект просто зажат у нас в руке (при этом его отождествление производится по неизменности геометрических и механических свойств). Тогда мы, конечно, будем считать, что как до изменения знака $\vec{\mathbf{V}}$, так и после него, у нас имеется один и тот же объект. И даже сопоставление его с другими подобными объектами не даст оснований считать, что объект превратился в нечто иное, так как все они изменяются одинаковым образом. Поэтому в данном случае результат рассматриваемой трансформации будет восприниматься изнутри Мира как взаимное изменение каких-то свойств «частиц» и «античастиц» (а именно свойств, обусловленных их взаимодействием с субстанцией **S**).

Иначе обстоит дело в том случае, когда идентификация объектов производится как раз по тем их свойствам, которые определяются взаимодействием с временной субстанцией **S**. В этом случае результат рассматриваемой трансформации будет восприниматься изнутри Мира уже действительно как взаимное превращение «частиц» и «античастиц».

С точки зрения наблюдателя, находящегося внутри нашего Мира, изменение знака $\vec{\mathbf{V}}$ выглядит как изменение на противоположное направления течения времени, поэтому во всех физических теориях временна́я переменная **t** должна быть заменена на **-t.** Следовательно вполне возможно, что среди тех пар физических систем нашего Мира, для которых какие-то их характеристики или даже целиком уравнения, их описывающие, взаимно переходят друг в друга при изменении знака **t**, как раз и содержатся пары «частица» – соответствующая ей «античастица», причем различие свойств последних связано именно с воздействием временной субстанции.

Из определения данных объектов и сказанного выше вытекает, что «частица» и соответствующая ей «античастица» могут аннигилировать при соединении (так как характеризующие их векторы $a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$ и $-a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$ в сумме дают нуль) и что «античастица» есть «частица», движущаяся вспять во времени. Известно, что такими свойствами обладают реальные частицы и античастицы, поэтому можно предположить, что введенные нами «частица» и «античастица» совпадают с одноименными реальными объектами. Вместе с тем, понятно, что на основании одних лишь этих аргументов данный вывод не может считаться безоговорочно верным, поэтому мы высказываем его в форме предположения и заключаем названия введенных объектов в кавычки.

Отметим, что с позиции реляционной концепции времени существование объектов, которые описывались бы векторами, ортогональными Миру **M**, представляется маловероятным. Согласно этой концепции вне нашего Мира не имеется взаимодействующих с ним материальных тел, поэтому все свойства объектов Мира должны определяться лишь его внутренней геометрией. А так как с точки зрения внутренней геометрии гиперплоскости обе ее стороны эквивалентны, то наличие объектов, выделяющих одну из сторон Мира, выходило бы за рамки внутренней геометрии Мира. И даже если все-таки в нашем Мире возникли бы объекты, аналогичные «частице» и соответствующей ей «античастице», то их нельзя было бы отличить один от другого, потому что они совершенно одинаково взаимодействовали бы со всеми остальными объектами Мира (при симметричности последних относительно отражения в **M**). Здесь, однако, следует сделать оговорку. Если Мир не является плоским, то две его стороны оказываются уже не эквивалентными между собой. Например, если Мир образует трехмерную гиперсферу, то одна его сторона обращена в направлении выпуклости, другая – в направлении вогнутости. В этом случае, в принципе, могло бы иметь место различие свойств объектов, которые описываются противоположно направленными векторами, ортогональными гиперповерхности Мира (если бы такие объекты существовали).

7. Зеркальная асимметрия Мира

Приведем несколько определений, относящихся к вещественным евклидовым пространствам любой конечной размерности.

Две геометрические фигуры называются *равными* (*одинаковыми, совпадающими*), если они могут быть совмещены друг с другом посредством непрерывного движения в рассматриваемом пространстве. Две физические системы именуются *равными* (*одинаковыми, совпадающими*), если математические конструкции, их описывающие, равны как геометрические фигуры. *Зеркальным изображением* геометрической фигуры или физической системы назовем фигуру или систему, являющуюся образом исходной при отражении в гиперплоскости (мы не приводим формулы, описывающие преобразование отражения в гиперплоскости, полагая их известными).

Геометрическая фигура или физическая система, имеющая гиперплоскость симметрии, называется *зеркально-симметричной*. Если фигура (система) не имеет гиперплоскости симметрии, то она именуется *зеркально асимметричной*. Зеркально асимметричную физическую систему иногда называют также *диссимметричной* или *хиральной.*

Применительно к физической системе в этих определениях могут приниматься в расчет не только геометрические, но также механические или иные характеристики системы. Понятно, что отнесение реальной физической системы к разряду зеркально-симметричных или зеркально асимметричных систем может зависеть от учитываемого набора ее характеристик и от степени точности, с которой сравниваются между собой система и ее зеркальное изображение.

Зеркально асимметричная геометрическая фигура (физическая система) и ее зеркальное изображение не равны между собой. Данное обстоятельство позволяет ввести понятие *энантиоморфизма*. Этим термином обозначается явление, заключающееся в существовании пар зеркально асимметричных геометрических фигур (физических систем), каждая из которых равна зеркальному изображению другой. Две такие фигуры или системы называются *(взаимно) энантиоморфными;* при этом о каждой из них говорят, что она есть *энантиоморфная модификация* другой.

С учетом последнего термина о зеркально асимметричной фигуре или системе можно сказать, что она есть фигура (система), находящаяся в одной определенной энантиоморфной модификации. При рассмотрении физических систем наравне с термином «энантиоморфизм» употребляются термины *«диссиметричность»* и *«хиральность».*

Обратим внимание на то, что понятие энантиоморфизма существенным образом опирается на условие, в соответствии с которым движение, упоминаемое в определении равенства фигур, производится *внутри рассматриваемого пространства.* В самом деле, если бы допускался выход в объемлющее пространство, то, по крайней мере, в случае собственно евклидова пространства любая фигура и ее зеркальное изображение могли бы быть совмещены друг с другом посредством непрерывного движения. В результате фигура и ее зеркальное изображение были бы равными, и понятие энантиоморфизма потеряло бы всякий смысл.

Например, известно, что на собственно евклидовой плоскости две одинаковые окружности с фиксированными на них противоположными направлениями обхода являются энантиоморфными и не могут быть переведены одна в другую непрерывным движением внутри плоскости. Однако, если допустить возможность выхода в объемлющее трехмерное собственно евклидово пространство, то они могут быть совмещены между собой. Для этого достаточно одну из них повернуть на 180° относительно рассматриваемой плоскости вокруг любой оси, лежащей в этой плоскости, после чего совмещение окружностей может быть достигнуто уже непрерывным движением внутри плоскости (рис. 6). Аналогичным образом взаимно энантиоморфные правая и левая винтовые спирали в нашем трехмерном Мире, несовместимые между собой внутри Мира, заведомо могли бы быть переведены одна в

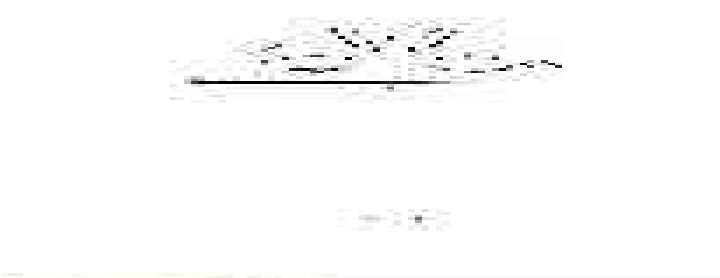


Рис. 6. Преобразование окружности, наделенной фиксированным направлением обхода, из одной энантиоморфной модификации в другую с помощью вращения на 180^0 вокруг оси, лежащей в плоскости залегания окружности.
АВ – ось вращения; O_1, O_4 – исходное и конечное положения окружности; O_2, O_3 – промежуточные положения окружности при вращении

другую, если бы имелась возможность перемещения их в объемлющем четырехмерном собственно евклидовом пространстве.

Важным примером зеркально асимметричных геометрических фигур являются базисы евклидова пространства. Благодаря зеркальной асимметрии базисов, вся их совокупность может быть разбита на два непересекающихся класса – *правоориентированные* и *левоориентированные* базисы, причем базисы каждого класса связаны между собой положительно в некотором определенном смысле. При отражении в гиперплоскости базисы двух классов переходят друг в друга. Иногда базисы из этих классов называют более кратко – *правыми и левыми.*

Двум энантиоморфным фигурам или системам всегда можно поставить в соответствие одной право-, а другой левоориентированный базисы. Назовем геометрическую фигуру (физическую систему), которой поставлен в соответствие базис определенной ориентации, *ориентированной.* Подчеркнем, что ориентированной может быть только зеркально асимметричная фигура (система). Сопоставление фигуре (системе) базиса определенной ориентации автоматически влечет сопоставление ей всего класса одинаково ориентированных базисов. Ориентированные фигуры и системы будем подразделять на *правые* и *левые,* в соответствии с ориентациями сопоставляемых им базисов.

Понятие ориентации употребляется в математике и по отношению ко всему пространству. *Ориентировать пространство* означает выбрать в нем один из двух классов базисов на которые последние разбиваются по признаку их правизны или левизны. Ориентация пространства может быть введена как путем непосредственного выбора класса базиса, так и с помощью задания зеркально асимметричной геометрической фигуры: посредством сопоставления фигуре и ее энантиоморфной модификации по определенному правилу классов базисов противоположных ориентаций.

О Мире в целом говорят, что он *зеркально-симметричен,* если, во-первых, в нем все зеркально асимметричные физические системы и их энантиоморфные модификации представлены в равных количествах и, во-вторых, любые две взаимно энантиоморфные системы обладают одинаковыми свойствами (точнее, все свойства одной системы переходят в свойства другой системы при преобразовании зеркального отражения). В противном случае Мир считается *зеркально-асимметричным.*

Второе из этих условий подразумевает, что идентификация физических систем производится лишь по части их характеристик; если бы системы определялись всеми своими характеристиками, то второе условие выполнялось бы автоматически, потому что в этом случае все свойства энантиоморфных систем заведомо были бы взаимно зеркально-симметричными (иначе системы не являлись бы энантиоморфными).

Вернемся к рассмотрению нашей модели.

В связи с применимостью понятий зеркально асимметричной физической системы и ориентированной системы к пространствам любой конечной размерности, будем употреблять их по отношению не только к трехмерным объектам нашего Мира, но и к четырехмерной временной субстанции **S**. Примем следующий постулат.

Постулат II. *Физические свойства пространственно-временной субстанции **S** таковы, что делают ее зеркально асимметричной; данное свойство носит локальный характер, то есть зеркально асимметричной является каждая сколь угодно малая часть субстанции.*

Отметим, что если на самом деле субстанция **S** все же обладает зеркальной симметрией, то и в этом случае принятие постулата II не приводит к большой ошибке, так как теорию всегда можно преобразовать к данному случаю путем устремления к нулю всех параметров, характеризующих различие двух энантиоморфных модификаций субстанции **S**. Условие локальности здесь принято для того, чтобы можно было относить выводы о воздействии временной субстанции на наш Мир к самым разным физическим объектам, в том числе к таким, которые моделируются материальными точками.

Направленность времени $\vec{\mathbf{V}}$, выделяя объективно одно из двух направлений нормали к гиперплоскости Мира **M**, позволяет ввести в нашем Мире ориентацию, индуцированную из объемлющей его субстанции **S**.

В математике принят следующий способ введения индуцированной ориентации в гиперплоскости при наличии выделенной нормали к ней. Берется базис из гиперплоскости и к составляющим его векторам добавляется выделенная нормаль. В полученной совокупности векторов эта нормаль принимается первой, а остальные векторы нумеруются далее в той последовательности, какую они имеют в исходном базис. Такая совокупность векторов образует базис объемлющего пространства. Если этот базис является в объемлющем пространстве правым (левым), то и исходный базис из гиперплоскости также считается правым (левым). Индуцированная ориентация гиперплоскости задается выбором в ней класса базисов, одноименных с выбранным в объемлющем пространстве.

Вводимая таким способом ориентация гиперплоскости, очевидно, не есть еще физическая реальность, а представляет собой лишь математическую конструкцию. Вместе с тем, благодаря зеркальной асимметрии временной субстанции **S** и взаимодействию ее с нашим Миром, индуцированная ориентация Мира в самом деле может стать объективной физической реальностью. Покажем, что это действительно так.

Зададим ориентацию временной субстанции **S**, поставив ей в соответствие какой-либо класс одинаково ориентированных базисов (это можно сделать в силу постулированной зеркальной асимметрии **S**). Пусть $\{\vec{\boldsymbol{x}}_0, \vec{\boldsymbol{x}}_1, \vec{\boldsymbol{x}}_2, \vec{\boldsymbol{x}}_3\}$ – ортонормированный базис из этого класса (орты $\vec{\boldsymbol{x}}_i$, i = 0, 1, 2, 3, удовлетворяют соотношениям типа (2.9)). Образуем из векторов данного базиса альтернированное тензорное произведение – поливектор

$$\mathbf{x} = [\vec{\boldsymbol{x}}_0 \vec{\boldsymbol{x}}_1 \vec{\boldsymbol{x}}_2 \vec{\boldsymbol{x}}_3], \qquad \mathbf{(7.1)}$$

здесь квадратные скобки означают операцию альтернирования; тензорное произведение записывается без знака умножения между сомножителями. Величина $\boldsymbol{x}$ является инвариантной характеристикой ориентации субстанции **S**, поскольку, как известно [10], поливектор, образованный ортонормированной системой векторов, не изменяется при замене этой системы любой другой системой ортонормированных векторов той же ориентации и меняет знак в случае замены ее системой ортонормированных векторов противоположной ориентации.

Рассмотрим две энантиоморфные физические системы из **M**. Ориентируем их, поставив им в соответствие ортонормированные базисы из **M**: одной системе – правый базис $\{\vec{y}_1, \vec{y}_2, \vec{y}_3\}$, другой – левый базис $\{\vec{y}_1, \vec{y}_2, \vec{y}_3\}$ (векторы $\vec{y}_i$ и $\vec{y}'_i$, i = 1, 2, 3 – мнимоединичные). Будем называть эти системы соответственно правой и левой системами. С точки зрения внутренней геометрии трехмерного Мира **M** инвариантными характеристиками ориентации данных систем служат поливекторы $[\vec{y}_1\ \vec{y}_2\ \vec{y}_3]$ и $[\vec{y}'_1\ \vec{y}'_2\ \vec{y}'_3]$.

С позиции объемлющей Мир четырехмерной субстанции **S** в качестве характеристик этих систем, отражающих как их ориентации, так и факт их движения вместе с **M** относительно субстанции **S**, очевидно, могут быть использованы четырехвалентные тензоры

$$\mathbf{y} = \frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}[\vec{y}_1\,\vec{y}_2\,\vec{y}_3]\ ; \qquad \mathbf{y}' = \frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}[\vec{y}'_1\,\vec{y}'_2\,\vec{y}'_3], \tag{7.2}$$

где, напомним, $\vec{\mathbf{V}}/|\vec{\mathbf{V}}|$ – единичный вектор, ортогональный **M** и направленный в ту же сторону, что и $\vec{\mathbf{V}}$. В силу упомянутого выше свойства поливекторов имеем $[\vec{y}'_1\vec{y}'_2\vec{y}'_3] = -[\vec{y}_1\ \vec{y}_2\ \vec{y}_3]$, поэтому

$$\vec{y} = -\vec{y}'. \tag{7.3}$$

Естественно допустить, что взаимодействие зеркально асимметричной временной субстанции **S** с рассматриваемыми правой и левой системами, если оно имеет место, описывается величиной, содержащей произведение $\mathbf{x}\cdots\mathbf{y}$ для одной системы и $\mathbf{x}\cdots\mathbf{y}'$ для другой (многоточие – операция свертывания тензоров по всем четырем парам индексов). Докажем, что

$$\mathbf{x}\cdots\mathbf{y} = -\mathbf{x}\cdots\mathbf{y}' = \mp\frac{1}{4!}, \tag{7.4}$$

где верхний и нижний знаки относятся к случаям, когда упорядоченная четверка векторов $\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}, \vec{y}_1, \vec{y}_2, \vec{y}_3$ имеет соответственно ту же и противоположную ориентацию, что и базис $\{\vec{\boldsymbol{x}}\}$.

Доказательство. На основании отмеченного ранее свойства поливекторов можем записать:

$$[\vec{\boldsymbol{x}}_0\vec{\boldsymbol{x}}_1\ \vec{\boldsymbol{x}}_2\ \vec{\boldsymbol{x}}_3] = \pm\left[\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}\vec{y}_1\ \vec{y}_2\ \vec{y}_3\right], \tag{7.5}$$

где знаки плюс и минус отвечают соответственно случаям совпадения и различия ориентаций четверок векторов в левой и правой частях равенства, взятых в записанном порядке. Из выражений (7.1), (7.2), (7.5) вытекает, что

$$\mathbf{x}\cdots\mathbf{y} = \pm\left[\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}\vec{y}_1\,\vec{y}_2\,\vec{y}_3\right]\cdots\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}\left[\vec{y}_1\,\vec{y}_2\,\vec{y}_3\right].$$

Оба свертываемых множителя в правой части этого выражения могут быть представлены в согласии с определением поливектора в виде сумм **n!** слагаемых (**n= 4** для первого сомножителя и **n = 3** для второго). В обеих суммах каждое слагаемое представляет собой тензорное произведение четырех векторов $\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$, $\vec{y}_1, \vec{y}_2, \vec{y}_3$, взятых в своем для каждого слагаемого порядке; при этом слагаемые наделяются определенными знаками, а вся сумма умножается на **1/*n*!.**

Вследствие попарной взаимной ортогональности векторов, ненулевые вклады в свертку сумм дают только такие перемножаемые слагаемые, у которых при свертывании умножаются скалярно друг на друга одни и те же векторы. Так как такие слагаемые имеют одинаковые знаки и $\frac{\vec{\mathbf{V}}}{|\vec{\mathbf{V}}|}\cdot\frac{\vec{\mathbf{V}}}{|\vec{\mathbf{V}}|} = \mathbf{1}$, $\vec{y}_1 \cdot \vec{y}_1 = \vec{y}_2 \cdot \vec{y}_2 = \vec{y}_3 \cdot \vec{y}_3 = \mathbf{-1}$, то каждый вклад равен **-1**. Всего таких вкладов **3!** штук, поэтому в сумме они дают **-3!** штук. Умножая данное число на коэффициент ± **1/(4!3!)** и учитывая равенство (7.3), получаем требуемое соотношение (7.4).

Из выражения (7.4) вытекает, что взаимодействие временной субстанции **S** с правой и левой системами нашего Мира различно. Изнутри Мира это может восприниматься как различие каких-то свойств данных систем. Следовательно, как и утверждалось, ориентация Мира, индуцированная из объемлющей его временной субстанции **S,** действительно может быть объективной физической реальностью, проявляясь в форме зеркальной асимметрии Мира.

Подтвердим данный вывод кроме приведенного доказательства также следующим наглядным примером.

Возьмем узкую металлическую ленту и закрутим ее вокруг центральной оси в винтовую спираль. Возьмем также пластину с вырезом в середине, совпадающим по форме с поперечным сечением ленты. Вставим конец ленты в вырез и будем протягивать ее сквозь пластину, как изображено на рисунке 7. При этом пластина будет вращаться (на рисунке стрелками показаны направления движения ленты и вращения пластины для случая, когда лента закручена в правую спираль).

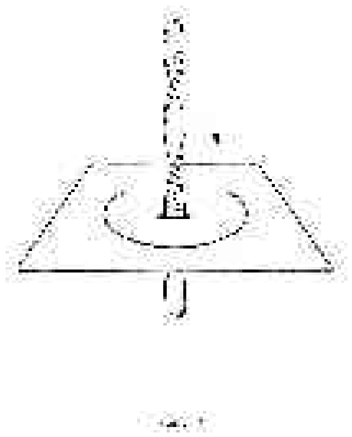


Рис. 7. Винтовая спираль, вращающая пластину

Известно, что ориентация может быть фиксирована в трехмерном пространстве выбором определенного направления закрутки винтовой спирали, а на плоскости заданием направления вращения. В нашем примере имеется жесткая зависимость между направлением движения ленты и направлением вращения пластины. Однако мы еще не можем сказать, что данная закрутка ленты порождает определенную ориентацию пластины, потому что при протягивании ленты в обратном направлении пластина будет вращаться в другую сторону.

Сделаем теперь неравноценными два противоположных направления протягивания ленты. Для этого поместим в центр пластины специальное устройство, которое не вносит каких-либо изменений в описанную картину при движении ленты в одном направлении, а при движении ленты в другом направлении увеличивает размер выреза в пластине до размера ширины ленты, чем позволяет ленте проходить сквозь пластину свободно, не вызывая вращения последней (технически осуществить это несложно: примерно так устроена детская юла). В этом случае движение ленты будет приводить к вращению пластины уже только в строго фиксированную сторону. Таким образом, выделив направление нормали к пластине, мы получаем однозначную связь между ориентацией спирали и ориентацией пластины.

Приведенный пример подтверждает, что если направление нормали к подпространству физически выделено, то воздействие на материальные структуры подпространства со стороны зеркально асимметричных структур объемлющего пространства может приводить в подпространстве к возникновению отличия свойств правых систем от левых.

Поменяем знак направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$. При этом индуцированная ориентация Мира станет противоположной: правые системы превратятся в левые и наоборот. Вместе с тем, мы, живущие внутри Мира, подразделяем системы на правые и левые в соответствии только с внутренней геометрией Мира, безотносительно к геометрии субстанции **S.** Поэтому для нас изменение ориентации Мира, индуцированной из **S**, будет выглядеть как взаимное изменение тех свойств правых и левых систем, которые обусловлены воздействием временной субстанции. Ранее отмечалось, что при обращении знака $\vec{\mathbf{V}}$, во всех физических теориях временная переменная **t** должна быть заменена на **-t**. Следовательно, если при замене **t** на **-t** свойства каких-то физических систем переходят в свойства их энантиоморфных модификаций, то не исключено, что эти свойства систем обусловлены именно воздействием зеркально асимметричной временной субстанции. Заметим, что пара энантиоморфных систем может быть одновременно парой «частица» – «античастица», так как последние также взаимно изменяют свои свойства при изменении знака **t.**

Примерами наблюдаемой зеркальной асимметрии Мира являются несохранения пространственной четности при $\boldsymbol{\beta}$-распадах атомных ядер и в ряде атомных явлений [36], асимметрия фигур планет относительно отражения в экваториальной плоскости [4, 37] (в последнем случае винтовую комбинацию образуют вектор силы тяжести и псевдовектор угловой скорости собственного вращения планеты; при обычном направлении вращения планеты с запада на восток этот винт является левым для северного полушария планеты и правым для южного).

Многочисленны проявления зеркальной асимметрии в живом веществе, причем наиболее ярко она выражена в наличии исключительно правой закрутки молекул нуклеиновых кислот и исключительно левой закрутки белков [38]. Это свойство живого вещества, начало изучению которого положил Л. Пастер, рядом ученых считается одним из основных признаков жизни [39 и др.].

К настоящему времени не найдено удовлетворительного объяснения эффектам зеркальной асимметрии Мира, несмотря на многочисленные попытки, предпринимавшиеся в данном направлении. Возможно, что неудача связана с тем обстоятельством, что все эти попытки базировались на теориях, использующих реляционную концепцию времени. В рамках таких теорий любые физические явления должны быть объяснены только на основе свойств самого Мира. Однако с точки зрения внутренней геометрии гиперплоскости Мира не видно причин, которые могли бы привести к различию свойств правых и левых систем. В противоположность этому, использование субстанциональной концепции времени, как вытекает из результатов настоящего раздела, дает реальный шанс на разрешение проблемы происхождения зеркальной асимметрии Мира.

При исследовании живых систем следует иметь в виду, что объяснение их зеркальной асимметрии на основе представления о воздействии временной субстанции (как и на основе представления о воздействии вообще любого постоянно действующего внешнего фактора) сталкивается с необходимостью дать ответ на следующий вопрос. Почему в случае естественного образования молекул в живых системах соблюдается хиральная чистота получаемых веществ, то есть образуются молекулы, закрученные только в строго определенную сторону, а при искусственном синтезе всегда получаются рацематы – смеси, содержащие примерно равное количество право- и левозакрученных молекул? Иначе говоря, в чем причина принципиально различного воздействия времени на живые и неживые системы? Пока что ответа на этот вопрос нет. Единственное известное автору соображение, касающееся поставленного вопроса, – изречение немецкого философа Георга Зиммеля: «Время есть жизнь, если оставить в стороне ее содержание» (цит. по [39, с. 253]).

Итак, согласно результатам настоящего и предыдущего разделов наличие временной субстанции, однонаправленность движения Мира сквозь нее (характеризуемая вектором $\vec{\mathbf{V}}$) и взаимодействие Мира и субстанции могут приводить к различию в Мире свойств «частиц» и «античастиц», а в случае зеркально асимметричной временной субстанции также и к различию в нем свойств правых и левых систем.

Обычно считается, что для выявления эффектов, связанных с временем, обязательно требуется сравнение между собой состояний Мира, относящихся к разным моментам времени. Приведенный результат показывает, что это не так: некоторые эффекты, образно выражаясь, могут быть запечатлены даже на мгновенной фотографии Мира.

Гипотеза об обусловленности зеркальной асимметрии Мира свойствами времени впервые была высказана Н.А. Козыревым [4].

8. Симметрия физического пространства-времени. Связь с CPT-теоремой

В специальной теории относительности постулируется одинаковость протекания физических процессов в любых инерциальных системах отсчета. Это означает, в частности, что если произвольную физическую систему перевести из одного равномерного прямолинейного движения (относительно некоторой инерциальной системы отсчета) в другое такое же движение, то все процессы в ней, не связанные с внешними системами, в новом состоянии будут протекать в точности так, как они протекали в исходном состоянии. Следовательно, данные преобразования физической реальности есть ее элементы симметрии (к ним относятся, в частности, произвольные повороты и трансляции).

В пространстве Минковского инерциальным системам отсчета соответствуют ортогональные системы координат, а указанным элементам симметрии отвечают преобразования пространства Минковского, которые переводят одну ортогональную систему координат в другую, причем, что важно, в данном случае системы координат преобразуются с соблюдением согласованности направлений временных осей и сохранением ориентации (правизны или левизны) пространственных осей. Совокупность таких преобразований образует одну из четырех связных компонент группы Пуанкаре – группы изометрий пространства Минковского. Характерным для этих преобразований является принципиальная возможность осуществления их непрерывным образом.

Нас будут интересовать свойства симметрии описываемой субстанциональной модели пространства-времени при преобразованиях инверсии (относящихся к разряду дискретных преобразований пространства Минковского).

Назовем *пространственно-временной инверсией* физического пространства-времени преобразование, которое заключается в переводе всех точек временной субстанции **S** и нашего Мира **M** из мест, где они находятся, в места, симметричные им относительно какой-либо точки Мира – центра инверсии – с одновременным изменением знаков всех векторных характеристик модели, включая обращение направления движения Мира **M** сквозь субстанцию **S**. Будем обозначать это преобразование символом **Ω** (без конкретизации центра инверсии и момента времени, в который осуществляется преобразование).

Всевозможные пространственно-временные инверсии, рассматриваемые как отображения пространства Минковского, в суперпозиции с упомянутыми ранее преобразованиями образуют еще одну связную компоненту группы Пуанкаре. Однако в отличие от указанных ранее преобразований они не могут быть осуществлены непрерывным образом.

Из выражения (2.8) следует, что пространственно-временная инверсия **Ω** преобразует векторы пространства Минковского так же, как оператор $-g$:

$$\mathbf{\Omega} = -g\colon\ \vec{x} \to -g \cdot \vec{x} = -\vec{x}, \qquad \textbf{(8.1)}$$

где $\boldsymbol{g}$ – метрическая форма пространства Минковского, выступающая здесь в качестве линейного оператора; $\vec{\boldsymbol{x}}$ – произвольный вектор пространства Минковского.

Пусть $\vec{\mathbf{R}}$ – радиус-вектор точек временной субстанции **S** или Мира **M**, откладываемый от центра инверсии; $\vec{\mathbf{V}}$ – направленность времени; $a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$, $-b\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$ – векторы, характеризующие «частицы» и «античастицы». Согласно (8.1) инверсия **Ω** преобразует указанные векторы по правилу:

$$\Omega:\ \vec{R}\mapsto-\vec{R};\quad \vec{V}\mapsto-\vec{V};\quad a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}\mapsto-a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|};\quad -b\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}\mapsto b\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}. \tag{8.2}$$

При наличии у модели других векторных характеристик их знаки также должны быть изменены на обратные; то же относится к характеристикам, описываемым тензорами любого нечетного ранга (потому что они могут быть представлены в виде линейных комбинаций тензорных произведений нечетного числа векторов).

Далее используются наряду с инверсией **Ω** следующие преобразования физического пространства-времени:

I – тождественное преобразование; переводит физическое пространство-время само в себя без каких-либо изменений в нем (в соответствии с выражением (2.7) преобразование **I** совпадает на множестве векторов пространства Минковского с оператором $\boldsymbol{g}$);

$\mathbf{\Omega_M}$ – сужение преобразования **Ω** на гиперплоскость нашего Мира **M**, то есть пространственно-временная инверсия Мира **M** относительно одной из его точек (состоит в изменении знаков радиусов-векторов точек Мира и знаков всех векторных и тензорных нечетного ранга характеристик Мира, включая те, которые имеют ненулевые составляющие вдоль оси времени, в частности, переводит все «частицы» в соответствующие им «античастицы» и все «античастицы» в соответствующие «частицы»); осуществляется без изменения временной субстанции **S** и направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$;

$\mathbf{\Omega_S}$ – сужение преобразования **Ω** на временную субстанцию **S**, то есть пространственно-временная инверсия субстанции **S** относительно некоторой точки, лежащей в гиперплоскости нашего Мира **M**, производится без изменения Мира **M** и направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$;

$\mathbf{\Omega}^{\vec{V}}$ – обращение знака направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$, то есть изменение направления движения Мира **M** вдоль оси времени на противоположное;

P – пространственная инверсия – обращение знаков радиусов-векторов всех точек Мира **M,** откладываемых от некоторой точки Мира; это преобразование изменяет ориентации физических объектов в **M**: правые объекты становятся левыми, а левые – правыми; преобразование **P** отличается от $\mathbf{\Omega_M}$ тем, что оно не меняет другие характеристики Мира, в частности, оставляет неизменными «частицы» и «античастицы» (хотя, конечно, перемещает их в пространстве);

C – зарядовое сопряжение – обращение знаков векторов $a\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$ и $-b\frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$, характеризующих «частицы» и «античастицы»; преобразует все «частицы» в соответствующие им «античастицы» и все «античастицы» в соответствующие «частицы».

Последние два преобразования – **P** и **C** – содержатся в $\mathbf{\Omega_M}$.

Если Мир **M** имеет ненулевую толщину по направлению оси времени, то центры всех инверсий должны принадлежать срединной гиперплоскости Мира.

В разделе 3 указывалось, что понятие физического пространства-времени включает в себя все описываемые моделью материальные объекты. Поскольку данное обстоятельство существенным образом используется в дальнейшем, выразим его в виде самостоятельного постулата.

Постулат III. *Физическое пространство-время охватывает собой всю реальность.*

Приступим теперь непосредственно к описанию симметрии модели при инверсиях.

Физическое пространство-время, как нетрудно убедиться, перейдет само в себя, если произвести с ним следующие преобразования: осуществить пространственно-временную инверсию Мира **M** относительно некоторой его точки (преобразование $\mathbf{\Omega_M}$); изменить направление движения Мира вдоль оси времени на противоположное, то есть изменить знак направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$ ($\mathbf{\Omega}^{\vec{V}}$); произвести пространственно-временную инверсию субстанции **S** относительно той же принадлежащей **M** точки ($\mathbf{\Omega_S}$) и затем все физическое пространство-время целиком подвергнуть пространственно-временной инверсии относительно этой же точки (**Ω**). Следовательно, можем записать:

$$\mathbf{\Omega\Omega_S\,\Omega^{\vec{V}}\,\Omega_M = I.} \tag{8.3}$$

Формула (8.3) выражает *закон симметрии физического пространства-времени при преобразованиях инверсии.* Здесь важными являются два требования: во-первых, инверсии должны осуществляться относительно одной и той же точки Мира **M**; во-вторых, все преобразования должны производиться в один момент времени. Сформулируем условия, при которых первое из этих требований может быть снято. Предварительно докажем лемму.

Лемма 1. *Пусть* **Q** *– произвольная область аффинного пространства;* $\mathbf{0_1}$, $\mathbf{0_2}$ *– любые две точки пространства;* $\mathbf{\Omega_1}$, $\mathbf{\Omega_2}$ *– инверсии относительно точек* $\mathbf{0_1}$ *и* $\mathbf{0_2}$. *Тогда: а) образы области* **Q** *при инверсиях* $\mathbf{\Omega_1}$, *и* $\mathbf{\Omega_2}$ *различаются только своим местоположением в пространстве – они смещены по отношению к друг другу на вектор* $\mathbf{2\overrightarrow{0_1 0_2}}$*; б) образ области* ***Q*** *при суперпозиции* $\mathbf{\Omega_2\Omega_1}$ *отличается от самой области* **Q** *только положе-*

нием в пространстве – он смещен относительно **Q** *на тот же вектор* **2** $\overrightarrow{\mathbf{0_1 0_2}}$.

Доказательство. В случае одномерного аффинного пространства справедливость леммы очевидна. Допустим, что пространство имеет размерность, не меньшую двух. Выберем произвольную точку $\mathbf{A} \in \mathbf{Q}$ и рассмотрим плоскость, проходящую через точки **A,** $\mathbf{0_1}$ и $\mathbf{0_2}$ (рис. 8).

Введем обозначения: **A′, A″, A‴** – образы точки **A** соответственно при инверсиях $\mathbf{\Omega_1}$, $\mathbf{\Omega_2}$ и при их суперпозиции $\mathbf{\Omega_2\Omega_1}$. Точки **A′ и A″** лежат в рассматриваемой плоскости, так как находятся на продолжениях содержащихся в ней отрезков $\mathbf{A0_1}$ и $\mathbf{A0_2}$; точка **A‴** тоже принадлежит этой плоскости, потому что располагается на продолжении отрезка $\mathbf{A'\,0_2}$. Из рис. 8 видно, что в треугольниках **AA′A″** и **AA′A‴** отрезок $\mathbf{0_1 0_2}$ является средней линией. Следовательно, $\overrightarrow{\mathbf{A'A''}} = \overline{AA'''} = 2\overrightarrow{\mathbf{0_1 0_2}}$, что в силу произвольности точки **A** и доказывает лемму.

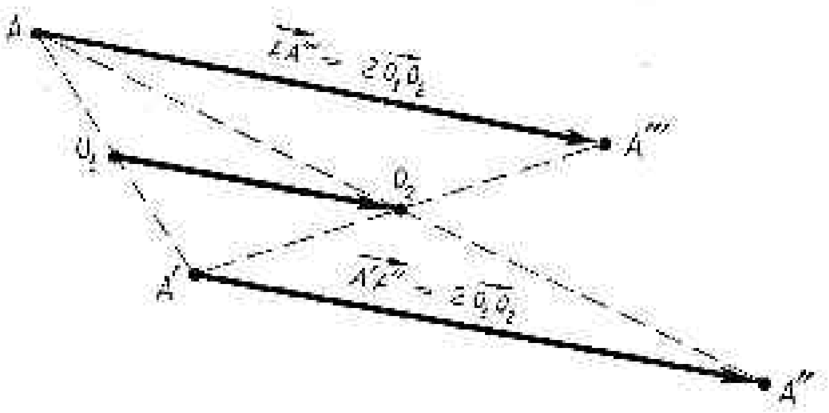


Рис. 8. Инверсии точки **A** аффинного пространства.
$\mathbf{O_1}$, $\mathbf{O_2}$ – центры инверсий; **A′**, **A″** – образы точки **A** при инверсиях относительно центров $\mathbf{O_1}$ и $\mathbf{O_2}$; **A‴** – образ точки **A** при суперпозиции инверсий

Применим лемму 1 ко всему физическому пространству-времени. При этом будем говорить о его образе и образах **M** и **S** при инверсиях как о самих этих объектах, находящихся в новых состояниях.

Из леммы 1 вытекает, что состояния физического пространства-времени после инверсии **Ω**, производимой относительно разных центров, различаются только взаимным смещением (трансляцией) его как целого на некоторый вектор. А так как в соответствии с постулатом III не существует тела отсчета, по отношению к которому можно было бы определить смещение всего физического пространства-времени, то такие его состояния физически не различимы. Поэтому закон симметрии (8.3) не зависит от местонахождения центра инверсии преобразования **Ω**.

Иначе обстоит дело с инверсиями **Ω** и $\mathbf{\Omega_м}$. Каждая из них при реализации ее относительно разных центров приводит к различным взаимным положениям Мира **M** и временной субстанции **S**, что, в принципе, может быть обнаружено. Согласно лемме 1 эти состояния Мира **M** и субстанции **S** различаются тем, что в них Мир **M** по-разному смещен относительно **S** вдоль самого себя (так как центры инверсий $\mathbf{\Omega_s}$ и $\mathbf{\Omega_м}$ лежат в **M**). Поэтому, если в число элементов симметрии субстанции **S** входят трансляции на произвольный вектор, параллельный **M**, иначе говоря, если субстанция **S** однородна вдоль каждой гиперплоскости одномоментных событий, то такие состояния физического пространства-времени также неразличимы и закон (8.3) выполняется вне зависимости от того, совпадают или нет центры инвенций $\mathbf{\Omega}_s$ и $\mathbf{\Omega}_м$**.**

Таким образом, если временная субстанция **S** однородна вдоль каждой гиперплоскости, параллельной нашему Миру **M**, то требование о том, чтобы инверсии, входящие в закон симметрии физического пространства-времени (8.3), имели в **M** общий центр, может быть снято. Приведем еще одно условие, которое тоже обеспечивает выполнение закона (8.3) вне зависимости от соблюдения указанного требования.

Рассмотрим случай, когда временная субстанция **S** симметрична относительно произвольной инверсии $\mathbf{\Omega}_s$ с центром в **M**. Так будет, например, если свойства субстанции **S** характеризуются однородными скалярными полями (но не векторными (!), так как преобразование $\mathbf{\Omega}_s$ меняет знаки векторов). Докажем следующую лемму.

Лемма 2. *Если пространственно-временная субстанция* **S** *симметрична относительно произвольной инверсии* $\mathbf{\Omega}_s$ *с центром, лежащим в гиперплоскости нашего Мира* **M***, то она однородна вдоль каждой гиперплоскости, параллельной* **M**.

Доказательство. Рассмотрим произвольную гиперплоскость **M′**, параллельную Миру **M**, и выберем на ней любые две точки **A** и **B,** принадлежащие временной субстанции **S**. Пусть $\mathbf{0}_1$**,** $\mathbf{0}_2$ –точки из **M**, удовлетворяющие условию $2\overrightarrow{\mathbf{0}_1\mathbf{0}_2} = \overrightarrow{\mathbf{AB}}$ (вследствие **M′** || **M**, такая пара точек существует, причем она не единственная). Обозначим через $\mathbf{\Omega}_{S1}$ и $\mathbf{\Omega}_{S2}$ инверсии временной субстанции **S** относительно соответственно центров $\mathbf{0}_1$ и $\mathbf{0}_2$**.** Подействуем на субстанцию **S** суперпозицией инверсий $\mathbf{\Omega}_{S2}\,\mathbf{\Omega}_{S1}$. Из леммы 1 вытекает, что в результате такой процедуры субстанция **S** сместится поступательно на вектор $2\overrightarrow{\mathbf{0}_1\mathbf{0}_2}$. При этом точка **A** перейдет в точку **B** исходного состояния субстанции, так как

$$\overrightarrow{\mathbf{AB}} = 2\overrightarrow{\mathbf{0}_1\mathbf{0}_2}.$$

По условию доказываемой леммы субстанция **S** симметрична относительно инверсии $\mathbf{\Omega}_s$. Следовательно, ее состояние после инверсии $\mathbf{\Omega}_{S1}$ неотличимо от исходного. Поэтому в инвертированном состоянии субстанция **S** симметрична относительно $\mathbf{\Omega}_{S2}$**.** Это означает, что суперпозиция инверсий $\mathbf{\Omega}_{S2}\,\mathbf{\Omega}_{S1}$ входит в число элементов симметрии субстанции **S**. А так как при преобразовании $\mathbf{\Omega}_{S2}\,\mathbf{\Omega}_{S1}$ точка **A** переходит в точку **B**, то из такой симметрии следует тождественность свойств субстанции **S** в точках **A** и **B**. В силу произвольности расположения этих точек на **M′**, отсюда вытекает, что субстанция **S** однородна вдоль всей гиперплоскости **M′**. Вследствие же произвольности **M′** субстанция **S** однородна вдоль каждой гиперплоскости, параллельной **M**, что и требовалось доказать.

Отметим, что утверждение, обратное утверждению леммы 2, не верно: из указанной в лемме 2 однородности временной субстанции **S** не следует ее $\mathbf{\Omega}_S$-симметричность. (Действительно, пусть субстанция **S** такова, что ее физические свойства характеризуются во всех точках одним и тем же вектором $\vec{s}$. Такая субстанция однородна не только вдоль гиперплоскостей, параллельных **M**, но и вообще всюду. Однако инверсия $\mathbf{\Omega}_s$ не является для нее элементом симметрии, так как она изменяет характеристику $\vec{s}$, преобразуя ее в $-\vec{s}$).

Ранее было показано, что если субстанция **S** однородна вдоль каждой гиперплоскости, параллельной Миру **M**, то закон симметрии (8.3) выполняется вне зависимости от совпадения в **M** центров входящих в этот закон инверсий. Отсюда и из леммы 2 вытекает еще одно условие, обеспечивающее выполнение закона (8.3) при произвольных центрах входящих в него инверсий. Это условие состоит в симметричности временной субстанции **S** относительно любой инверсии $\mathbf{\Omega_S}$ с центром в **M**.

Опишем некоторые свойства рассматриваемых преобразований.

Лемма 3.

$$\Omega^{-1} = \Omega; \ \Omega_M^{-1} = \Omega_M; \ \Omega_S^{-1} = \Omega_S; \ \Omega_{\vec{V}}^{-1} = \Omega_{\vec{V}}; \ \Omega = \Omega_S \Omega_{\vec{V}} \Omega_M, \quad (8.4)$$

где инверсии, входящие в одно равенство, имеют общий центр в **M** *и осуществляются в один момент времени.*

Доказательство. Из леммы 1 следует, что физическое пространство-время в результате суперпозиции двух пространственно-временных инверсий $\mathbf{\Omega}$, имеющих в **M** общий центр и осуществляемых в один момент времени, переходит само в себя. Это означает, что $\mathbf{\Omega\Omega = I}$. Отсюда вытекает равенство $\mathbf{\Omega^{-1} = \Omega}$. Аналогичные равенства имеют место и для преобразований $\mathbf{\Omega_M}$, $\mathbf{\Omega_S}$, $\mathbf{\Omega}_{\vec{V}}$, поэтому первые четыре из зависимостей (8.4) верны.

Из закона симметрии (8.3) следует, что $\mathbf{\Omega^{-1} = \Omega_S \Omega_{\vec{V}} \Omega_M}$. Отсюда с учетом соотношения $\mathbf{\Omega^{-1} = \Omega}$ получаем последнее из равенств (8.4), чем и завершается доказательство.

Последнее равенство в (8.4) можно трактовать как разложение пространственно-временной инверсии $\mathbf{\Omega}$ на составляющие операции – инверсию Мира **M**, обращение знака направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$ и инверсию временной субстанции **S**.

Приведем доводы, по которым пространственно-временная инверсия $\mathbf{\Omega}$ должна быть отнесена к элементам симметрии физического пространства-времени.

Преобразование $\mathbf{\Omega}$ обладает следующими свойствами. Оно, во-первых, является изометрией пространства Минковского, то есть сохраняет скалярные произведения векторов, во-вторых, сохраняет ориентацию субстанции **S**, что вытекает из положительности определителя преобразования $\mathbf{\Omega}$: $\mathbf{det\Omega = det(-}\boldsymbol{g}\mathbf{) = 1}$ (см. выражения (2.20), (8.1) и определение понятия одинаковости ориентаций [10, §36, с. 142]), в-третьих, переводит гиперплоскость нашего Мира саму в себя (так как центр инверсии лежит в ней) и, в-четвертых, переводит все световые конусы снова в световые конусы (что непосредственно следует из выражений (2.6) и (8.2)). Отсюда видно, что преобразование $\mathbf{\Omega}$ сохраняет неизменными основные геометрические характеристики физического пространства-времени.

Теперь обратим внимание на следующее обстоятельство. Об изменении параметров любой физической системы мы судим всегда по результатам измерения их с помощью некоторых считающихся неизменными приборов, проще говоря, по сопоставлению с соответствующими эталонами. Однако в том случае, когда эталон сам составляет часть исследуемой системы и изменяется вместе с ней, с его помощью, очевидно, уже невозможно обнаружить происшедшее изменение.

Как раз такой случай реализуется при преобразовании $\mathbf{\Omega}$. Все имеющиеся в нашем распоряжении эталоны являются частью физического пространства-времени и изменяются вместе с ним. Причем это изменение происходит таким образом, что эталоны, служащие для измерения одной и той же физической величины, изменяются одинаково (последнее вытекает из того, что всякий эталон определяется, в конечном, счете взаимным расположением в пространстве и времени каких-то физических объектов, а преобразование $\mathbf{\Omega}$, как следует из отмеченных выше его свойств, сохраняет неизменными взаимные расположения вообще всех точек физического пространства-времени). В связи с этим при изучении симметрии физического пространства-времени изнутри нашего Мира невозможно обнаружить изменения, вызываемые преобразованием $\mathbf{\Omega}$. Поэтому, как и утверждалось, есть все основания относить инверсию $\mathbf{\Omega}$ к числу элементов симметрии физического пространства-времени.

Следует отметить, что в приведенных рассуждениях неявно использован постулат III о том, что физическое пространство-время охватывает собой всю реальность. Действительно, если бы существовала некая материальная сущность, взаимодействующая с нашим Миром, но не относящаяся к физическому пространству-времени, то мы, хотя бы в принципе, могли бы путем сопоставления параметров Мира и этой сущности обнаружить изменения, вызываемые преобразованием $\mathbf{\Omega}$.

К примеру, такое было бы возможным, если бы указанная сущность характеризовалась пространственной неоднородностью. Тогда бы мы располагали системой отсчета, независимой от физического пространства-времени, и могли зафиксировать, что в результате преобразования $\mathbf{\Omega}$ некоторые объекты нашего Мира перемещаются по отношению к данной системе отсчета в места, где в исходном состоянии подобные объекты отсутствовали. Очевидно, что одного этого уже было бы достаточно, чтобы не причислять $\mathbf{\Omega}$ к элементам симметрии физического пространства-времени. Однако, так как такая независимая сущность не наблюдается в опыте, то мы не можем обнаружить изменения, вызываемые преобразованием $\mathbf{\Omega}$.

Итак, есть все основания полагать, что *группа симметрии физического пространства-времени, определяемая изнутри Мира* **M***, содержит пространственно-временные инверсии* $\mathbf{\Omega}$.

Из этого заключения следует, что при изучении симметрии физического пространства-времени изнутри нашего Мира закон (8.3) предстанет для нас в укороченной форме

$$\mathbf{\Omega_S \Omega^{\vec{V}} \Omega_M = I}. \qquad \textbf{(8.5)}$$

В частном случае $\mathbf{\Omega_s}$-симметричной субстанции **S** этот же закон будет иметь вид

$$\mathbf{\Omega^{\vec{V}} \Omega_м = I}. \qquad \textbf{(8.6)}$$

Подчеркнем, что в законах симметрии (8.5) и (8.6) находят отражение не только объективные свойства природы, но и особенности нашего восприятия их изнутри Мира. Поэтому эти законы могут быть использованы лишь с оговоркой о том, что они описывают симметрию физического пространства-времени *изнутри Мира*. Математически точную зависимость между входящими в эти законы операторами дают формула (8.3) и последнее из равенств (8.4).

При преобразовании $\mathbf{\Omega_м}$ правые объекты в нашем Мире превращаются в левые, «частицы» – в «античастицы» и наоборот. Вместе с тем, изнутри Мира нельзя обнаружить эти превращения, потому что одновременно подобным же образом изменяются и все эталонные тела, по сопоставлению с которыми мы можем судить о правизне или левизне объектов и о их принадлежности к «частицам» или «античастицам».

По этой причине результат преобразования $\mathbf{\Omega_м}$ будет восприниматься изнутри Мира не как превращение указанных объектов друг в друга, а как взаимное изменение тех их свойств, которые обусловлены взаимодействием с субстанцией **S**. Однако в том случае, когда именно эти свойства объектов являются определяющими (то есть по ним производится идентификация самих объектов), результат преобразования $\mathbf{\Omega_м}$ будет восприниматься уже действительно как взаимное превращение «частиц» и «античастиц», правых и левых объектов.

Предположим, что при преобразовании **Ωм** не происходит никаких иных изменений в Мире кроме взаимных превращений «частиц» и «античастиц», а также правых и левых объектов. Эти превращения могут рассматриваться как результаты двух преобразований: соответственно зарядового сопряжения **C** и пространственной инверсии **P**. Поэтому можно записать:

$$\mathbf{\Omega_м = CP},$$

где **P** имеет тот же центр инверсии, что и **Ωм**. Преобразование $\mathbf{\Omega}^{\vec{V}}$, заключающееся в обращении знака направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$, изменяет направление течения субстанции **S** относительно **M** на противоположное. Его можно отождествить с рассматриваемым в физике преобразованием обращения времени **T**, которое состоит в изменении знака временной переменной **t:** $\mathbf{\Omega}^{\vec{V}} = \mathbf{T}$**.** Подставляя в формулы (8.5) и (8.6) указанные значения преобразований $\mathbf{\Omega_м}$ и $\mathbf{\Omega}^{\vec{V}}$ и учитывая коммутативность преобразований, получаем выражения

$$\mathrm{CPT}\Omega_s = \mathrm{I}; \qquad (8.7)$$

$$\mathrm{CPT} = \mathrm{I}. \qquad (8.8)$$

Выражения (8.7) и (8.8) относятся к случаям, когда временная субстанция **S** соответственно не обладает и обладает $\mathbf{\Omega_s}$-симметрией. В выражении (8.7) инверсии **P** и $\mathbf{\Omega_s}$ должны иметь один и тот же центр (это условие не является обязательным, как доказано ранее, если субстанция **S** однородна вдоль каждой гиперплоскости, параллельной **M**).

Таким образом, в рамках описываемой модели наблюдаемые явления в нашем Мире характеризуются (при определенных условиях) следующей симметрией. Они $\mathbf{CPT\Omega_s}$-инвариантны в том случае, когда временная субстанция **S** не обладает $\mathbf{\Omega_s}$-симметрией, и **CPT**-инвариантны в случае $\mathbf{\Omega_s}$-симметричной субстанции **S**. В таком виде предстает симметрия физического пространства-времени при изучении ее изнутри нашего Мира.

Вместе с тем, наиболее полное описание симметрии физического пространства-времени при преобразованиях инверсии, причем не зависящее от конкретных физических свойств субстанции **S,** дается законом (8.3). Именно такой воспринял бы ее «сторонний наблюдатель», если бы мог «взглянуть» на физическое пространство-время со стороны.

Связь с CPT-теоремой. В разд. 6 были приведены доводы в пользу того, что введенные нами «частицы» и «античастицы» совпадают с реальными частицами и античастицами. Если это действительно так, то все преобразования в формуле (8.8) тождественны одноименным и так же обозначаемым преобразованиям, которые используются в физике. Поэтому сделанное выше заключение о симметрии физического пространства-времени может рассматриваться как аналог известной CPT-теоремы – фундаментальной теоремы квантовой теории поля [40].

Согласно данной теореме уравнения квантовой теории поля инвариантны относительно произведения трех преобразований: зарядового сопряжения **C**, пространственной инверсии **P** и обращения времени **T**. CPT-теорема трактуется обычно как наиболее общее выражение закона симметрии природы. Отметим, что вытекающая из нее симметрия соответствует в рассматриваемой нами модели частному случаю $\mathbf{\Omega}_s$-симметричной временной субстанции **S**, то есть случаю, который описывается формулой (8.8); в то же время симметрия, диктуемая более общей формулой (8.7), включает в себя преобразование $\mathbf{\Omega}_s$, не учитываемое CPT-теоремой. Самой же общей формулой, выражающей симметрию физического пространства-времени при инверсиях, подчеркнем еще раз, служит формула (8.3).

9. Случай собственно евклидова пространства-времени

Многие разделы физики, включая нерелятивистскую квантовую механику, целый ряд естественных наук – биология, химия, геология и другие – базируются в вопросе о свойствах времени и пространства на представлениях классической механики Ньютона. Преобразуем рассматриваемую субстанциональную модель пространства-времени к этому случаю.

В классической механике постулируется, что пространство и время являются абсолютными, то есть не зависят от состояний физических систем и протекающих в Мире процессов. Пространство считается трехмерным собственно евклидовым, время – одномерным, непрерывным и однородным (по своему геометрическому свойству длительности). Фактически время в классической механике является универсальным скалярным параметром, одинаково меняющимся (текущим) во всех точках пространства.

Так определенные пространство и время могут быть объединены в четырехмерное многообразие, обладающее геометрией вещественного собственно евклидова пространства сигнатуры (4, 0). Будем называть это многообразие, как и ранее, *пространством-временем.* Его метрическую форму обозначим через $\boldsymbol{g}+$.

Отметим, что трактовка пространства и времени, как единого четырехмерного многообразия, строго говоря, не эквивалентна трактовке их, как двух разных сущностей – трехмерного пространства и скалярного времени. Однако с позиции классической механики они предстают как равноправные. Дело в том, что в задачах, решаемых классической механикой, никогда не производятся операции, которым в модели единого евклидова пространства-времени соответствовало бы сложение пространственных и временных векторов. А в этом случае обе трактовки приводят к одинаковым результатам. Для того чтобы выявить различие между трактовками и установить, какая из них лучше описывает реальную действительность, необходимо исследовать ситуации, когда евклидовы свойства пространства-времени проявлялись бы в полной мере в частности, когда в описании физической системы участвовали бы векторы, отличные от чисто пространственных и чисто временных.

Зафиксируем в рассматриваемом «классическом» пространстве-времени ортогональную декартову систему координат, отвечающую некоторой инерциальной системе отсчета. Пусть $\{\vec{e}_0^{\,+},\ \vec{e}_1^{\,+},\ \vec{e}_2^{\,+},\ \vec{e}_3^{\,+},\}$ ортонормированный базис этой системы координат (здесь $\vec{e}_0^{\,+}$ – направляющий орт оси времени, остальные векторы – направляющие орты пространственных осей). В соответствии с определением ортонормированного репера и свойствами метрической формы $\boldsymbol{g}+$

$$\vec{e}_0^{\,+}\cdot\vec{e}_0^{\,+} = \vec{e}_1^{\,+}\cdot\vec{e}_1^{\,+} = \vec{e}_2^{\,+}\cdot\vec{e}_2^{\,+} = \vec{e}_3^{\,+}\cdot\vec{e}_3^{\,+} = +1;$$

$$\vec{e}_i^{\,+}\cdot\vec{e}_j^{\,+} = 0,\quad i \neq j;\quad i,\ j = 0,\ 1,\ 2,\ 3. \qquad (9.1)$$

В тензорном базисе, составленном из попарных тензорных произведений ортов репера, метрическая форма $\boldsymbol{g}+$ имеет следующий вид:

$$g^{+} = \vec{e}_0^{\,+}\vec{e}_0^{\,+} + \vec{e}_1^{\,+}\vec{e}_1^{\,+} + \vec{e}_2^{\,+}\vec{e}_2^{\,+} + \vec{e}_3^{\,+}\vec{e}_3^{\,+} \qquad (9.2)$$

(ср. выражения (9.1), (9.2) с выражениями (2.9) и (2.15)).

Рассматриваемая «классическая» модель пространства и времени полностью согласуется с основным положением теории относительности, согласно которому пространство и время образуют единое четырехмерное многообразие, но разнится с другим положением этой теории, наделяющим данное многообразие псевдоевклидовой (в общем случае псевдоримановой) геометрией.

Известно, что результаты расчетов, выполняемых по формулам специальной теории относительности, переходят в соответствующие результаты, получаемые в рамках классической механики, при устремлении к нулю безразмерного параметра **υ/c** (**υ** – скорость движения исследуемой физической системы; **c** – скорость света в вакууме). Вместе с тем, метрическая форма $\boldsymbol{g}$ псевдоевклидова пространства Минковского не допускает предельного перехода к метрической форме $\boldsymbol{g}+$ собственно евклидова пространства-времени, что сразу видно из сравнения выражений (2.15) и (9.2). В связи с этим модель пространства-времени классической механики должна строиться как самостоятельная, не выводимая из соответствующей модели теории относительности, хотя она и имеет с последней много общих черт.

Исходный постулат *субстанциональной модели пространства-времени* в рамках классической механики может быть сформулирован так.

Постулат I+. *Время и пространство есть единая четырехмерная субстанция; она наделена геометрией вещественного собственно евклидова пространства и обладает определенными физическими свойствами, благодаря которым взаимодействует с веществом, физическими полями и протекающими процессами.*

Назовем постулированный объект, как и ранее, *пространственно-временной* или просто *временной субстанцией* и обозначим через **S**. Дальнейшие определения и постулаты в данном случае практически дословно повторяют введенные в разд. 3-8, поэтому, не приводя их вновь, будем считать, что для «классической» модели выполняются постулаты II, III и определены понятия Мира **M**, физического пространства-времени, направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$, «частицы» и «античастицы», правой и левой системы, пространственно-временной инверсии $\mathbf{\Omega}$.

Отметим, что ситуация здесь оказывается даже несколько более простой, чем в рассмотренном ранее случае, потому что в собственно евклидовом пространстве-времени, в отличие от псевдоевклидова, гиперплоскость Мира **M** и направленность времени $\vec{\mathbf{V}}$ едины для всех систем координат, а оси времени во всех системах координат параллельны.

Возможность перенесения сформулированных ранее определений и постулатов на «классический» случай объясняется тем обстоятельством, что в них не используется в явном виде сигнатура метрической формы, более того, они вообще базируются в основном на аффинных свойствах пространства-времени, которые одинаковы в случаях собственно евклидовой и псевдоевклидовой геометрий.

В качестве исключения можно назвать лишь определение светового конуса. Понятие светового конуса, основывающееся на равенстве (2.6), в принципе не может быть введено в «классической» модели по причине отсутствия в собственно евклидовом пространстве-времени изотропных векторов (ненулевых векторов, имеющих нулевой скалярный квадрат).

Еще одно отличие «классической» модели от «релятивистской» относится к ее симметрии. Поскольку при анализе симметрии модели в разд. 8 не использовалась сигнатура метрической формы, то содержание разд. 8 может быть полностью перенесено на «классический» случай. Следовательно, «классическая» модель имеет в точности ту же симметрию при инверсиях, что и «релятивистская». Кроме того, для «классической» модели верно все сказанное в конце разд. 8 относительно связи закона симметрии модели с CPT-теоремой. Вместе с тем, в «классическом» случае, в отличие от «релятивистского», формулы (8.7) и (8.8), описывающие симметрию наблюдаемых явлений в нашем Мире, могут быть выведены не только с использованием дискретных преобразований инверсии, но также с помощью непрерывных преобразований вращения физического пространства-времени.

Отметим, что в «релятивистском» случае подобный способ вывода не может быть реализован из-за того, что в псевдоевклидовом пространстве-времени световой конус служит непреодолимой преградой для непрерывного вращения оси времени. Действительно, если бы ось времени при вращении могла переходить из внутренности светового конуса в его внешнюю область, то в момент пересечения ею светового конуса единичный вектор $\vec{\mathbf{e}}_0$ должен был бы обратиться в имеющий нулевой скалярный квадрат изотропный вектор, что невозможно.

Сформулируем для «классической» модели закон симметрии физического пространства-времени при преобразованиях вращения.

Предварительно напомним, что вращение осуществляется: в двухмерном пространстве вокруг точки, в трехмерном вокруг прямой, в четырехмерном вокруг плоскости. Будем именовать плоскость, вокруг которой производится вращение тела в четырехмерном пространстве, *плоскостью вращения* (аналогично тому, как в случае трехмерного пространства мы называем ось, вокруг которой вращается тело, осью вращения).

Заметим, что если материальные точки, образующие плоскость вращения, принадлежат поворачиваемому объекту, то они вращаются вместе с ним, подобно тому, как вместе с волчком или Землей вращаются атомы, находящиеся на их осях вращения. Мы отмечаем этот очевидный факт, чтобы подчеркнуть, что в случае вращения всего физического пространства-времени не остается принадлежащих ему материальных точек, по отношению к которым можно было бы зафиксировать такое вращение.

Введем следующие преобразования физического пространства-времени для «классической» модели:

$\mathbf{\Psi}$ – вращение физического пространства-времени как целого на угол 180° вокруг какой-либо плоскости, принадлежащей Миру **M**;

$\mathbf{\Psi}_\mathrm{M}$ – сужение преобразования $\mathbf{\Psi}$ на гиперплоскость нашего Мира **M**, то есть переворачивание Мира **M** другой стороной «вверх»; осуществляется вращением Мира **M** на 180° вокруг одной из принадлежащих ему плоскостей; оставляет без изменения временную субстанцию **S** и направленность времени $\vec{\mathbf{V}}$;

$\mathbf{\Psi}_\mathrm{S}$ – сужение преобразования $\mathbf{\Psi}$ на временную субстанцию S, то есть вращение субстанции **S** как целой на 180° вокруг некоторой плоскости, принадлежащей Миру **M**; производится без изменения Мира **M** и направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$;

$\mathbf{\Psi}^{\vec{V}}$ – обращение знака направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$, то есть изменение направления движения Мира **M** вдоль оси времени на противоположное (идентично преобразованию $\mathbf{\Omega}^{\vec{V}}$ из разд. 8).

Будем считать, что вращения $\mathbf{\Psi}$, $\mathbf{\Psi}_\mathrm{M}$, $\mathbf{\Psi}_\mathrm{S}$ не только поворачивают объекты, но и подобно преобразованиям $\mathbf{\Omega}$, $\mathbf{\Omega}_\mathrm{M}$, $\mathbf{\Omega}_\mathrm{S}$, изменяют определенным образом их векторные характеристики, а именно у каждой векторной характеристики обращают знаки тех двух из четырех ее составляющих, которые ортогональны плоскости вращения (они как бы поворачивают на 180° эти составляющие вместе с объектом). Очевидно, что вращения $\mathbf{\Psi}$, $\mathbf{\Psi}_\mathrm{M}$, $\mathbf{\Psi}_\mathrm{S}$ могут быть осуществлены непрерывным образом, то есть с помощью непрерывной системы изометрических преобразований соответствующего объекта.

Если Мир **M** имеет ненулевую толщину по направлению оси времени, то плоскости вращения всех преобразований должны принадлежать срединной гиперплоскости Мира.

Физическое пространство-время, как непосредственно видно из рисунка 2, перейдет само в себя, если произвести с ним следующие преобразования: перевернуть Мир **M** другой стороной «вверх» путем вращения вокруг некоторой лежащей в нем плоскости (преобразование $\mathbf{\Psi_M}$); изменить направление движения Мира вдоль оси времени на противоположное, то есть изменить знак направленности времени $\vec{\mathbf{V}}$ ($\mathbf{\Psi}^{\vec{V}}$) повернуть временную субстанцию **S** на 180° вокруг той же лежащей в **M** плоскости ($\mathbf{\Psi_S}$) и затем всю конструкцию целиком повернуть на 180° снова вокруг этой же плоскости (**Ψ**). Отсюда следует, что в «классическом» случае *закон симметрии физического пространства-времени при преобразованиях вращения* выражается формулой

$$\mathbf{\Psi\Psi_S\,\Psi^{\vec{V}}\,\Psi_M = I}, \qquad \mathbf{(9.3)}$$

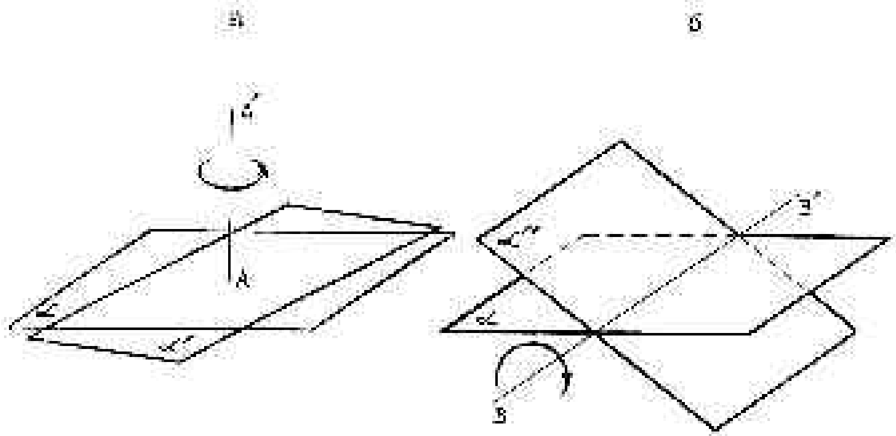
где **I** – как и ранее, тождественное преобразование. Здесь, подчеркнем, все преобразования должны производиться в один момент времени и, кроме того, должны совпадать плоскости вращения преобразований $\mathbf{\Psi}$, $\mathbf{\Psi_M}$, $\mathbf{\Psi_S}$. Требование о совпадении плоскостей вращения может быть снято, если временная субстанция **S** однородна вдоль каждой гиперплоскости, параллельной Миру **M**. Это доказывается способом, аналогичным тому, каким в разд. 8 доказано подобное утверждение в отношении формулы (8.3).

Дальнейшее содержание настоящего раздела посвящено выводу на основе закона симметрии (9.3) формул (8.3), (8.7) и (8.8).

Обозначим через $\mathbf{\Phi}$, $\mathbf{\Phi_м}$, $\mathbf{\Phi_s}$ вращения соответственно всего физического пространства-времени, Мира **M** и временной субстанции **S** как целых на 180° вокруг плоскости, проходящей через две пересекающиеся прямые, одна из которых лежит в **M**, а другая ортогональна **M** (то есть параллельна оси времени). По аналогии со случаем рассмотренных ранее вращений, будем считать, что вращения $\mathbf{\Phi}$, $\mathbf{\Phi_м}$, $\mathbf{\Phi_s}$ обращают знаки тех двух составляющих каждой векторной характеристики поворачиваемого объекта, которые ортогональны плоскости вращения.

Вращения $\mathbf{\Phi}$, $\mathbf{\Phi_м}$, $\mathbf{\Phi_s}$ могут быть осуществлены непрерывным образом, причем так, что каждая гиперплоскость одномоментных событий, принадлежащая поворачиваемому объекту, будет перемещаться при вращении только вдоль самой себя. Отметим, что вращения $\mathbf{\Psi}$, $\mathbf{\Psi_м}$, $\mathbf{\Psi_s}$ подобным свойством не обладают – любая непрерывная реализация этих вращений выводит гиперплоскости одномоментных событий из их «гиперплоскостей залегания». Пояснить это различие двух типов вращений можно на примере вращения двухмерной плоскости в трехмерном собственно евклидовом пространстве. При вращении плоскости вокруг оси, перпендикулярной к ней, она смещается вдоль самой себя (рис. 9*а*). В случае же вращения плоскости вокруг оси, лежащей в ней самой, она выходит из своей «плоскости залегания» (рис. 9*б*).

Рис. 9. Вращение двухмерной плоскости в трехмерном собственно



евклидном пространстве:
а – вокруг оси, перпендикулярной плоскости; б – вокруг оси, лежащей в плоскости. α – исходное положение плоскости; α ′ α″ – текущие положения плоскости при вращениях; АА′ и ВВ′ – оси вращения

Приведем две леммы, первая из которых описывает некоторые свойства рассматриваемых вращений, а вторая устанавливает взаимосвязь преобразований **Ψ, Φ, Ω**.

Лемма 4.

$$\mathbf{\Psi^{-1} = \Psi;\ \Psi^{-1}_M = \Psi_M;\ \Psi^{-1}_S = \Psi_S;\ \Psi^{-1}_{\vec V} = \Psi_{\vec V};\ \Psi = \Psi_S \Psi_{\vec V} \Psi_M;} \qquad \mathbf{(9.4)}$$

$$\mathbf{\Phi^{-1} = \Phi;\ \Phi^{-1}_M = \Phi_M;\ \Phi^{-1}_S = \Phi_S;\ \Phi = \Phi_S\, \Phi_M,} \qquad \mathbf{(9.5)}$$

где операторы, входящие в одно равенство, имеют общую плоскость вращения в **М** *и осуществляются в один момент времени.*

Доказательство. Очевидно, что физическое пространство-время после двух последовательных вращений на 180° вокруг одной и той же плоскости переходит в исходное состояние. Это означает, что **ΨΨ = I,** откуда вытекает $\mathbf{\Psi^{-1} = \Psi}$**.** Аналогичные равенства справедливы и для других преобразований вращения и обращения знака $\vec{\mathbf{V}}$, фигурирующих в выражениях (9.4), (9.5). Поэтому первые четыре равенства в выражении (9.4) и первые три равенства в выражении (9.5) верны. Последнее из равенств (9.4) очевидным образом вытекает из закона симметрии (9.3) и соотношения $\mathbf{\Psi^{-1}} = \mathbf{\Psi}$. Вращение **Φ** осуществляется вокруг плоскости, параллельной оси времени, поэтому оно сохраняет вектор $\vec{\mathbf{V}}$**,** характеризующий взаимное движение Мира **М** и временной субстанции **S**. Следовательно, преобразование **Φ** заключается только во вращении Мира **М** и субстанции **S**, что и отражает последнее из равенств (9.5). Таким образом, лемма доказана.

Лемма 5.

$$\mathbf{\Psi}\,(\alpha)\,\mathbf{\Phi}\,(\boldsymbol\beta) = \mathbf{\Phi}(\boldsymbol\beta)\,\mathbf{\Psi}(\alpha) = \mathbf{\Omega}\,(\alpha \cap \boldsymbol\beta), \qquad \mathbf{(9.6)}$$

где символы в скобках при операторах вращения и инверсии обозначают соответственно плоскость вращения и центр инверсии; **α** *– любая плоскость, лежащая в Мире* **М; β** *– плоскость, проходящая через пересекающиеся нормаль к* α*, лежащую в* **М***, и прямую, ортогональную* **М (**α ∩ **β** *– одноточечное множество). Аналогичные равенства выполняются для троек преобразований* $\mathbf{\Psi_M, \Phi_M, \Omega_M}$ и $\mathbf{\Psi_S, \Phi_S, \Omega_S}$.

Доказательство. Введем в физическом пространстве-времени ортогональную систему координат с началом в точке $\alpha \cap \boldsymbol{\beta}$, двумя осями, лежащими в плоскости α, и двумя другими осями, располагающимися в плоскости $\boldsymbol{\beta}$ (очевидно, что такая система координат существует). Произведем вращение $\boldsymbol{\Psi}$ физического пространства-времени вокруг плоскости α**.** Оно приводит к повороту на 180° координатных осей, находящихся в плоскости $\boldsymbol{\beta}$**.** Теперь подвергнем физическое пространство-время вращению $\boldsymbol{\Phi}$ вокруг плоскости $\boldsymbol{\beta}$. При этом повернутся на 180° оси, лежащие в плоскости α.

В итоге, направления всех четырех координатных осей оказываются обращенными. А так как вращения не изменяют взаимные расположения точек физического пространства-времени, то все его точки в новом состоянии имеют координаты в повернутой системе координат те же, какие они имели в этой системе координат в исходном состоянии. Следовательно, по отношению к системе координат в ее положении до вращения все точки физического пространства-времени меняют знаки своих координат, что означает обращение их радиусов-векторов. Векторные характеристики физического пространства-времени при этой процедуре также обращают свои направления, ибо вращение $\boldsymbol{\Psi}$ изменяет знаки двух их составляющих, перпендикулярных плоскости $\boldsymbol{\alpha}$, и вращение $\boldsymbol{\Phi}$ изменяет знаки двух составляющих, перпендикулярных плоскости $\boldsymbol{\beta}$**.** Отсюда вытекает, что суперпозиция вращений $\boldsymbol{\Psi\Phi}$ эквивалентна пространственно-временной инверсии $\boldsymbol{\Omega}$ с центром в начале координат $\alpha \cap \boldsymbol{\beta}$**.** Данный вывод, очевидно, не зависит от порядка осуществления вращений. Поэтому $\boldsymbol{\Psi\Phi} = \boldsymbol{\Phi\Psi} = \boldsymbol{\Omega}$, то есть верно равенство (9.6).

Приведенные рассуждения справедливы и в том случае, если заменить в них физическое пространство-время Миром **M** или временной субстанцией **S**, поэтому аналогичные равенства выполняются также для троек преобразований $\boldsymbol{\Psi}_\mathbf{M}$**,** $\boldsymbol{\Phi}_\mathbf{M}$**,** $\boldsymbol{\Omega}_\mathbf{M}$ и $\boldsymbol{\Psi}_\mathbf{S}$**,** $\boldsymbol{\Phi}_\mathbf{S}$**,** $\boldsymbol{\Omega}_\mathbf{S}$**.** Этим доказательство завершается.

Продолжим анализ симметрии модели.

Физическое пространство-время в результате двух последовательных вращений на 180° вокруг одной плоскости переходит само в себя, поэтому $\boldsymbol{\Phi\Phi} = \mathbf{I}$. Из леммы 4 вытекает, что $\boldsymbol{\Phi} = \boldsymbol{\Phi}_\mathbf{S}\boldsymbol{\Phi}_\mathbf{M}$**.** Объединение этих равенств дает $\boldsymbol{\Phi\Phi}_\mathbf{S}\,\boldsymbol{\Phi}_\mathbf{M} = \mathbf{I}$. Отсюда заключаем, что левая часть формулы (9.3) не изменит своего значения, если умножить ее на $\boldsymbol{\Phi\Phi}_\mathbf{S}\,\boldsymbol{\Phi}_\mathbf{M}$**.** Производя такое умножение и используя коммутативность преобразований, находим: $(\boldsymbol{\Psi\Phi})(\boldsymbol{\Psi}_\mathbf{S}\,\boldsymbol{\Phi}_\mathbf{S})\,\boldsymbol{\Psi}^{\vec{\mathrm{v}}}\,(\boldsymbol{\Psi}_\mathbf{M}\,\boldsymbol{\Phi}_\mathbf{M}) = \mathbf{I}$**.** Из этого выражения на основании леммы 5 и равенства $\boldsymbol{\Psi}^{\vec{\mathrm{v}}} = \boldsymbol{\Omega}^{\vec{\mathrm{v}}}$ получаем закон симметрии «классической» модели при инверсиях

$$\boldsymbol{\Omega\Omega}_\mathbf{S}\,\boldsymbol{\Omega}^{\vec{\mathrm{v}}}\,\boldsymbol{\Omega}_\mathbf{M} = \mathbf{I}, \tag{9.7}$$

здесь центры всех инверсий находятся в точке пересечения плоскостей вращения преобразований $\boldsymbol{\Psi}$ и $\boldsymbol{\Phi}$**.** Формула (9.7) совпадает с формулой (8.3) из разд. 8. Данный результат еще раз доказывает одинаковость симметрий «классической» и «релятивистской» моделей при инверсиях.

Теперь выведем формулы (8.7) и (8.8). Очевидно, что с помощью закона (9.7) это можно сделать тем же способом, что и в разд. 8. Мы, однако, поступим по-другому – получим эти формулы, исходя из закона симметрии (9.3).

Естественно допустить, что преобразование $\boldsymbol{\Psi}$ не приводит к наблюдаемым изменениям в Мире, так как в соответствии с постулатом III не существует никакого независимого от **M** и **S** тела отсчета, по отношению к которому можно было бы рассматривать поворот всей изображенной на рис. 2 конструкции. Поэтому при изучении симметрии физического пространства-времени изнутри Мира закон (9.3) будет иметь вид

$$\mathbf{\Psi_S \Psi^{\vec{V}} \Psi_M = I.} \qquad \mathbf{(9.8)}$$

Пусть $\mathbf{\Phi_M}$ – вращение вокруг плоскости, которая проходит через две прямые – лежащую в **M** нормаль к плоскости вращения преобразования $\mathbf{\Psi_M}$ и пересекающую эту нормаль прямую, ортогоналъную **M.** Тогда в соответствии с леммой 5

$$\mathbf{\Psi_M\, \Phi_M = \Omega_M,} \qquad \mathbf{(9.9)}$$

где центр инверсии $\mathbf{\Omega_M}$ совпадает с точкой пересечения плоскостей вращения преобразований $\mathbf{\Psi_M}$ **и** $\mathbf{\Phi_M}$. Отсюда видно, что инверсия Мира **M** может быть реализована с помощью двух последовательных вращений, одно из которых сопряжено с выходом Мира из его «гиперплоскости залегания», а другое производится движением Мира вдоль самого себя.

Ранее отмечалось, что инверсия $\mathbf{\Omega_M}$ приводит к взаимным переходам друг в друга «частиц» и «античастиц», а также правых и левых объектов. Предположим, как это мы делали в разд. 8, что других изменений в Мире при инверсии $\mathbf{\Omega_M}$ не происходит. В таком случае $\mathbf{\Omega_M = CP}$, где, напомним, **C** – зарядовое сопряжение; **P** – пространственная инверсия, здесь **P** имеет тот же центр инверсии, что и $\mathbf{\Omega_M}$. В разд. 8 указывалось, что $\mathbf{\Omega^{\vec{V}} = T,}$ где **T** – обращение времени. Используя выписанные значения преобразований $\mathbf{\Omega_M, \Omega^{\vec{V}}}$, а также выражение (9.9) и тот факт, что $\mathbf{\Psi^{\vec{V}} = \Omega^{\vec{V}}}$, приходим к равенствам

$$\mathbf{\Psi_M = CP}\,\Phi_M^{-1}\mathbf{;\ \Psi^{\vec{V}} = T.} \qquad \mathbf{(9.10)}$$

Подстановка этих значений преобразований $\mathbf{\Psi_M}$ и $\mathbf{\Psi^{\vec{V}}}$ в формулу (9.8) с учетом коммутативности преобразований дает

$$\mathbf{CPT\,\Phi_M^{-1}\,\Psi_S = I.} \qquad \mathbf{(9.11)}$$

Согласно лемме 4, $\mathbf{\Phi{=}\Phi_S\Phi_M}$, поэтому $\mathbf{\Phi\Phi_M^{-1} = \Phi_S.}$ Отбрасывая здесь преобразование $\mathbf{\Phi}$ как ненаблюдаемое изнутри Мира, имеем $\mathbf{\Phi_M^{-1} = \Phi_S.}$ Отсюда и из леммы 5 находим:

$$\mathbf{\Phi_M^{-1}\,\Psi_S = \Phi_S\,\Psi_S = \Omega_S,}$$

где, как легко убедиться, центр инверсии $\mathbf{\Omega_S}$ совпадает с центром преобразования **P**. Подстановка данного значения произведения $\mathbf{\Phi_M^{-1}\,\Psi_S}$ в равенство (9.11) дает искомую формулу

$$\mathbf{CPT\ \Omega_S = I.} \qquad \mathbf{(9.12)}$$

В частном случае $\mathbf{\Omega_S}$-симметричной временной субстанции **S** формула (9.12) принимает вид

$$\mathbf{CPT = I.} \qquad \mathbf{(9.13)}$$

Формулы (9.12) и (9.13) описывают симметрию физического пространства-времени при изучении ее изнутри Мира; они в точности совпадают с формулами (8.7) и (8.8) из раздела 8, полученными с помощью преобразований инверсии.

Таким образом, в случае «классической» модели использование как непрерывных преобразований вращения, так и дискретных преобразований инверсии приводит к одним и тем же заключениям о симметрии наблюдаемых явлений нашего Мира, причем эта симметрия оказывается той же, что и в «релятивистском» случае.

В целом о «классической» субстанциональной модели пространства-времени можно сказать, что результаты разд. 3-8 практически полностью применимы к ней; обусловлено это тем обстоятельством, что они базируются почти исключительно на аффинных (а не метрических) свойствах пространства-времени.

10. Вопрос, на который современная физика не дает ответа

Модели пространства и времени, рассматриваемые в классической механике, специальной и общей теориях относительности, релятивистской теории гравитации и в других физических теориях, обладают общей чертой: во всех моделях имеет место согласованность темпа течения времени в разных системах отсчета. Так, в классической механике, использующей представление об абсолютном времени, время вообще течет строго в одном темпе во всех системах отсчета. В специальной и общей теориях относительности, а также в других теориях темп течения времени в разных системах отсчета может различаться, но он связан для разных систем вполне определенной зависимостью. (Далее, ради краткости, будем упоминать только специальную и общую теории относительности, хотя делаемый вывод верен и для иных теорий.)

Из теории относительности известно, что темп течения времени определяется геометрией пространственно-временного многообразия, точнее, локальным значением метрической формы. Поэтому с математической точки зрения согласованность темпа течения времени есть следствие существования на пространственно-временном многообразии такого поля метрической формы, при котором ее значения в разных точках многообразия согласованы между собой, то есть, связаны определенной функциональной зависимостью. В специальной теории относительности поле метрической формы полагается однородным, поэтому указанная функциональная зависимость есть просто тождественное равенство. В общей теории относительности, где поле метрической формы может быть неоднородным, эта зависимость выражается в виде уравнений Эйнштейна.

Обсуждаемая общая черта моделей – согласованность темпа течения времени или, более общо, согласованность значений метрической формы в разных точках пространства-времени подтверждена опытом и, следовательно, верно отражает свойства природы. В связи с этим естественно задаться вопросом: ***«Какова причина согласованности темпа течения времени (значений метрической формы) в разных точках пространства-времени?».***

Отметим, что в дискуссиях, посвященных свойствам пространства и времени, иногда высказывается утверждение, что поскольку пространство и время есть первичные понятия физики, то в принципе неправомочно ставить вопрос о причинах, порождающих их свойства. Безусловно, нельзя не принимать во внимание такую возможность. Однако, по мнению автора, это представление, все же, не является удовлетворительным. Если уж придерживаться подхода к анализу физических реалий, допускающего запрет на постановку каких-то вопросов, то было бы более последовательным сразу принять единственную известную на настоящий момент полную и внутренне непротиворечивую картину бытия, которая гласит: «Всё от Бога, а Бог непознаваем».

Нереалистично было бы полагать, что согласованность, о котором идет речь, представляет собой просто случайное совпадение. В самом деле, даже если допустить, что при рождении Вселенной метрическая форма и вместе с ней ход времени были идеально согласованными во всех точках, но не имелось ничего, что в дальнейшем поддерживало бы согласованность, то за многие миллиарды лет эволюции Вселенной, безусловно, произошло бы рассогласование значений этих величин даже в близких друг к другу точках Вселенной, то есть время и метрическая форма фактически стали бы *случайными функциями* пространственных координат. Однако этого не произошло. Следовательно, остается признать, что существует некая объективная причина, более веская, чем простая случайность, которая обеспечивает согласованность.

Нетрудно убедиться в том, что в качестве такой причины не может выступать ни одно из известных физических полей или материальных тел. В самом деле, из общей теории относительности вытекает, что при устремлении энергии всех полей и масс всех тел к нулю пространственно-временное многообразие преобразуется из псевдориманова, отличающегося ненулевым значением тензора кривизны, в псевдоевклидово многообразие (пространство Минковского), в котором тензор кривизны тождественно равен нулю. При этом метрическая форма становится всюду одинаковой, а время начинает течь в одном темпе во всех взаимно неподвижных системах отсчета.

Таким образом, при переходе к случаю пустого пространства-времени обсуждаемая согласованность ни только не нарушается, но фактически обращается в полную тождественность. Поэтому действительно никакие физические поля и материальные тела не являются причиной согласованности темпа течения времени и значений метрической формы в разных точках пространства-времени.

Удивительно, что в физической литературе вопрос о причине согласованности метрики не исследуется. И вместе с тем очень подробно обсуждается такой эффект второго порядка, как возможность искажения метрики веществом и физическими полями, влияние которого в масштабе окружающей нас части Галактики пренебрежимо мало́. Причем на основании этого эффекта принимается концептуальное положение о том, что именно вещество и физические поля порождают метрику пространства-времени, – положение, считающееся решающим доводом в пользу реляционной концепции времени. Между тем, данное положение прямо противоречит тому факту, что в выражении для метрической формы главный член, отвечающий случаю пустого пространства-времени, никак не зависит от свойств вещества и физических полей.

Вот если бы общая теория относительности при переходе к предельному случаю отсутствия вещества и полей приводила к какому-либо не имеющему разумного смысла результату, например, если бы в этом случае время текло бесконечно быстро или, наоборот, совсем остановилось, либо если бы оно вообще не существовало (как не существует, к примеру, предел функции $\mathbf{sin(1/x)}$ при $\mathbf{x}$ стремящемся к нулю), то тогда, конечно, были бы все основания считать, что именно вещество и физические поля порождают метрику пространства-времени и даже само пространство-время. Однако в действительности это не так.

Таким образом, можно констатировать, что: во-первых, согласованность метрики в разных точках пространства-времени поддерживается какой-то объективной причиной, иначе говоря, имеется некий материальный объект, обеспечивающий согласованность, и, во-вторых, этим объектом заведомо не являются ни вещество, ни физические поля. Отсюда следует, *что в рамках современных физических теориях рассматривающих вещество и поля в качестве единственных материальных объектов, в принципе невозможно получить ответ на поставленный выше вопрос*.

Между тем, с помощью субстанциональной модели пространства-времени этот вопрос получает простое разрешение. Так как в соответствии с постулатом I носителем метрики пространства-времени является временная субстанция **S**, то можно со всей определенностью утверждать, что именно она и обеспечивает согласованность метрики в разных точках пространства-времени – эта согласованность есть непосредственное следствие единства свойств субстанции во всем ее объеме. Нужно, однако, отметить, что данное утверждение еще не полностью отвечает на интересующий нас вопрос. Дело в том, что представление о согласованности метрики, положенное в основу приведенных рассуждений, взято из современных физических теорий пространства и времени. Между тем, в этих теориях согласованность метрики является характеристикой не субстанции **S** (которая в них вообще не фигурирует), а вещества и полей. Поэтому высказанное утверждение о том, что именно субстанция **S** служит причиной согласованности метрики, необходимо дополнить объяснением того, *каким образом она передает веществу и полям свою метрику*. Такое объяснение оказывается очень простым, если Мир и временная субстанция взаимоотносятся некоторым вполне определенным образом. Следующий раздел посвящен детализации этого взаимоотношения.

11. Вещество и физические поля как структуры пространственно-временной субстанции

Рассматриваемая субстанциональная модель пространства-времени допускает различные варианты взаимоотношения нашего Мира (то есть вещества и физических полей) и временной субстанции **S.**

Согласно одному варианту наш Мир и субстанция **S** есть самостоятельные, независимые друг от друга физические реальности. На первый взгляд, такой вариант представляется правдоподобным, тем не менее, он не является удовлетворительным, потому что оставляет нерешенной проблему передачи метрики от субстанции **S** к веществу и полям. Ситуация усугубляется еще и тем обстоятельством, что вследствие независимости вещества и полей от субстанции **S** допустимо рассмотрение предельного случая, когда субстанция **S** отсутствует. Что происходит в этом случае? Остаются вещество и поля совсем без метрики или же они имеют какую-то свою особую метрику, причем в соответствии со сказанным в разд. 10 не согласованную в разных точках пространства-времени? Ответы на эти вопросы не просматриваются. Между тем, практика показывает, что если уже на исходном этапе развития теории она не дает ответа на подобные вопросы, касающиеся фундаментальных основ описываемого ею явления, то мало надежды на то, что она ответит на эти вопросы и после глубокой проработки.

Возможен, однако, иной вариант взаимоотношения Мира и временной субстанции, который мы и примем за основу. Он задается следующим постулатом.

Постулат IV. *Вещество и все физические поля, образующие наш Мир, не являются самостоятельными физическими реальностями, а есть специфические структуры пространственно-временной субстанции. В целом наш Мир представляет собой одиночную волну (наподобие солитона), распространяющуюся в пространственно-временной субстанции.*

Принятие данного постулата оправдано первичностью понятий пространства и времени по отношению к понятиям вещества и поля, которая проявляется в том, что первые могут, хотя бы в принципе, существовать без вторых, а вторые без первых не могут. В самом деле, представление о пространстве-времени Минковского, не заполненном веществом и полями, имеет вполне определенный смысл, потому что может быть совершенно точно описано математически. Представление же о материальном теле, не имеющем пространственных характеристик, в частности, не занимающем никакого (в том числе нулевого) пространственного объема, как и представление о материальном процессе, не имеющем временных характеристик, лишены физического содержания.

Примером такого, подчиненного типа взаимоотношения может служить отношение между кристаллом и содержащимися в нем дефектами кристаллической решетки – вакансиями, дислокациями и некоторыми другими. Наиболее близок к интересующему нас случаю пример дислокации. Для этого дефекта, являющегося элементарным носителем пластической деформации кристалла, выведено уравнение движения, введено понятие массы, вычислены силы, действующие на него со стороны других дефектов, и т. д., из чего видно, что дислокация выступает в соответствующей теории как самостоятельный материальный объект [41-44 и др.]. На самом же деле дислокация не является индивидуальным материальным телом. Ее нельзя вынуть из кристалла и отдельно от него изучить под микроскопом. Она есть просто особое состояние самого кристалла, специфическая структура в нем, и без кристалла дислокация не существует. Именно такое, подчиненное, взаимоотношение объектов, при котором один из них является всего лишь структурой другого, хотя он и ведет себя в некоторых аспектах как самостоятельное материальное тело, мы принимаем для описываемой модели.

Если временная субстанция **S** наделена псевдоевклидовой геометрией, то волна нашего Мира, о которой говорится в постулате IV, является, вообще говоря, различной в разных системах координат (хотя направления ее распространения для всех систем координат согласованы – см. разд. 2). Если же субстанция **S** наделена собственно евклидовой геометрией, то волна нашего Мира едина для всех систем координат. Отметим, что в обоих этих случаях волна нашего Мира имеет плоскую форму.

При распространении модели на случай, исследуемый общей теорией относительности, субстанция **S** будет обладать геометрией псевдориманова пространства. При этом в силу особых эффектов, описываемых данной теорией, как сама субстанция **S**, так и волна нашего Мира будут заметно искривлены около высокоэнергетических структур.

Влияние вещества и полей на геометрию временной субстанции можно пояснить на примере дисклинации – дефекта кристаллической решетки, родственного дислокации. Кристаллическая решетка в бездефектном состоянии имеет плоские атомные слои, а при создании в ней дисклинации приобретает такую деформацию, которая описывается ненулевым тензором изгиба-кручения [45].

В определенном смысле аналогичная ситуация имеет место и в случае субстанции **S**. Обладая при отсутствии вещества и полей геометрией плоского евклидова пространства, она приобретает при наличии последних геометрию искривленного риманова пространства, причем величина искривления около некоторой структуры тем больше, чем выше энергия (масса) данной структуры. Однако в связи с тем, что структуры, с которыми мы обычно имеем дело, вызывают очень малые искривления субстанции, в первом приближении этими искривлениями можно пренебречь.

Итак, согласно постулату IV вещество и поля есть некие структуры временной субстанции (типа сгущений, вихрей, дислокаций и тому подобного). При таком варианте взаимоотношения Мира и временной субстанции проблема передачи метрики от субстанции к веществу и полям, поставленная в разд. 10, разрешается сразу же. *Поскольку вещество и поля представляют собой особые состояния самой субстанции, то никакой специальной передачи метрики вообще не требуется – эти объекты уже исходно имеют общую с ней метрику.*

Нетрудно убедиться в том, что постулат IV оставляет без изменения все построения предыдущих разделов.

По-видимому, только одно из положений предыдущих разделов может вызвать сомнение в отношении возможности распространения его на данный случай. Оно состоит в использовании инверсий и вращений, преобразующих Мир **M** и временную субстанцию **S** по-отдельности друг от друга. (Такие преобразования применялись при анализе симметрии модели.) Правомерность использования этих преобразований легко пояснить опять же на примере дислокации в кристалле. Тот факт, что дислокация есть структура кристаллической решетки, как известно, не исключает возможности различного расположения ее относительно решетки. Так же и в случае Мира **M** то обстоятельство, что Мир представляет собой структуру временной субстанции, само по себе не служит препятствием для реализации различных расположений его по отношению к субстанции **S**. Вследствие этого, в данном варианте модели допустимо использование инверсий $\mathbf{\Omega}_M$, $\mathbf{\Omega}_S$ и вращений $\mathbf{\Psi}_M$, $\mathbf{\Psi}_S$, $\mathbf{\Phi}_M$ $\mathbf{\Phi}_S$ которые преобразуют Мир **M** и субстанцию **S** независимо друг от друга, поэтому все выводы о симметрии модели, сделанные в разд. 8 и 9, сохраняют силу и для варианта модели, включающего постулат IV.

Обсуждение данного варианта модели ограничим несколькими краткими замечаниями.

Представление о временной субстанции, удовлетворяющей постулату IV, очевидно, близко в некоторых отношениях к представлению квантовой теории поля о физическом вакууме, из которого рождаются частицы вещества. Вместе с тем, наша модель лишена той двусмысленности, которая присуща понятию физического вакуума. Последняя состоит в том, что термин «вакуум», происходящий от латинского слова vacuum, по самому своему смыслу означает пустоту, то есть отсутствие чего бы то ни было, и в то же время в квантовой теории поля вакуум наделяется определенными физическими свойствами, то есть фактически рассматривается как некий материальный объект. Безусловно, такая двусмысленность не способствует развитию теории.

В описываемом варианте модели соблюдается известный принцип Оккама [40, с. 187], согласно которому «сущности не следует умножать без необходимости». Здесь – вместо многочисленных типов вещества и физических полей вообще наличествует только одна сущность – временная субстанция, всё остальное – лишь ее структуры.

Тот факт, что современные физические теории успешно описывают свойства вещества и полей без привлечения представления об образующей их временной субстанции, не означает, что такая субстанция отсутствует. Напомним, что в конце XIX века также считалось [46, с. 32], что имеющиеся физические теории вполне достаточны для описания свойств вещества, хотя при этом ничего не было известно о составляющих его элементарных частицах. Кстати, современная физика успешно обходится без представлений о *жизни, человеке, сознании* (таких понятий просто нет ни в «Физическом энциклопедическом словаре», ни десяти томах «Теоретической физики» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица), из чего, все же, не следует, что эти явления отсутствуют.

Отличие введенной нами временной субстанции от известных моделей эфира состоит в следующем. Временная субстанция **S** четырехмерна, эфир – трехмерен. Субстанция течет сквозь наш Мир по нормали к нему, эфир неподвижен относительно Мира в целом (в связи с чем он зачастую рассматривается в качестве абсолютной системы отсчета). Субстанция S обладает псевдоевклидовой геометрией и поэтому удовлетворяет всем положениям теории относительности, эфир обычно наделяется геометрией собственно евклидова пространства, что приводит к противоречиям с теорией относительности.

Причина, по которой временная субстанция до сих пор не обнаружена экспериментально, может объясняться тем обстоятельством, что имеющиеся физические приборы и наши органы чувств способны взаимодействовать только с веществом и физическими полями, а не непосредственно с образующей их временной субстанцией.

Здесь снова можно провести параллель с кристаллом, содержащим дислокацию. Известно [41], что в неограниченном кристалле на покоящуюся прямолинейную дислокацию не действуют силы со стороны кристаллической решетки. И только в процессе движения дислокации кристаллическая решетка оказывает на дислокацию воздействие, препятствующее ее движению (так называемое сопротивление Пайерлса). Но и это воздействие в целом ряде кристаллов пренебрежимо мало по сравнению с тормозящим воздействием со стороны других дефектов. Поэтому можно сказать, что дислокация как бы не ощущает содержащего ее кристалла; иначе говоря, «с точки зрения» дислокации никакого кристалла вообще не существует, а имеются только она сама и другие подобные дефекты. Точно так же и наши чувственное и инструментальное ощущения могут обманывать нас, говоря об отсутствии временной субстанции, хотя из нее-то, возможно, мы и состоим.

Таким образом, предложенная субстанциональная модель пространства-времени в варианте, включающем постулат IV, без труда разрешает вопрос о причине согласованности метрики в разных точках пространства-времени – вопрос, который не имеет ответа в современных физических теориях. Этот вариант модели сводит свойства всех физических объектов нашего Мира к свойствам временной субстанции. Дальнейшее развитие модели должно состоять в конкретизации физических свойств субстанции, удовлетворяющих постулатам I-IV.

12. Заключение

Пространство-время, как четырехмерная субстанция, и движущийся сквозь нее наш трехмерный Мир – основные черты предложенной модели. В ней получают ясный смысл понятия течения времени и его направленности, легко доказывается утверждение о симметрии Мира, аналогичное CPT-теореме квантовой теории поля, способ задания систем координат в пространстве-времени приводится в соответствие с принятым в механике. Показано, что наблюдающиеся зеркальная асимметрия Мира и асимметрия его по отношению к частицам и античастицам могут быть следствиями воздействия на Мир пространственно-временной субстанции. Предложен вариант модели, в котором наш Мир есть специфическая структура пространственно-временной субстанции. Получение всех этих результатов не потребовало знания физических свойств субстанции. Конкретизация последних – предмет дальнейших исследований.

Результаты Н. А. Козырева, касающиеся свойств времени, и итоги настоящей работы представляют собой лишь начальный этап в развитии субстанциональной модели пространства-времени, но и они свидетельствуют о том, что данная модель заключает в себе большой потенциал возможностей. Поэтому на вопрос, вынесенный в заголовок статьи, – «Что может дать субстанциональная концепция времени?» – ответ таков: *эта концепция может дать более глубокое и адекватное реальности, нежели имеющееся, понимание сути пространства и времени – базисных понятий естествознания.*

Некоторые из вопросов, рассмотренных в настоящей статье, ранее затрагивались в работах [47-50].

Автор выражает глубокую признательность за обсуждение статьи и полезные замечания, способствовавшие уточнению ряда положений теории, А.Д. Александрову, В.А. Антонову, Э.Л. Аэро, А.А. Вакуленко, С.И. Васильеву, Ю.М. Далю, С.Е. Козлову, Ю.И. Копилевичу, А.В. Кривову, А.П. Левичу, В.М. Ломовицкой, К.Л. Малышеву, В.В. Орлову, Ю.А. Ромашову, А.В. Солдатову, А.Д. Чернину, В.А. Швецовой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молчанов Ю.Б. Четыре концепции времени в философии и физике. – М.: Наука, 1977. – 192 с.
2. Пространство и время // Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – С.592.
3. Чернин А.Д. Физика времени. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 222 с. – (Библиотечка «Квант»; Вып. 59).
4. Козырев Н.А. Избранные труды. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – 448 с.
5. Вакуленко А.А. Полилинейная алгебра и тензорный анализ в механике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1972. – 64 с.
6. Вакуленко А.А. Некоторые применения теории тензорных функций при построении определяющих соотношений // Новожиловский сборник. – СПб.: Судостроение, 1992. – С. 41-48.

7. Кострикин А.И., Манин Ю.И. Линейная алгебра и геометрия. – 2-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 304 с.
8. Ленг С. Алгебра: Пер. с анг. – М.: Мир, 1968. – 564 с.
9. Математическая энциклопедия: В 5т. – М.: Сов. энциклопедия, 1977 – 1985.
10. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. – 3-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1967. – 664 с.
11. Александров А.Д. Теория относительности как теория абсолютного пространства-времени / А.Д. Александров // Проблемы науки и позиция ученого. – Л.: Наука. Ленинг. отд-е, 1988. – С. 120-169.
12. Александров А.Д. Пространство и время в современной физике / А.Д. Александров // Проблемы науки и позиция ученого. – Л.: Ленингр. отд-е, 1988. – С. 92-119.
13. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности: Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 144 с.
14. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – 7-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1988. – 512 с. – (Теоретическая физика; Т. 2).
15. Логунов А.А. Лекции по теории относительности и гравитации: Современный анализ проблемы. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 272 с.
16. Минковский Г. Пространство и время // Принцип относительности: Сб. работ по специальной теории относительности. – М.: Атомиздат, 1973. – С. 167-180.
17. Окунь Л.Б. Понятие массы. (Масса, энергия, относительность) // Успехи физических наук. – 1989. – Т.158. – Вып.3. – С. 511-530.
18. Окунь Л.Б. Фундаментные константы физики // Успехи физических наук. – 1991. – Т.161. – №9. – С. 177-194.
19. Паули В. Теория относительности: Пер. с нем. – 2-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 336 с. – (Библиотека теоретической физики).
20. Пенроуз Р., Риндлер В. Спиноры и пространство-время. Два-спинорное исчисление и релятивистские поля: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 528с.
21. Поляхов Н.Н. Что привнесли теория относительности и квантовая механика в классическую механику. – М.: [Б. и.], 1988. – 40 с. – (Препринт №330 / Институт проблем механики АН СССР).
22. Сазанов А.А. Четырехмерный мир Минковского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 224 с. – (Проблемы науки и технического прогресса).
23. Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология: Пер. с англ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 520 с.
24. Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
25. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. – 2-е изд. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1961. – 564 с.
26. Хокинг С. От большого взрыва до черных дыр: Краткая история времени: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 168 с.

27. Эйнштейн А. К электродинамике движущегося тела // Принцип относительности: Сб. работ по специальной теории относительности. – М.: Атомиздат, 1973. – С. 97 – 117.
28. Движение // Математическая энциклопедия: в 5 т. Т. 2. – М.: Сов. энциклопедия, 1979. – Стб. 20-22.
29. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. – 3-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1976. – 584 с. – (Теоретическая физика; Т. 5).
30. Пенроуз Р. Сингулярности и асимметрия по времени // Общая теория относительности: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – С. 233-295.
31. Рейхенбах Г. Направление времени: Пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 396 с.
32. Рейхенбах Г. Философия пространства и времени: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1985. – 344 с.
33. Уитроу Дж. Естественная философия времени: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1964. – 432 с.
34. Мостепаненко А.М. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. – Л.: Наука. Ленингр. отд-е, 1969. – 230 с.
35. Мостепаненко А.М. Пространство и время в макро-, мега- и микромире. – М.: Изд-во политич. лит., 1974. – 240 с. – (Над чем работают и о чем спорят философы).
36. Хриплович И.Б. Несохранение четности в атомных явлениях. – 2-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат., 1988. – 288 с.
37. Каттерфельд Г.Н., Галибина И.В. Основные проблемы астрономической геологии // Космическая антропоэкология: Техника и методы исследований: Материалы Второго Всесоюзного совещания по космической антропоэкологии, Ленинград, 2-6 июня 1984 г. – Л.: Наука. Ленингр. отд-е, 1988. – С. 164 – 179.
38. Кизель В.А. Физические причины диссимметрии живых систем. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит., 1985. – 120 с. – (Современные проблемы физики).
39. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1988. – 520 с.
40. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. – 2-е изд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит., 1988. – 272 с.
41. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций: Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1972. – 600 с.
42. Шихобалов Л.С. Уравнение движения дислокации в модели сплошной среды (теория) // Проблемы механики деформируемого твердого тела. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. – С. 73-97. – (Исследования по упругости и пластичности; Вып. 14)
43. Шихобалов Л.С. Уравнение движения дислокаций в модели сплошной среды (сравнение с экспериментом) // Исследования по упругости и пластичности. Вып. 12. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – С. 134 – 153.
44. Шихобалов Л.С. Один метод решения динамических задач теории дислокаций // Проблемы современной механики разрушения. – Л.: Изд-во

Ленингр. ун-та, 1990. – С. 186-198. – (Исследования по упругости и пластичности; Вып. 16).

45. Вит Р. де. Континуальная теория дисклинаций: Пер.с англ. – М.: Мир, 1977. – 208 с. – (Механика: Новое в зарубежной науке; Вып. 9)
46. Физики шутят: Сборник переводов. – М.: Мир, 1966. – 168 с.
47. Шихобалов Л.С. Возможная интерпретация физических свойств времени, исследованных Н.А. Козыревым, с позиции механики // В.И. Вернадский и современная наука: Тезисы докладов Международного симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения В.И. Вернадского, Ленинград, 4 марта 1988 г. – Л.: Наука. Ленингр. отд-е, 1988. – С. 104 – 106.
48. Шихобалов Л.С. О направленности времени. – Л., 1988. – 17 с. – Деп. в ВИНИТИ 01.12.88, №8489-В88.
49. Шихобалов Л.С. Субстанциональная модель пространства-времени // Проблема первоначала мира в науке и теологии: Материалы Международного семинара, Санкт-Петербург, 27-29 ноября 1991г. – СПб.: [Б. и.], 1991. – С. 51.
50. Шихобалов Л.С. Причинная механика Н.А. Козырева: анализ основ // Козырев Н.А. Избранные труды. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – С. 410-431.