Output of formulas for transforming the coordinates of physical space

Вывод формул преобразования координат физического пространства

Valery Timin

(March 22, 2021)

Russia, RME

In this paper, we derive the transformation equations for the orthonormal coordinates of the physical relativistic and Galilean spaces based on the general transformations of the coordinates of an arbitrary linear space. The derivation of equations for the Galileo, Lorentz, and Tangerlini transformations is considered. (Translated by Yandex Translator Яндекс–Переводчик)

В данной работе производится вывод уравнений преобразования ортонормированных координат физического релятивистского и галилеева пространств на основе общих преобразований координат произвольного линейного пространства. Рассмотрены получение уравнений для преобразований Галилея, Лоренца и Тангерлини.

Оглавление

1. Вывод формул преобразования координат физического пространства

Переход из одной системы координат в другую называется преобразованием системы координат. Чаще всего преобразование координат производится для перехода к более простой или более удобной для анализа математической модели. Например, уравнения некоторых плоских кривых в полярных координатах существенно проще, чем в декартовых, а для исследования осесимметричных тел удобно направить одну из осей координат вдоль оси симметрии.

В физике преобразования координат также связаны с более удобной системой отсчета. Очень удобными для него оказываются ортогональные и в то же время нормированные системы координат и орто– (и/или) –нормированные преобразования координат. Это связано с тем, что именно в этих случаях удобно пользоваться абстрактными математическими и практическими физическими эталонами. Но здесь задача осложняется тем, что свойства реального пространства и его модели, точнее, пространства-времени, изначально не известны. И поэтому перед физиком стоит задача не только в получении удобных преобразований координат, но и предварительное знание его свойств при переходе в другую систему отсчета.

Выбор описания физического пространства-времени с т.з. математики

Рассмотрим с т.з. математики, какими могут быть физические пространство, время и их свойства с т.з. классической не квантовой физики.

Математически в возможны следующие пространства: евклидово, галилеево, релятивистское и "псевдогалилеево" (определение мое). Про евклидово пространство мы все знаем – она вокруг нас. Галилеево пространство используется в классической механике и его мы все изучали в школьной физике – она тоже вокруг нас, но она содержит еще и "время" как своя неотъемлемая составляющая, и совместно пространственными координатами позволяющая определить инерциальные системы отсчета (ИСО). Релятивистское пространство использовал А.Эйнштейн для формулирования специальной теории относительности, и также как галилеево пространство, совместно пространственными координатами позволяет определить ИСО, но уже релятивистское. А "псевдогалилеево" пространство используют некоторые альтернативные физические "теории светоносного эфира" на основе всепроникающего "эфира".

С т.з. кухни мы все знаем, или считаем, что знаем, **что такое пространство и время**. Мы это знаем с т.з. практического и интуитивного знания. Т.е. знаем, что **пространство – это то, что окружает нас**. Мы в ней можем пойти вперед и назад, влево и вправо. Можем подпрыгнуть и присесть. Эти наши потенциальные возможности говорят о том, что нас окружает 3-мерное пространство. Также со школы мы знаем, что это наше пространство математически очень хорошо описывается геометрией Евклида. С т.з. этой геометрии она состоит из точек, прямых и плоскостей, в совокупности составляющих 3-мерное пространство, в котором справедливы аксиомы Евклида. И это хорошо подтверждается практическими измерениями расстояний и углов. А также наличием параллельных и перпендикулярных прямых. С т.з. современной математики, такое пространство можно описать через декартовы ортонормированные координаты.

Еще есть время – предмет споров множества поколений мыслителей всех эпох и времен, философов, физиков и не физиков, ученых и не ученых. Простых обывателей на кухне. А с т.з. математики, точнее, той же геометрии, это всего лишь одномерное евклидово пространство, состоящее всего лишь из одной прямой. Но какой! И совместно с пространством она дает нам свободу передвижения в пространстве, в конце концов – жизнь и свободу. Через нее определяются ИСО. В ней мы живем, дышим, думаем, движемся.

А что особенно важно знать о времени? А то, что мы все знаем о ней, и которое описывается понятием "одновременность". Интуитивно мы понимаем его как то, что происходит одновременно во всем пространстве, окружающем нас. А физики и математики это наше интуитивное понятие облекают в форму постулирования и аксиоматизации.

Я не буду выделять один ни из видов пространства, упомянутых выше, как единственное и абсолютно верное как абстрактная модельное определение реального пространства-времени. Тем более, в физике такого быть не может. Любая теория не верна в том смысле, что она всегда ограничена областью применения. Что верно, показывает эксперимент, опыт. И только они являются арбитрами в этом вопросе. Но все эти пространства объединяет одна математическая дисциплина – линейная и/или векторная алгебра, а разделяют их соответствующие им ортонормированные преобразования координат, и у каждого из них имеется своя физическая интерпретация. И их свойства можно изучить как свойства математического объекта. А затем проверить в экспериментах.

О неоднозначности описания объективного реального пространства координатами и его не реальности. Об этом косвенно уже было сказано чуть выше – неоднозначность описания координатами кроется в возможности выбора начала координат, направления осей координат и состояния движения его начала координат. Соответственно этому в математике имеется и метод изменения описания координатами путем изменения системы отсчета. При этом к этим операциям имеются ограничения, определяемые соответствующей теорией пространства, времени и материи. В том понимании, в котором построена соответствующая теория пространства. Обычно математики в этом случае говорят, что множество всех преобразований пространства составляет некоторую замкнутую в себе группу. Это примерно соответствует тому, что если A и B – преобразования, то и их композиция $A \otimes B$ – тоже в этой же группе. Четыре такие "группы" были описаны выше.

А "не реальность" – действительно, в реальном пространстве-времени не наблюдается координатной сетки. И физики, и математики как-то не наблюдается. Координаты – это не объективная реальность. Это его описание доступными человеку средствами в его мозгу. Некоторые в обсуждениях ставят мне в претензию этот пункт, говоря, что есть реальность и "реальность", что я считаю реальностью физику и ее математическую абстракцию. Это, конечно, не так.

Рассмотрим их.

Необходимая операция для создания любого ИСО – это определение начала системы отсчета, координатной сетки с синхронизированными часами и расстояниями и его движения. Математически это означает определение соответствующего метрического тензора, а физически – согласование с практическими эталонами. Синхронизация часов необходима для определения "слоя" пространства одновременности с тем, чтобы в этом слое пространства физическое время было одним и тем же. Физическое время – это время, показываемое практическими эталонными часами (в теории – теоретическими). Синхронизация эталонов длины необходима для согласоввния физически измеренных расстояний между любыми точками ПВ.

Я не буду давать определение одновременности, т.к. считаю, что это в каком-то смысле интуитивно понятное человеку понятие. Абстрактно одновременность определяется аксиоматически одной и той же координатой времени в некоторой группе преобразований через понятие синхронизации часов. В физике одновременность определяется некоторой процедурой синхронизации часов. В классической физике, основанной в галилеевом пространстве как модели, часы абсолютны и любые часы в любом месте и в любое время синхронизированы.

В произвольном пространстве с ИСО, в т.ч. волновом, абсолютность времени и расстояний уже не обязаны быть аксиомой, да и скорость их хода может зависеть и от места, и от скорости движения. Это – следствие из возможных вариантов математической модели пространства-времени. Единственное условие – при совмещении в одной точке пространства в одно и/или то же время в одном и том же состоянии движения – их скорости хода должны быть одинаковыми, или синхронными. В этом случае невозможно определить, что они ходят не одинаково. А для этого необходимо определить механизм генерации "эталонных" часов с синхронизацией независимо от места и времени ГП. Доказательством этих положений может быть существование по крайней мере двух принципиально различных, не сводимых друг к другу моделей ПВ – это галилеево пространство и релятивистское "волновое" пространство СТО.

1. Общие преобразования координат

Все мы представляем преобразования координат галилеева пространства:

$$\begin{cases} t' = t, \\ r'^i = -vt + r^i, \end{cases}$$

результатом которых является закон сложения скоростей галилеева пространства классической механики:

$$v'' = v' + v''$$

(здесь и далее в основном я буду пользоваться двумерным пространственным бустом (t, $r \sim r^i$) "пространство-время", а для евклидова – (x, y)). Альтернативой галилеевым преобразованиям координат "время" и "расстояние" является общее линейное преобразование координат ПВ:

$$\begin{cases} t' = \alpha t - \lambda r^i, \\ r'^i = -\gamma t + \beta r^i. \end{cases} \tag{1.1}$$

Обратными к ним преобразованиями являются следующие:

$$\begin{cases} t = \dfrac{\beta t' + \lambda r'^i}{\alpha\beta - \lambda\gamma}, \\ r' = \dfrac{\gamma t' + \alpha r'^i}{\alpha\beta - \lambda\gamma}. \end{cases} \tag{1.2}$$

Зависимость α, β, λ и γ предполагаются от направления осей координат (в физике – скорости v новой системы отсчета): $\alpha(v)$, $\beta(v)$, $\lambda(v)$ и $\gamma(v)$. В физических приложениях размерность параметра λ здесь выражается в единицах, обратных скорости – в [с/м] (секунды на метр), γ – в единице скорости – [м/с], параметр α и β безразмерны.

Преобразования (1.1) в представленном виде не несут какой-либо полезной информации о ПВ: это – просто набор возможных линейных преобразований координат без какого-либо полезного физического смысла. Для придания смысла необходимо определить ее материальный физический или абстрактный геометрический смысл или интерпретацию. Этот смысл кроется в ее физических/геометрических понятиях времени и расстояний[1], что отображается в эталоны длины и времени.

Будем считать, что Время – это то, что отсчитывают наши часы, покоящиеся в нашей ИСО. А расстояния – это то, что мы можем измерить с помощью наших линеек, прикладывая ее между двумя точками в одно и то же время. Измерения производятся с помощью эталонных приборов. И два одинаковых эталона равны друг другу везде и всегда, независимо от того, как они попали в место их сравнения. В противном случае нельзя сказать, что Природа познаваема и эксперименты повторимы. Это верно как для однородного и изотропного пространства, так и неоднородного, не изотропного и искривленного в т.ч.

[1] Непосредственно через (1.1) этот смысл можно задать через использование метрических тензоров. Такой способ используется при использовании тензорного исчисления. Для однородных изотропных пространств удобнее пользоваться ортонормированными преобразованиями координат.

2. Группа общих ортонормированных преобразований координат

Среди всех преобразований имеется группа ортонормированных преобразований координат. В таком случае уравнения преобразования координат общего типа пространств (1.1) первая строка будет определять условие синхронизации часов в новой системе координат и относительную скорость ее хода, определяя этим слой одновременности, а вторая – перемещение начала координат во времени и ее новую разметку, через которую определяются расстояния. При этом подпространство t = const для каждой из ИСО будет подпространством одновременных событий.

Для (1.1) это означает выполнение некоторых условий. Из линейной алгебры известно, что п**араметры группы общих ортонормированных преобразований координат** пространств (1.1) обладают следующими свойствами:

$$\alpha\beta - \lambda\gamma = 1. \tag{1.3}$$

Это уравнение говорит о том, что определитель матрицы преобразований координат должен быть равен единице. Оно говорит о том, что координатный "объем" возможных преобразованных объектов не может измениться. Дополнительные свойства относятся к строкам и столбцам матрицы преобразований:

$$\begin{cases} \alpha^2 \pm \lambda^2 = 1, \\ \beta^2 \pm \gamma^2 = 1, \\ \alpha\gamma \pm \beta\lambda = 0. \end{cases} \begin{cases} \alpha^2 \pm \gamma^2 = 1, \\ \beta^2 \pm \lambda^2 = 1, \\ \alpha\lambda \pm \beta\gamma = 0. \end{cases} \tag{1.4}$$

Отрицательные знаки в формуле соответствуют гиперболической (псевдоевклидовой) метрике соответствующего пространства, а положительные – евклидовой. Уравнения первых двух строк являются квадратами соответствующих строк и столбцов псевдоевклидова и евклидова пространств. Они должны быть равны единице – в силу своей нормированности. Третьи строки есть перекрестные произведения первых строк или столбцов друг на друга. Они должны быть равны нулю – в силу их взаимной ортогональности.

Это общие свойства тензоров. Из них следует только то, что α и β, а также λ и γ должны быть попарны равны друг другу или иметь противоположные знаки. И общее уравнение для ортонормированных преобразований координат будет следующим:

$$\begin{cases} \alpha = \beta, \\ \gamma = \pm\lambda \to \alpha = \sqrt{1 \mp \gamma^2}, \beta = \sqrt{1 \mp \lambda^2}. \end{cases} \tag{1.5}$$

Несмотря на большое количество уравнений с условиями, они не могут дать однозначного решения для параметров уравнений группы ортонормированных преобразований координат. Но есть общий вывод, который можно получить из этих свойств и решений: знание любого из параметров α, β, λ и γ полностью определяет все остальные параметры матрицы преобразований, и они все зависят от одного единственного параметра. Для примера рассмотрим следующую простую зависимость, при условии, что параметр γ нам известен. Тогда, в соответствии с приведенными свойствами, (1.1) для псевдоевклидова пространства имеет решение:

$$\begin{cases} t' = \sqrt{1 + \gamma^2} t - \gamma r^i, \\ r'^i = -\gamma t + \sqrt{1 + \gamma^2} r^i. \end{cases} \tag{1.6}$$

А для евклидова случая следующее решение:

$$\begin{cases} t' = \sqrt{1-\gamma^2}t + \gamma r^i, \\ r'^i = -\gamma t + \sqrt{1-\gamma^2}r^i. \end{cases} \tag{1.7}$$

Можно проверить, что эти преобразования ортогональны и нормированы при любом значении параметра γ.

Рассмотрим, что за величина сохраняется при общих ортонормированных преобразованиях координат (1.1) для псевдоевклидова случая: λ = γ. Для этого в качестве претендента рассмотрим изменение значения параметра "расстояния" Δs:

$$\Delta s^2 = \Delta t^2 - \Delta x^2 \sim t^2 - x^2. \tag{1.8}$$

Найдем это же "расстояние" в штрихованных координатах:

$$\Delta s'^2 = t'^2 - x'^2. \tag{1.9}$$

Используя уравнения (1.1) в общем виде и свойства (1.3) … (1.9), найдем эту величину через начальные не штрихованные координаты:

$$\begin{cases} t' = \alpha t - \lambda r^i, \\ r'^i = -\gamma t + \beta r^i. \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} t' = \alpha t - \lambda r^i \\ r'^i = -\gamma t + \alpha r^i \end{matrix} \rightarrow$$
$$\begin{cases} t'^2 = \alpha^2 t^2 + \gamma^2 {r^i}^2 - 2\alpha\gamma t r^i \\ r'^2 = \gamma^2 t^2 + \alpha^2 {r^i}^2 - 2\gamma t \alpha r^i \end{cases} \rightarrow \tag{1.10}$$
$$\Delta {s'}^2 = t'^2 - {x'}^2 = \left(\alpha^2 t^2 + \gamma^2 {r^i}^2 - 2\alpha\gamma t r^i\right) - \left(\gamma^2 t^2 + \alpha^2 {r^i}^2 - 2\alpha\gamma t r^i\right) =$$
$$= \left(\alpha^2 t^2 + \gamma^2 {r^i}^2 - \gamma^2 t^2 - \alpha^2 {r^i}^2\right) = \left(t^2 - {r^i}^2\right)(\alpha^2 - \gamma^2).$$

Учитывая (1.4):1, что $\alpha^2 - \beta^2 = 1$, имеем:

$$\Delta {s'}^2 = \left(t'^2 - {r'^i}^2\right) = \left(t^2 - {r^i}^2\right) = \Delta s^2. \tag{1.11}$$

В результате получили, что при общих ортонормированных преобразованиях координат (1.1) при произвольных, но согласованных значениях $\alpha(v)$ и $\gamma(v)$ 4-мерное значение "расстояние" Δs сохраняет свое значение и формульное выражение для нее неизменным. Это 4-мерное "расстояние" называется "интервалом". Через нее определяется наводимая на пространство-время метрика (1.11). Таким образом, делаем

Вывод: пространство с ортонормированными преобразованиями (1.1) безусловно является релятивистским[2] пространством, в котором соблюдаются принципы относительности взаимосвязи пространства и времени.

Интерпретировать такое пространство можно как пространство некой сплошной среды с релятивистскими волновыми эталонами длины и времени. Интервал s в таком случае может быть интерпретирована как фаза волны эталонной частоты.

Похожий результат можно получить и для евклидова случая λ = –γ. Только с разницей – "интервал" заменяется на "расстояние":

$$\Delta l^2 = \Delta t^2 + \Delta x^2 \sim t^2 + x^2. \tag{1.12}$$

3. Евклидова интерпретация ортонормированных преобразований координат

Здесь коротко рассмотрим геометрическую интерпретацию преобразований (1.1) для

[2] "Релятивистским" означает, что координаты относительны и преобразования координат зависят друг от друга.

евклидова пространства. Для этого надо рассмотреть уравнения (1.7):

$$\begin{cases} x' = \sqrt{1-\gamma^2}x + \gamma y, \\ y' = -\gamma x + \sqrt{1-\gamma^2}y. \end{cases} \tag{1.7}$$

Интерпретация этих преобразований координат становится достаточно прозрачной при проведении следующих замен:

$$\begin{gathered} \gamma = \sin\varphi, \\ \sqrt{1-\gamma^2} = \cos\varphi. \end{gathered} \tag{1.13}$$

Здесь φ – угол поворота оси *x* в направлении оси *y*. В результате уравнения (1.7) преобразования осей координат *x* и *y* перепишется в виде:

$$\begin{cases} x' = \cos\varphi \cdot x + \sin\varphi \cdot y, \\ y' = -\sin\varphi \cdot x + \cos\varphi \cdot y. \end{cases} \tag{1.14}$$

Полученные уравнения есть евклидовы повороты 3-мерного пространства на угол φ в направлении от оси *r* в сторону оси *t*.

4. Зависимость параметров от скорости v преобразования координат ИСО

Здесь рассмотрим физическую интерпретацию преобразований (1.1) для псевдоевклидова случая. Исходно в математической абстракции преобразования (1.1) не имеют связи с физикой, хотя физика пользуется понятиями координаты пространства и времени и ее ортонормированных преобразований. Для физической интерпретации свободные параметры α, β, λ и γ ортонормированных преобразований необходимо связать с преобразованиями координат из одного ИСО в другое, движущееся со скоростью *v* относительно первого. И поэтому параметры α и γ с необходимостью должны быть связаны с этой скоростью ИСО. Интуитивно прямой связи между этими параметрами и скоростью не имеется. Но есть подсказка: начала координат новой системы координат (ИСО) в старой (r'^i, t') должны находиться на линии $x = vt$. А это возможно при соблюдении следующего условия:

$$v = {}^{\gamma}\!/_{\beta}. \tag{1.15}$$

Это – тангенс угла наклона уравнения этой линии. И это – физическое условие к ортонормированным преобразованиям координат (1.1). Оно имеет решение:

$$\gamma = v\beta. \tag{1.16}$$

Но $\beta^2 + \gamma^2 = 1$, $\beta^2 = 1 - \gamma^2$, поэтому

$$\begin{gathered} \gamma = v\sqrt{1-\gamma^2} \rightarrow \\ \gamma = \frac{v}{\sqrt{1-v^2}}, \\ \alpha = \beta = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}}. \end{gathered} \tag{1.17}$$

Окончательно для произвольных допустимых скоростей имеем следующее решение для ортонормированных преобразований координат в физических приложениях:

$$\begin{cases} t' = \dfrac{t - v^i r^i}{\sqrt{1 - v^2}}, \\ r'^i = \dfrac{-v^i t + r^i}{\sqrt{1 - v^2}}. \end{cases} \tag{1.18}$$

Это, как видно, в точности соответствуют преобразованиям координат Лоренца и СТО А.Эйнштейна. При бесконечно малых преобразованиях координат $v \to 0$ преобразования (1.1) с точностью до бесконечно малых второго порядка от скорости v ИСО, должны быть записаны в виде:

$$\begin{cases} t' = t - dv \cdot r, \\ r' = -dv \cdot t + r. \end{cases} \tag{1.19}$$

Если решить это дифференциальное уравнение, также получится решение (1.18).

На практике, с использованием реальных эталонов длины, времени и скорости распространения информации, уравнения преобразования координат имеют следующий вид:

$$\begin{cases} t' = \dfrac{t - \dfrac{v^i}{c^2} r^i}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \\ r'^i = \dfrac{-v^i t + r^i}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \end{cases} \tag{1.20}$$

С т.з. этих уравнений синхронизация времени осуществляется сигналами, движущимися со скоростью c [ед.дл./ед.вр.]. В реальности эта скорость приблизительно равна 300 000 000 м/с. С т.з. уравнений (1.18) синхронизация времени осуществляется сигналами, движущимися со фундаментальной скоростью 1 [ед.дл./ед.вр.].

Вы могли заметить, что (1.20) не соответствует условию ортонормированности (1.4). Причина этого заключается в том, что эталоны, которые используются для записи этих уравнений преобразования координат, не являются нормированными и не дают определить согласованные друг с другом волновые координаты пространства.

5. Преобразования Тангерлини

Преобразования Тангерлини используются при формулировании "Теории эфира светоносного" [Л8] и настолько же ортонормированы, насколько ортонормированы соответствующие галилеевы преобразования координат (см. далее).

Альтернативой представленному выше пространству с общими преобразованиями (1.1)

$$\begin{cases} t' = \alpha t - \lambda r^i, \\ r'^i = -\gamma t + \beta r^i. \end{cases} \tag{1.1}$$

являются **преобразования Галилея и преобразования типа преобразований Тангерлини.** Они соответствуют преобразования типа галилеевых (см. далее) с абсолютным (единым для пространства конкретного ИСО) временем и даются уравнениями

$$\begin{cases} t' = \alpha t, \\ r'^i = -\gamma t + \beta r^i. \end{cases} \tag{1.21}$$

Эти преобразования обладают следующими свойствами:

$$\begin{gathered} \alpha\beta = 1 \to \alpha = 1/\beta\,, \\ (\beta^2 - \gamma^2 = 1) \to \gamma^2 = \beta^2 - 1, \beta^2 = 1 + \gamma^2. \end{gathered} \tag{1.22}$$

Первое из этих уравнений нормирует 2-мерную площадь преобразуемого "буста", соответствующей детерминанту матрицы преобразования координат, вторая – нормирует "длину" преобразования пространственной оси. Интерпретировать такое пространство можно как галилеево пространство некой сплошной среды типа "эфира" с релятивистскими волновыми эталонами длины и времени. Но!

Здесь рассмотрим физическую интерпретацию преобразований (1.1) для псевдогалилеева случая. Исходно в математической абстракции преобразования (1.1) не имеют связи с физикой, хотя физика пользуется понятиями координаты пространства и времени и ее ортонормированных преобразований. Для физической интерпретации свободные параметры α, β, λ и γ ортонормированных преобразований необходимо связать с преобразованиями координат из одного ИСО в другое, движущееся со скоростью v относительно первого. И поэтому параметры α и γ с необходимостью должны быть связаны с этой скоростью ИСО. Интуитивно прямой связи между этими параметрами и скоростью не имеется. Но есть подсказка: начала координат новой системы координат (ИСО) в старой (r'^i, t') должны находиться на линии $x = vt$. А это возможно при соблюдении следующего условия:

$$v = {}^{\gamma}\!/_{\beta}. \tag{1.23}$$

Это – тангенс угла наклона уравнения этой линии. И это – физическое условие к ортонормированным преобразованиям координат (1.1). Оно имеет решение:

$$\gamma = v\beta. \tag{1.24}$$

Но $\beta^2 + \gamma^2 = 1$, $\beta^2 = 1 - \gamma^2$, поэтому

$$\begin{gathered} \gamma = v\sqrt{1-\gamma^2} \to \gamma = \frac{v}{\sqrt{1-v^2}}, \\ \beta = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}}, \alpha = \sqrt{1-v^2}. \end{gathered} \tag{1.25}$$

В результате получаем преобразования Тангерлини:

$$\begin{cases} t' = t\sqrt{1-v^2}, \\ r'^i = \dfrac{-v^i t + r^i}{\sqrt{1-v^2}}. \end{cases} \tag{1.26}$$

Уравнения преобразования координат (1.21) – (1.26) получаются при стремлении параметра λ в (1.1) к нулю, что соответствует синхронизации часов бесконечно быстрыми сигналами. При бесконечно малых преобразованиях координат $v \to 0$ преобразования (1.21) с точностью до бесконечно малых второго порядка от скорости v ИСО, переходят в уравнения:

$$\begin{cases} t' = t, \\ r'^i = -dv \cdot t + r^i. \end{cases} \tag{1.27}$$

Рассмотрим, что за величина сохраняется при преобразованиях координат (1.21). Для этого рассмотрим изменение некоторого значения параметра "расстояния" Δs:

$$\Delta s^2 = \Delta t^2 - \Delta x^2 \sim t^2 - x^2. \tag{1.28}$$

Найдем это же "расстояние" в штрихованных координатах. Для этого рассмотрим обратные преобразования:

$$\begin{cases} t' = \alpha t, \\ r'^i = -\gamma t + \beta r^i. \end{cases} \to \begin{cases} t = \dfrac{1}{\alpha} t' = \beta t' \\ r^i = \dfrac{r'^i + \gamma t}{\beta} = \alpha \left(r'^i + \dfrac{\gamma}{\alpha} t' \right) = \alpha r'^i + \gamma t'. \end{cases} \tag{1.29}$$

Используя уравнения (1.30) в общем виде и свойства (1.22), найдем это же "расстояние" через штрихованные координаты:

$$\begin{gathered} \Delta s^2 = t^2 - x^2 = (\beta t')^2 - \left(\alpha r'^i + \gamma t'\right)^2 = \\ = (\beta^2 - \gamma^2) t'^2 - \alpha^2 r'^{i^2} + 2\alpha\gamma r'^i t' = \\ = t'^2 - \alpha^2 r'^{i^2} + 2\alpha\gamma r'^i t'. \end{gathered} \tag{1.30}$$

В отношении конкретно преобразований Тангерлини эта метрика соответствует следующей:

$$\begin{gathered} \Delta s^2 = t^2 - (1 - v^2) r^{i^2} + 2\sqrt{1 - v^2} \frac{v}{\sqrt{1 - v^2}} r^i t = \\ = t^2 + 2 v r^i t - (1 - v^2) r^{i^2}. \end{gathered} \tag{1.31}$$

Поскольку в это выражение в явном виде входит скорость ИСО v, то в теории СЭТ наблюдатель в ИСО может определить абсолютную скорость своего движения без непосредственного наблюдения объектов, неподвижных в АСО. А это все означает, что преобразования Тангерлини не являются ортонормированными преобразованиями соответствующего пространства в смысле представленной метрики АСО.

В результате получили, что при общих преобразованиях координат (1.21) 4-мерное значение "расстояние" Δs в СЭТ, которое называется 4-мерным "интервалом", сохраняется только при существенном изменении ее формульного выражения. А также для такого пространства имеется выделенная ИСО = АСО, в которой "интервал" выражается наиболее просто и в которой скорость этой ИСО равна v. Отношение такого абстрактного пространства к реальности определяется существованием эталонов, позволяющих пространству преобразовываться подобным образом. Для этого необходимо существование галилеевых абсолютных часов и сигнал для синхронизации часов по ней.

Но в смысле абсолютности представленного пространства, преобразования Тангерлини являются ортогональными преобразованиями, оставляющими подпространства "время" и "3-мерное пространство" абсолютными. Хотя эталоны длины и времени изменяются в зависимости от скорости ИСО.

6. Группа галилеевых преобразований координат

Альтернативой выше приведенным пространствам с общими преобразованиями (1.1) - (1.20) и (1.21) являются преобразования галилеева пространства. **В галилеевом пространстве** (и в реальном физическом[3], и в абстрактном модельном[4] пространствах) синхронизация часов определяется автоматически – простой сверкой часов при перемещении между ними и/или координатой t. Это связано с тем, что время и скорость хода часов в ней абсолютны, и при галилеевых преобразованиях координат "пространство" одновременности не изменяется, следовательно, и координата "время", определенная как определяющие пространство одновременности, также не изменяется. Такой способ синхронизации часов на

[3] "В реальном физическом" здесь означает "в возможном реальном" пространстве, если бы свойства реального пространства удовлетворяли этим преобразованиям координат во всех возможных экспериментах.
[4] "В абстрактном модельном" здесь означает "в математической модели реального пространства", определяемого этими уравнениями.

практике соответствует использованию бесконечно быстрых сигналов для синхронизации часов и измерения расстояний.

$$\begin{cases} t' = t, \\ r'^i = -vt + r^i. \end{cases} \tag{1.32}$$

Единственным параметром, определяющим это преобразование, как уже сказано выше, является параметр v – скорость новой ИСО в старой: $\gamma(v) = v$.

Уравнения преобразования координат (1.32) получаются при стремлении параметра λ в (1.1) к нулю, что соответствует синхронизации часов бесконечно быстрыми сигналами. При бесконечно малых преобразованиях координат $v \to 0$ преобразования (1.32) с точностью до бесконечно малых второго порядка от скорости v ИСО, переходят в уравнения:

$$\begin{cases} t' = t, \\ r'^i = -dv \cdot t + r^i. \end{cases} \tag{1.33}$$

Также как и в предыдущем случае, можем проверить, как изменяется "интервал" (1.28) при преобразованиях координат (1.32) при $\alpha = \beta = 1$ и $\gamma = v$ в (1.30):

$$\begin{gathered} \Delta s^2 = t^2 - x^2 = (t')^2 - \left(r'^i + vt'\right)^2 = \\ = (1 - v^2)t'^2 - r'^{i^2} + 2vr'^i t'. \end{gathered} \tag{1.34}$$

Интерпретировать такое пространство можно как галилеево пространство некой сплошной среды типа полностью увлекаемого "эфира" с галилеевыми волновыми эталонами длины и времени.

Выводы для этого результата те же. В результате получили, что при общих преобразованиях галилеевых координат (1.32) 4-мерное значение "расстояние" Δs, которое называется 4-мерным "интервалом", сохраняется только при существенном изменении ее формульного выражения. А также для такого пространства имеется выделенная ИСО = АСО, в которой "интервал" выражается наиболее просто и в которой скорость этой ИСО равна v. Отношение такого абстрактного пространства к реальности определяется существованием эталонов, позволяющих пространству преобразовываться подобным образом. Что сомнительно. А это все означает, что галилеевы преобразования не являются ортонормированными преобразованиями соответствующего пространства в смысле представленной метрики (1.34) АСО.

Но в смысле абсолютности представленного пространства, эти преобразования являются ортогональными преобразованиями, оставляющими подпространства "время" и "3-мерное пространство" абсолютными. Хотя эталоны длины и времени изменяются в зависимости от скорости ИСО.

Общий вывод: С т.з. существования уравнений (1.19), (1.33) и/или (1.27) должны существовать только два вида пространств – галилеево с уравнениями преобразования координат (1.32) и (1.33) и релятивистское с уравнениями преобразования координат (1.19) – для бесконечно малого преобразования координат, и (1.18), (1.20) – в общем случае.

7. Физическая реальность

В физической реальности ПВ и ее метрические свойства строятся на основе свойств реальных эталонов длины и времени. Какими свойствами обладают эти эталоны, таким и будет представляться исследователю реальный физический мир. Естественными приборами, которыми природа одарила человека (и других животных), являются наши глаза и уши. Если они обладают свойствами абсолютности – мы увидим абсолютные пространство и время типа галилеевых, если нет – то, естественно, нет. Но гарантировать, что ПВ будет плоским, даже в этом случае будет невозможно. Но локально, в приближении бесконечно малой окрестности каждой точки – малых расстояний, времен и скоростей – да.

Поэтому необходимо определить процесс синхронизации часов каким либо алгоритмом с учетом реальных свойств часов. В реальности это происходит с использованием реальных эталонов длины и времени. В математической модели проблем с этим нет: просто создается или постулируется соответствующая координатная сетка с соответствующей метрикой и правилами их преобразований. Но в практическом плане, плане интерпретации и ее соответствия физической реальности, будут проблемы.

Итак, какими же эталонами обладает человечество?

Человечество до конца 19 века было уверено, что обладает "галилеевыми" абсолютными эталонами. С древних времен за эталоном времени принималось вращение Земли вокруг своей оси. Секунда равнялась 1/86400 части солнечных суток. Эталоном длины у него служили какие либо предметы или объекты, которые не изменяли своей длины ни от места на Земле, ни от времени, ни от скорости. Во всяком случае, земляне в этом были уверены. Такими объектами были, в частности, длина ступни короля – фут (~30,48 см), расстояние между кончиками пальцев и плечом – аршин (~71,12 см), 1/40'000'000 часть экватора, длина специально созданного металлического эталона длины.

В настоящее время секунда – это «интервал времени, в течение которого совершается 9192631770 колебаний, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между определенными уровнями сверхтонкой структуры основного состояния в атомах цезия–133. Следствием этих определений является постоянство скорости света. Всегда и везде. Принципиально.

А метр в настоящее время есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 секунды (точно). Кстати, она тоже при земных скоростях до 500 м/с одна и та же с точностью порядка $\sim 10^{-11}$ соответствует галилеевым абсолютным.

Как видно, в качестве и эталона длины, и эталона времени принимаются электромагнитные "волновые" эталоны длины и времени. Следовательно, и реальный, физический мир в экспериментах физиков, да и представителей других наук и технических направлений, мы видим в единицах этих эталонов. И это не может противоречить тому, что мы все – и люди, и животные, птицы и другие представители живого мира – видим мир глазами посредством электромагнитных волн, а именно через определенный ее диапазон волн, определенный как "световой" диапазон с длинами волн в вакууме примерно от 380 (750 ТГц $=7{,}50 \cdot 10^{14}$ Гц) до 780 нм (395 ТГц $=3{,}95 \cdot 10^{14}$ Гц). А это означает, что ПВ для нас должно обладать свойствами волнового пространства, а не галилеева абсолютного. И если мы не замечаем этого, то только благодаря тому, что эти отличия настолько малы, что не бросаются в глаза. И долгое время не замечались даже представителями научной и технической общественности. Вплоть до 17 века, когда впервые была определена скорость света. Но и это не поколебало "абсолютность" ПВ и того факта, что ограничение скорости света приводит к изменению геометрии наблюдаемого ПВ. Но с развитием электродинамики такие проблемы появились и пришло научное осознание следствий этого факта. В результате появились уравнения Максвелла, преобразования Лоренца, СТО и ОТО А.Эйнштейна.

Сокращения и другие соглашения

(*) А – абсолютное, В – время, волновое, Г – галилеево, И – инерциальное, К – координаты, квантовая, классическая, М – механика, метрическое, материя, Н – ньютоново, неинерциальная, О – отсчета, относительности, общая, П – пространство, Р – релятивистская, С – система, специальная, Т – теория, тензоры, У – условный, Ф – физика, Ч – частная, ~ –(индекс) обозначает волновой параметр, ‖ – (индекс) параллельный, продольный, ⊥ – (индекс) перпендикулярный, поперечный.	АПВ – ПВ с абсолютным временем и пространством. АСО (АИСО) – абсолютная (инерциальная) система отсчета, ВП – волновое пространство, ГП – галилеево пространство, ГПТК – линейные преобразования тензоров и координат, ГВП – галилеево волновое пространство, ИСО – инерциальная система отсчета – координатная с.о., полученная из исходного ортонормированным ЛПТК, КМН – классическая механика ньютонова, ЛПТК – линейные преобразования тензоров и координат, МГП – метрическое галилеево пространство, МП – метрическое пространство, ПВ – пространство–время, ПВМ – пространство–время–материя, ГПВ – галилеево пространство–время, ПТК – преобразования тензоров и координат. СК, с.к. – система координат, См. – смотри, СО, с.о. – система отсчета, СТО – специальная теория относительности, (и)т.д. – (и) так далее, (и) т.п. – (и) тому прочие, в т.ч. – в том числе, т.з. – точка зрения, т.[Идентиф.точки] – точка.[Идентиф.точки], м.о. – материальный объект, с.с. – сплошная среда, См. – смотри [далее], УАИСО – Условная Абсолютная ИСО,

1) *При использовании более чем одной буквы.

2) Выделение красным цветом в формуле может обозначать равный нулю элемент формулы или выражения.

3) По одинаковым верхнему и нижнему индексам производится свертка (суммирование) соответствующих элементов (по правилу Эйнштейну).

4) По индексу в скобке типа "$_{(k)}$" или "$^{(k)}$" свертка не выполняется, но она привязана к соответствующему тензорному или другому индексу "функционально".

5) Формат ссылок на формулы: (N). При необходимости указания на конкретную строку формулы применяется формат (N):n, где n – номер строки формулы, начиная с 1 (единицы), причем эта нумерация продолжается и на дальнейшие не нумерованные формулы.

Литература

1. Акивис М. А., Гольдберг В. В. Тензорное исчисление. – М. : Наука, 1972. – 351 с.
2. Детлаф, А. А. Курс общей физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. Высшая школа, 2017. – 245 с.
3. Димитриенко Ю. И. Тензорное исчисление: Учеб. пособие для вузов. – М. :Высш. шк., 2001. – 575 с. 74
4. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М. : Бином, 2017. – 146 с.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики: В 10 т. : т. 2. – М.: Физматлит, 2002. – 224 с.
6. Малыкин Г. Б. Паралоренцевские преобразования, УФН, 179:3 (2009), 285–288; Phys. Usp., 52:3 (2009), 263–266 // Полный текстURL: PDF файл (899 kB) (дата обращения: 05.07.2019).
7. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. М. :Наука, 1965. [Einstein A Ann. Physik 322 891 (1905)]
8. ЧепикА. М. Сходство и различие СЭТ и СТО. [Электронный ресурс] //URL: http://redshift0.narod.ru/Rus/Stationary/Absolute/Absolute_Principles_4.htm (дата обращения: 16.03.2021). // Нижний Новгород, e–mail: redshift0@narod.ru.
9. Tangherlini F R "The velocity of ligh in uniformly moving frame", Ph D Thesis (Stanford: Stanford Univ., 1958)]
10. Timin Valery. Two–way Wave Metrics of Galilean Space. Двусторонние волновые метрики ГП. [Электронный ресурс] // URL: https://viXra:2008.0186viXra:2008.0186 (Дата загрузки: 2020-08-24 20:54:29).
11. Тимин В. А. Метрики галилеева пространства. [Электронный ресурс] //Metrics Galileia Space. URL: http://vixra.org/abs/1907.0545.
12. Тимин В. А. Преобразования галилеевых тензоров. [Электронный ресурс] //Galilean Transformations of Tenzors, URL:http://vixra.org/abs/1910.0602 .
13. Тимин В. А. Уравнения распространения волн в различных пространствах. [Электронный ресурс] // URL: http://vixra.org/abs/1908.0091.
14. Тимин В. А. Эксперимент Майкельсона–Морли. [Электронный ресурс] // URL: http://vixra.org/abs/1908.0574.

Все мои работы в VIXRA.ORG:

15. Тимин В. А. Все работы.URL: http://vixra.org/author/valery_timin.

E–Mail: timinva@yandex.ru.